



PRINCIPIOS BÁSICOS DE FERTIRRIGACIÓN

Juan Hirzel C.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Dr.

INIA Quilamapu

1. INTRODUCCIÓN

La fertirrigación es una técnica compleja y eficiente, insustituible en sistemas con riego localizado de alta frecuencia, que se basa en el entendimiento de que las plantas utilizan agua y nutrientes en forma diaria, de manera continua y creciente a medida que avanza su ciclo de desarrollo, por lo tanto, de la misma forma se debe aplicar el agua y nutrientes, lo cual respetará su metabolismo y potenciará su productividad.

Para su desarrollo es necesario disponer de los elementos y materiales suficientes que permitan la incorporación de soluciones nutritivas en el agua de riego en forma precisa. Al respecto, actualmente es posible encontrar una amplia gama de elementos para fertirrigación, sin embargo, la elección del más adecuado a las condiciones particulares de cada instalación repercutirá en una mayor eficiencia de los fertilizantes aportados, optimizando su potencial de producción.



Los métodos de inyección se pueden agrupar en tres principales, que son los más utilizados:

- Inyección por succión de la bomba
- Inyector tipo venturi
- Inyección con Bomba independiente

De acuerdo con los principios de diseño y operación de los sistemas de riego localizado, el suelo no se moja en su totalidad, al ser menor el volumen de suelo mojado, el volumen radical se restringe, por lo que estos sistemas se operan con la frecuencia necesaria para mantener la humedad del suelo a un nivel adecuado para un cultivo en particular. Se suministran los fertilizantes a través del agua de riego, siguiendo tres criterios:

- 1) Aplicar solución nutritiva en concentraciones variables dependiendo de las necesidades del cultivo
- 2) Aplicar los nutrimentos en forma fraccionada de acuerdo con las necesidades del cultivo según la etapa fenológica en que se encuentre
- 3) Definir la dosis total de aplicación y dividirla de acuerdo con el número de aplicaciones.

Cualquiera de los tres criterios tiene como objetivo aplicar las dosis de nutrimentos mínimas necesarias para obtener los máximos rendimientos y evitar, en lo posible, el deterioro del suelo por el incremento de la salinidad y la lixiviación de nutrientes.

Además de la aplicación de fertilizantes a través del agua de riego, es posible aplicar otros tipos de productos químicos como herbicidas, insecticidas, fumigantes de suelo, acondicionadores de suelo (enmiendas) y compuestos que permitan el buen fun-



cionamiento de los sistemas de riego presurizado en el tiempo, proceso denominado quemigación.

Los componentes necesarios para realizar una correcta fertirrigación son los siguientes:

- 1) Al menos un estanque para la preparación de la solución madre (solución concentrada del fertilizante).
- 2) Un sistema de inyección (Venturi, bomba inyectora) y un medidor de flujo (Caudalímetro) para la solución madre.
- 3) Válvulas adicionales que permitan la puesta en marcha y el cierre del sistema de inyección.
- 4) Sistemas de filtros que aseguren el paso de una solución de riego con partículas de tamaño fino (filtros de arena y malla). Así se evita el tapado de los goteros

Entre las ventajas que presenta la aplicación de fertilizantes a los cultivos por medio de un sistema de riego, se encuentran las siguientes:

- Mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes, ya que una gran parte del fertilizante aplicado es utilizado efectivamente por la planta, existiendo una mejor distribución del producto, incrementándose la eficiencia del uso del fertilizante y reduciendo su impacto ambiental.
- Facilidad de adaptar la cantidad y concentración de un nutriente específico respecto a los requerimientos de las diferentes etapas de desarrollo del cultivo (crecimiento vegetativo, floración o cuajado).
- Ahorro de trabajo y comodidad. Se requiere menos mano de obra en la aplicación de fertilizantes.
- Reducción de la compactación del suelo, al no ingresar maquinaria al predio.



- Posibilidad de utilizar fertilizantes líquidos.
- Reducida fluctuación de la concentración de nutrientes en el suelo a través de la estación de crecimiento.
- Automatización de la fertilización.

Entre los posibles inconvenientes del sistema podemos citar:

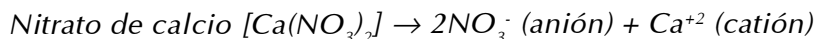
- Costo inicial de la infraestructura
- Obturación de goteros
- Necesidad de manejo del sistema por personal especializado

2. LOS FERTILIZANTES EN EL SUELO

Se conoce como fertilizante a una sustancia que se agrega al suelo para suministrar aquellos elementos que se requieren para la nutrición de las plantas. Un material fertilizante es una sustancia que contiene uno o más de los elementos esenciales para las plantas. Los fertilizantes completos contienen los tres macronutrientes para las plantas: nitrógeno, fósforo y potasio. Al respecto, en el siguiente cuadro se presentan los elementos esenciales para la nutrición de las plantas y su descripción.

Todos los compuestos químicos, en este caso los fertilizantes, cuando son aplicados al suelo se disocian en cationes (de carga positiva) y aniones (de carga negativa) y posteriormente son absorbidos por las plantas (**Cuadro 15**).

Por ejemplo:



**Cuadro 15.** Elementos esenciales para las plantas.

Elemento	Símbolo	Forma de absorción	Concentración en plantas sanas (% de peso seco)
Macronutrientes			
Nitrógeno	N	NO_3^- ; NH_4^+	1-4 %
Fósforo	P	HPO_4^{-2} ; H_2PO_2^-	0,1-0,8 %
Potasio	K	K^+	0,5-6 %
Azufre	S	SO_4^{-2}	0,05-1 %
Magnesio	Mg	Mg^{+2}	0,1-0,8 %
Calcio	Ca	Ca^{+2}	0,2-3,5 %
Micronutrientes			
Boro	B	BO_3^{-2} ; HBO_3^-	5-75 ppm
Hierro	Fe	Fe^{+2} ; Fe^{+3}	25-300 ppm
Manganeso	Mn	Mn^{+2}	15-800 ppm
Molibdeno	Mo	MoO_4^-	0,1-5,9 ppm
Cobre	Cu	Cu^{+2}	4-30 ppm
Zinc	Zn	Zn^{+2}	15-100 ppm
Cloro	Cl	Cl^-	100-10.000 ppm
Sodio	Na	Na^+	trazas

Se debe mencionar que existen fertilizantes formadores de ácido los cuales son capaces de aumentar la acidez del suelo. Los fertilizantes básicos o alcalinos disminuyen la acidez del suelo, mientras que los fertilizantes neutros o no formadores de ácidos son aquellos que no aumentan ni disminuyen el pH al ser agregado a un suelo.

Al respecto, el pH del suelo afecta la disponibilidad de los nutrientes para las plantas, de acuerdo a la **Figura 26**.

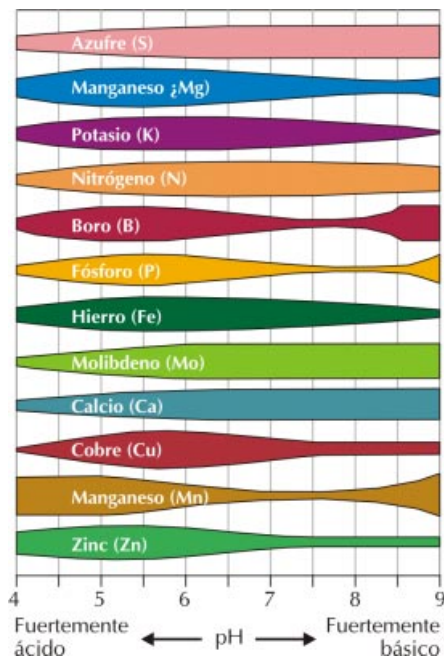


Figura 26. Forma en que el pH afecta a la disponibilidad de los nutrientes minerales.

En la figura anterior, la anchura de cada banda nos indica la disponibilidad de dicho elemento para las raíces. Por ejemplo, en el caso del Nitrógeno, este se encuentra totalmente disponible para las plantas a partir de un pH 5,5 a 7,5; así, queda de manifiesto que el pH es uno de los principales responsables en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la menor o mayor asimilabilidad de los diferentes nutrientes. Considerando en conjunto los efectos producidos por los diferentes valores de pH en cuanto a la absorción de los nutrientes, puede decirse que el pH “ideal” se encuentra entre 6 y 7.

En zonas húmedas los valores se encuentran entre 5 y 7, debido a que las precipitaciones producen un lavado de las sales del suelo, llevándose los elementos más allá de la zona de raíces, tendiendo el suelo a la acidez; por otro lado, en zonas áridas los valores de pH se encuentran entre 7,5 y 9 debido a que no existe lavado de sales, acumulándose estas en superficie.

Al respecto, la adición de fertilizantes al suelo aumenta la salinidad del mismo, la cual se expresa como Conductividad Eléctrica (C.E), por lo cual se debe tener especial cuidado con los



valores que alcanza el extracto de saturación del suelo, a la cual las plantas presentan diferentes niveles de tolerancia. A continuación en el **Cuadro 16**, se presenta la tolerancia de hortalizas y frutales a la salinidad:

CUADRO 16. Tolerancia de diversas especies vegetales a la salinidad y su relación con el rendimiento.

Especie vegetal	C.E. (mmhos/cm) a la cual el rendimiento disminuye		
	10%	25%	50%
Remolacha	8	10	12
Espinaca	5,5	7	9
Tomate	4	6	8
Brócoli	4	6	8
Zapallo y melón	3	4	6
Papas	3	4	6
Olivo	2,7	n.d.	8,4
Maíz	2,5	4	6
Lechuga	2	3	5
Pepino	2	3	5
Ajo	2	3	4
Zanahoria	1,5	2	4
Manzano y peral	1,7	n.d.	4,8
Cítricos	1,7	n.d.	4,8
Vid	1,5	n.d.	6,7
Cerezos y guindos	1,5	n.d.	n.d.
Frambuesa	1,5	2	2,5
Frutilla	1,5	2	2,5
Palto	1,3	n.d.	3,7

n.d. = no determinada.



3. FERTILIZANTES UTILIZADOS EN FERTIRRIGACIÓN

Para utilizar un fertilizante a través de la fertirrigación es necesario conocer la composición de los productos y su solubilidad en el agua.

La solubilidad es la capacidad de disolución de un producto en el agua de riego, la cual varía según la temperatura del agua, resultando que a mayor temperatura, mayor solubilidad. Existen productos muy solubles o que se disuelven muy bien en agua, como es el caso de la Urea, Nitrato de Calcio y Nitrato de Potasio; otros son medianamente solubles como el Cloruro de Potasio, Fosfato Diamónico y Nitrato de Amonio; y finalmente existen productos menos solubles como el Sulfato de Calcio (yeso), el Superfosfato Triple, el Superfosfato Normal y Sulfato de Hierro.

La combinación de dos o más fertilizantes puede hacer menos soluble el producto final. Al respecto, los productos de baja solubilidad o menos solubles, no deben ser utilizados en fertirrigación.

El **Cuadro 17**, registra valores de solubilidad de los principales fertilizantes utilizados en fertirrigación, además de otras características importantes.

De acuerdo a normas internacionales, el nombre de cada compuesto va seguido de un paréntesis con tres números. El primero indica el contenido de Nitrógeno (N) en porcentaje; el segundo indica el contenido de Fósforo (P) en la forma de P_2O_5 (%); y el tercero el contenido de Potasio (K) en la forma de K_2O (%).



Cuadro 17. Características de los principales fertilizantes usados en fertirrigación.

Tipo	Composición N-P-K	Solubilidad (g/L)	Reacción
Fertilizantes Nitrogenados			
Nitrato de Amonio	34-0-0	183	Neutra (pH:6,5-7)
Sulfato de Amonio	21-0-0	710	Mod. ácida (pH:5)
Nitrato de Calcio	15,5-0-0	1.020	Neutra (pH:6,5)
Nitrato de Sodio	16-0-0	730	
Urea Perlada	46-0-0	1.000	Alcalina (pH:8,5-9)
Fertilizantes Fosfatados			
Acido Fosfórico	0-52-0	457	Acida (pH:2,5)
Fosfato Monoamónico	11-11-0	230	Mod. ácida (pH:3,5)
Fosfato diamónico	21-11-0	430	Alcalina (pH:8)
Súper fosfato normal	0-5-0	20	Acida (pH: 2-3)
Súper fosfato doble	0-10-0	40	
Fertilizantes Potásicos			
Cloruro de Potasio	0-0-60	347	
Nitrato de Potasio	13-0-44	133	Neutra (pH:7,0)
Sulfato de Potasio	0-0-50	120	Acida (pH:3,2)
Solubilidad de los principales fertilizantes usados en fertirrigación			
Micronutrientes			
Sulfato de Cobre	25% Cobre	316	
Cloruro cúprico		710	
Sulfato de calcio	23% Calcio	2,41	
Sulfato de fierro	20% Fierro	157	
Sulfato de Magnesio	9,7% Magnesio	710	
Sulfato de Manganeso	27% Manganeso	1.053	
Sulfato de zinc	36% Zinc	750	
Fe-EDDHA	6% Fierro	90	
Fe-DTPA	10% Fierro	220	



Tomemos como ejemplo el Nitrato de Calcio (**Figura 27**). Su composición se presenta de la siguiente forma: **[15,5-0-0]**, lo que indica un contenido de Nitrógeno de 15,5%, Fósforo 0% y Potasio 0%, es decir, este fertilizante contiene 15,5 unidades de Nitrógeno y no contiene Fósforo ni Potasio.

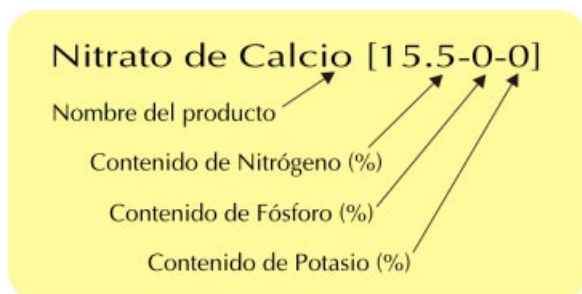


Figura 27. Descripción de la composición de los fertilizantes.

4. COMPATIBILIDAD DE LOS FERTILIZANTES

Los fertilizantes son sales, que en contacto con el agua se disocian formando iones (aniones y cationes); diferentes iones pueden interactuar en la solución y precipitar (formando compuestos insolubles), con el consiguiente riesgo de no estar disponibles para las raíces o con alto riesgo de taponar emisores, disminuyendo consecuentemente la eficiencia de aplicación de los nutrientes.

Al respecto, cuando se mezclan fuentes de fertilizantes simples, el primer aspecto que debe considerarse es que los ingredientes de la mezcla sean químicamente compatibles (**Cuadro 18**).

Cuadro 18. Compatibilidad de los fertilizantes solubles utilizados en fertirriego.

FERTILIZANTES	Urea	Nitrato de Amonio	Sulfato de amonio	Nitrato de Calcio	Nitrato de magnesio	Fosfato monoamónico	Fosfato monopotásico	Nitrato de potasio	Sulfato de potasio	Cloruro de potasio	Ácido fosfórico	Ácido nítrico	Ácido sulfúrico	Sulfatos Fe, Cu, Mn, Zn	Quelatos
Nitrato de Amonio	C														
Sulfato de amonio	I	C													
Nitrato de Calcio	C	C	I												
Nitrato de magnesio	C	C	C	C											
Fosfato monoamónico	C	C	C	I	I										
Fosfato monopotásico	C	C	C	I	I	C									
Nitrato de potasio	C	C	R	C	C	C	C								
Sulfato de potasio	C	C	R	I	I	C	C	C							
Cloruro de potasio	C	C	C	I	C	C	C	C	R						
Ácido fosfórico	C	C	C	I	I	C	C	C	C	C					
Ácido nítrico	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C				
Ácido sulfúrico	C	C	C	I	I	C	C	C	R	C	C	C			
Sulfatos Fe, Cu, Mn, Zn	C	C	C	I	I	I	C	C	R	C	C	C	C		
Quelatos	C	C	C	R	R	R	C	C	C	C	R	I	C	C	
Sulfato de Magnesio	C	C	C	I	I	I	C	C	R	C	C	C	C	C	C

C: Compatible, R: Se reduce la solubilidad, I: Incompatible.





Las interacciones más comunes de incompatibilidad son:

- $\text{Ca}^{+2} + \text{SO}_4^{-2} = \text{CaSO}_4$ (precipitado).
- $\text{Ca}^{+2} + \text{HPO}_4^{-2} = \text{CaHPO}_4$ (precipitado).
- $\text{Mg}^{+2} + \text{SO}_4^{-2} = \text{MgSO}_4$ (precipitado).

Los micronutrientes por otro lado, pueden reaccionar con las sales del agua de riego formando precipitados, por lo tanto, es recomendable aplicarlos en forma quelatada.

De acuerdo al Cuadro 18, las siguientes mezclas **NO** se deben realizar:

- Fertilizantes Fosforados con Fertilizantes Cálcidos.
- Fertilizantes Fosforados con Fertilizantes Magnésicos.
- Fertilizantes Cálcidos con algún Sulfato.
- Microelementos no Quelatados (Fierro) con Fertilizantes Fosforados en medios ácidos.

Si se aplica ácido, este se debe aplicar antes que los fertilizantes. El ácido se aplica sobre el agua, lentamente (nunca hay que aplicar agua sobre el ácido). En seguida se aplican los fertilizantes, partiendo de los menos solubles. Se recomienda realizar la mezcla de fertilizantes en la mitad del volumen de agua a utilizar. Agitar vigorosamente y luego agregar agua hasta completar el volumen total de agua.

Al preparar la Solución Madre (concentrada) puede aparecer un sobre nadante (producto flotante) o parte del producto sin disolver, lo cual indica que se sobrepasó la solubilidad del fertilizante.



5. EL AGUA DE RIEGO Y EL FERTIRRIEGO

Consideraciones de la relación sistema radical - suelo en fertirrigación con riego de alta frecuencia.

- Se ocupa sólo un 30 - 40% del volumen total del suelo.
- El aporte de nutrientes por el suelo es mucho menor. Se debe considerar el aporte del agua.
- El sistema radical está expuesto continuamente a un suministro de sales.
- Las sales que ingresan al bulbo húmedo difícilmente son desplazadas a gran distancia del sistema radical. El lavado de sales se realiza con riegos largos sin fertilizante.

Independiente de la fuente (superficial o subterránea), la calidad del agua de riego es un término que se utiliza para indicar la conveniencia o limitación del empleo del agua con fines de riego para los cultivos, para cuya determinación generalmente se toman las características químicas.

La calidad del agua depende de sus características físicas y químicas, y también de los problemas potenciales que pueden generar a los cultivos, a los suelos y al sistema de riego, dando lugar al uso condicionado del agua de riego, dependiendo del cultivo y del suelo específico que se trate (**Cuadro 19**).



Cuadro 19. Rangos deseables de algunos parámetros y elementos en el agua de riego.

Elemento	Concentración en el agua de riego
C. E (mmhos/cm)	0,2 - 1,0
pH	6,5 - 7,0
Nitrato (ppm)	0,0 - 5,0
Fósforo (ppm)	0,005 - 5,0
Potasio (ppm)	0,5 - 10,0
Calcio (ppm)	40 - 120,0
Magnesio (ppm)	6,0 - 24,0
Fierro (ppm)	2,0 - 5,0
Boro (ppm)	0,0 - 0,3
Cloruros (meq/l)	0,2 - 1

C. E: Conductividad Eléctrica.

A continuación, se presenta un ejemplo de cálculo de aporte de nutrientes en el agua de riego:

Ejemplo 8.

Cálculo de aporte de nutrientes por el agua de riego.

En un cultivo de lechuga al aire libre regado por cintas se aplican 3.000 m³ de agua de riego con una concentración de 10 ppm de N (NO₃⁻) y 35 ppm de Calcio.

ppm: Partes por millón.
1 ppm = 1 mg/Kg = 1 mL/L

¿Cuál es el aporte de estos nutrientes por ha?.

- **N (NO₃⁻)** : 10 ppm = 10 mg/L = 10 g/m³ = 0,01 Kg/m³
 0,01 Kg/m³ x 3.000 m³ = **30 Kg de N/ha**
- **Calcio** : 35 ppm = 35 mg/L = 35 g/m³ = 0,035 Kg/m³
 0,035 Kg/m³ x 3.000 m³ = **105 Kg de Ca/ha**



6. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

La solución de riego debe obedecer a un rango de pH (entre 5,5 - 6,5) y Conductividad eléctrica (idealmente menor a 1,5 mmhos/cm) para asegurar la completa disponibilidad de nutrientes y una concentración de sales que no provoque daños al cultivo. Para este efecto se debe conocer la ficha técnica de cada fertilizante a usar (solubilidad, pH y C.E. a distintas concentraciones, grado de pureza), o disponer de un pH-metro y Conductivímetro.

Al preparar la Solución Madre se debe tener cuidado de no mezclar productos que precipiten. Lo ideal es trabajar con productos formulados como mezclas N-P-K desde fábrica, que aseguren el buen funcionamiento del sistema.

Los pasos para preparar una solución fertilizante, son los siguientes:

- 1) Determinar la demanda del cultivo.
- 2) Calcular la proporción de los diferentes fertilizantes a utilizar, de acuerdo al requerimiento de nutrientes para el periodo (según fenología).
- 3) Suministro del suelo.
- 4) Calidad agua de riego.
- 5) Verificar la compatibilidad de los fertilizantes disponibles.
- 6) Verificar la solubilidad y preparación solución madre.
- 7) Calcular la Conductividad Eléctrica resultante.
- 8) Conocer la acidez (pH) resultante.
- 9) En el caso de ser necesario calcular la cantidad de ácido requerida para neutralizar los bicarbonatos o para bajar el pH.
- 10) Concentración agua de riego.
- 11) Calcular la tasa de inyección.



Una vez determinado el tipo de fertilizante y la cantidad a emplear de acuerdo al cultivo (**Cuadro 20**), se prepara la solución en un balde, siguiendo los pasos que a continuación se detallan:

- Agregue agua a un balde o estanque hasta la mitad del total de solución a preparar.
- Adicione el fertilizante.
- Agite vigorosamente hasta que todo el producto se disuelva.
- Agregue agua hasta completar el volumen deseado y agite nuevamente.
- inyecte la solución al sistema de riego.

Cuadro 20. Necesidades nutricionales de diversas especies hortícolas.

Especie	Nutrientes (Kg/ha)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO	CaO
Frutales en formación	95	49	79	7	4	30
Vides (1ª temporada)	78	32	32	7	10	30
Vides (plena producción)	69	36	156	17	2	25
Uva de mesa (producción)	130	42	301	40	17	60
Palto en producción	285	93	193	45	15	52
Carozos en producción	132	62	242	27	14	76
Cítricos en producción	464	100	335	53	31	130
Pomáceas en producción	202	70	251	19	3	104
Olivos en producción	204	128	231	30	36	104
Frutales de nuez	115	84	153	2	10	24
Kiwi en producción	146	64	229	11	3	88
Frutilla (primavera-verano)	167	112	160	20	17	72
Hortalizas solanáceas	259	162	348	10	21	109

Nota: Se debe dividir los requerimientos de acuerdo a etapa fenológica del cultivo.

Idealmente se recomienda tener 4 estanques para preparar las disoluciones de fertilizantes, dependiendo de los elementos a inyectar:



- **Estanque 1:** N – P – K
- **Estanque 2:** Ca – Mg
- **Estanque 3:** Microelementos (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo).
- **Estanque 4:** Ácidos (nítrico, fosfórico, sulfúrico, clorhídrico).

6.1. Concentración de fertilizantes en el agua de riego

Para obtener el mayor beneficio del sistema es aconsejable aplicar fertilizantes en cada riego. Esta práctica permite trabajar con concentraciones finales muy bajas en la solución de fertirriego que llega a las plantas, con lo cual se evitan los riesgos de toxicidad por exceso de sales, o de sobrepasar la solubilidad de los fertilizantes.

La solución final de fertirrigación debe cumplir con dos características esenciales:

- Conductividad eléctrica (C.E.) menor a un valor determinado (medida con un Conductímetro, u obtenida de la ficha técnica del fertilizante soluble).
- pH entre 5,5-6,5.

La C.E. es una propiedad que tienen las soluciones de agua con sales disueltas, que dice relación con la capacidad de conducir la electricidad, siendo mayor cuando aumenta la cantidad de sales disueltas. En la medida que la C.E. aumenta, las plantas se harán más susceptibles a sufrir daños por exceso de sales. Así, la C.E. permite tener una idea de la calidad del agua que será entregada a las plantas. Para obtener la C.E. de la solución que se usará en fertirrigación se debe contar con los antecedentes técnicos del producto a usar en una concentración determinada y luego su-



mar la C.E. del agua (determinada por análisis de agua). En el **Cuadro 21**, se indican antecedentes de C.E. de diversos fertilizantes usados en fertirrigación, para una concentración final (que llega a los emisores) de 1 gramo por litro de agua. Otro antecedente a considerar es la C.E. máxima tolerable por cada cultivo, frente a la cual el rendimiento puede ser afectado (ver cuadro 16).

Cuadro 21. Características técnicas de fertilizantes usados en fertirrigación.

Fertilizante	Solubilidad a 20°C (g/L*)	C.E. a 1 g/L* (mmhos/cm)	pH en solución a 1 g/L*
Nitrato de amonio	1.870	0,9	5,6
Urea	1.080	0,07	5,8
Sulfato de amonio	760	2,1	5,5
Nitrato de potasio	310	1,21	7
Nitrato de calcio	1.220	n.d.	n.d.
Nitrato de magnesio	2.250	0,88	5,6
Fosfato monoamónico	400	0,86	4,7
Fosfato monopotásico	230	0,72	4,8
Sulfato de potasio	120	1,4	7,1

* = se considera el uso de agua destilada.
n.d. = no determinado.

El pH de la solución entrega un índice de la disponibilidad de los nutrientes entregados. Así por ejemplo, cuando el pH es mayor a 7,0 disminuye la disponibilidad de microelementos. Por otra parte, cuando el pH es inferior a 5,0 baja la disponibilidad del fósforo, potasio, calcio y magnesio.

La realización de mezclas fertilizantes, ya sea usando uno o más estanques, entregará un valor de C.E. y de pH de la solución final de fertirrigación. Si la C.E. (medida con conductímetro) supera el valor límite indicado para algún cultivo específico, será necesario disminuir la dosis de solución madre inyectada, hasta al-



canzar un valor adecuado. En el caso del pH, normalmente al realizar mezclas en solución, el valor comienza a aumentar, pudiendo ser mayor a 7,0, por lo cual es necesario inyectar ácidos (nitríco, fosfórico, sulfúrico, clorhídrico) en alguna concentración determinada que permita obtener un pH dentro del rango óptimo.

Además de la preparación de mezclas a nivel de campo, existe la posibilidad de usar mezclas comerciales, las cuales tienen las siguientes ventajas:

- Pueden contener una amplia cantidad de elementos compatibles entre sí.
- Las fuentes fertilizantes usadas en la elaboración de cada mezcla cumplen con ciertas características de calidad.
- Cada producto cuenta con una ficha técnica que indica; solubilidad en agua a una temperatura dada, pH y C.E. a cierta concentración.
- El pH logrado en solución se encuentra dentro del rango óptimo para la mayoría de los cultivos.
- El sistema de fertirrigación implementado podría contar con sólo un estanque para preparar soluciones madres.
- La aplicación de fertilizantes que contengan Calcio y Magnesio se puede realizar en riegos separados, o durante los mismos riegos, siempre que se preparen en un segundo estanque.
- Se facilita la práctica de fertirrigación, puesto que se evita la preparación de mezclas.

En cada cultivo se puede usar la mezcla comercial más adecuada por etapa fenológica.

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo de concentración de fertilizante en el agua de riego:



Ejemplo 9.

Cálculo de concentración de fertilizante en el agua de riego.

Se plantean las siguientes características para una temporada (6 meses):

- Cultivo: Tomates en invernadero.
- Área invernadero: 300 m²
- Plantas por nave: 200
- Goteros/planta: 1 gotero por planta.
- Caudal Goteros: 4 L/hora.
- Riego: 6 riegos por semana.
- Tiempo de riego: 2 horas (144 riegos por temporada).
- Aplicación fertilizantes: 120 Kg por temporada.

1º Determinar el requerimiento total de agua para la temporada:

$$\text{Agua total} = \text{NDG} \times \text{Caudal} \times \text{TR} \times \text{RT} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

Agua Total : agua total aplicada en la temporada (L).

NDG : Número de goteros por cuartel o sector de riego.

Caudal : caudal de los goteros (L/h).

TR : Tiempo de riego (horas).

RT : Número de riegos por temporada.

Aplicando la ecuación antes descrita se tiene:

$$\text{Agua total} = 200 \times 4 \times 2 \times (6 \times 4 \times 6) = 230.400 \text{ litros}$$

2º Determinar la concentración final:

$$\text{Concentración final} = \frac{\text{Kg fertilizante}}{\text{Agua total}} \quad \text{Ecuación 12}$$



Si se aplican 120 Kg de fertilizantes, distribuidos en todos los riegos, la concentración final de fertilizantes en el agua de riego sería la siguiente:

$$\text{Concentración} = \frac{120 \text{ Kg}}{230 \text{ m}^3} = \frac{120.000 \text{ gramos}}{230.000 \text{ litros}} = 0,52 \text{ g/L}$$

Al respecto, la **Concentración Máxima** de fertilizantes a aplicar en cada riego durante la temporada de crecimiento dependerá del estado fenológico y de la especie, pero en general se sugieren valores inferiores a los siguientes:

- Crecimiento inicial : Concentración < 0,3 g/L
- Desarrollo intermedio : Concentración < 0,5 g/L
- Producción : Concentración < 1 - 2 g/L

6.2. Inyección de Fertilizantes

En muchos casos, el éxito de los programas de fertirrigación no depende del tipo de sistema de inyección empleado, sino de una calibración adecuada, ya que el uso no controlado puede sobrepasar las concentraciones límites de sales en el agua de riego, o simplemente no cumplir con los tiempos de aplicación adecuados, quedando residuos al interior de las tuberías.

Generalmente la solubilidad de las mezclas comerciales es de un 20 - 30%, lo cual significa que se pueden disolver fácilmente 20 - 30 Kg de fertilizante en un estanque de 100 litros (solución madre). La cantidad a inyectar (Tasa de Inyección) de una solución madre dependerá de los siguientes factores:

- 1) Concentración final que se quiera alcanzar (g/L).
- 2) Caudal de riego (bomba o emisores) (L/s).
- 3) Concentración de la solución madre (Kg/L).



El tiempo de inyección de fertilizantes también puede variar. Normalmente, el riego se inicia entregando solamente agua, con lo cual se consigue lavar las sales del suelo que pueden haber quedado como exceso del riego anterior. Posteriormente se comienza a inyectar la dosis de fertilizante calculada para ese evento. Una vez terminada la inyección del fertilizante se debe dar un tiempo de rezago sólo con agua, permitiendo así una limpieza de cañerías y emisores.

La **Tasa de Inyección** se calcula por la siguiente ecuación:

$$Tasa\ de\ inyección = \frac{[Fertilizante] \times 6}{CR \times [SM]} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

Tasa de Inyección : Caudal de Solución Madre a inyectar al sistema (L/min).

Fertilizantes : Concentración a alcanzar del fertilizante (g/L).

CR : Caudal de riego (L/s).

SM : Concentración de la Solución Madre (Kg/L).

A continuación, se presenta un ejemplo de cálculo de **Tasa de Inyección**

Ejemplo 10. Cálculo de Tasa de Inyección

Se prepara una solución madre concentrada al 20% (20 Kilos de fertilizante en 100 Litros de agua = 0,2 Kg/L).

El Caudal de la bomba es de 10 Litros por segundo (medido a nivel de campo).

La concentración máxima de solución de riego (que sale por cada emisor) a la que se quiere trabajar es de 0,5 gramos por litro.



¿Qué tasa de inyección debo medir en el caudalímetro?
(aplicar ecuación 13)

$$\text{Tasa de inyección} = \frac{0,5 \text{ (g/L)} \times 6}{10 \text{ (L/s)} \times 0,2 \text{ (Kg/L)}} = 1,5 \text{ L/min}$$

6.3. Cálculo de ácido a aplicar para neutralización

Para neutralizar concentraciones excesivas de bicarbonatos en el agua de riego se realizan aplicaciones de ácidos (fosfórico, sulfúrico, nítrico, clorhídrico), cuyo cálculo de dosificación se presenta en la siguiente ecuación (100% concentración):

$$DA = \frac{[HCO_3] \times 0,7 \times \text{Vol. agua} \times PE \text{ Ac}}{\text{Densidad ácido} \times 1.000} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

DA : Dosis de ácido (L/ha)

$[HCO_3]$: Concentración de bicarbonatos (meq/L)

0,7 : Fracción porcentual de concentración de bicarbonatos a neutralizar (70%). Cuando se neutraliza más de un 75% u 80% del bicarbonato presente se produce una fuerte caída en el pH, pudiendo generar nuevos problemas.

Vol. Agua: Volumen de agua a aplicar (evento de riego, período fenológico, temporada de riego)

PE Ac : Peso equivalente del ácido a emplear, pudiendo ser

Ácido nítrico (HNO_3^-): 63 mg/meq

Ácido Sulfúrico ($H_2SO_4^{2-}$): 49 mg/meq

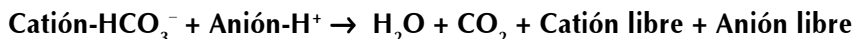
Ácido Fosfórico ($H_2PO_4^{3-}$): 32,3 mg/meq

Ácido Clorhídrico (HCL): 36,5 mg/meq

1.000 : Factor de corrección de unidades



La reacción química durante el proceso de acidificación en términos simples es la siguiente:



Donde:

Cación libre = Ca^{+2} o Mg^{+2} o Na^+ , derivado del bicarbonato neutralizado.

Anión libre = NO_3^- o SO_4^{2-} o PO_4^{3-} o Cl^- , derivado del ácido aplicado (nitrato, sulfúrico, fosfórico, clorhídrico).

Cabe considerar que durante la neutralización de los bicarbonatos se solubilizan sales, generando un aumento en la CE.

A continuación, se presenta un ejemplo de cálculo de dosis de ácido a inyectar para neutralizar los bicarbonatos.

Ejemplo 11. **Cálculo de dosis de ácido a inyectar**

Cultivo	: viñedo variedad Carmenere
pH del agua	: 7,2
Bicarbonatos en el agua	: 1,25 meq/L
Agua aplicada	: 3.000 m ³ (para toda la temporada)
Ácido a utilizar	: ácido fosfórico
Densidad del ácido	: 1,7 Kg/L
Bicarbonato a neutralizar	: 70%



La dosis total de ácido fosfórico a emplear para toda la temporada de riego se determinará empleando la ecuación 14 propuesta anteriormente (se considera 100% de concentración en el Ácido).

$$\text{Dosis de ácido} = \frac{1,25 \times 0,7 \times 3.000 \times 32,3}{1,7 \times 1.000} = 50 \text{ L/ha}$$

La distribución de la dosis del ácido se realizará de forma proporcional a la distribución del volumen de agua a aplicar durante la temporada (método cualitativo o de trabajo por concentración).