



Entendiendo el fertirriego

Material realizado por el Área de Producción de Leche del Consorcio Lechero

Autor:

Mario Wulf Cárdenas, Ingeniero Agrónomo
Diplomado en Riego PUCV



Universidad Austral de Chile
Conocimiento y Naturaleza



Se autoriza la reproducción parcial de la información aquí contenida, siempre y cuando se cite esta publicación como fuente.

Registro de propiedad intelectual N° XXX

Editores:

*Alejandra Viedma, Consorcio Lechero.
Hardy Avilés, Consorcio Lechero.*

Diseño y Diagramación:

IOEDiciones, Osorno-Chile.

Octubre, 2021.

Fertirriego

El fertirriego es la aplicación combinada de agua y fertilizantes a la planta para nutrirla en forma uniforme.

La clave del fertirriego se basa en la coincidencia entre la demanda de nutrientes del cultivo y el programa de aplicación de agua - fertilizantes.

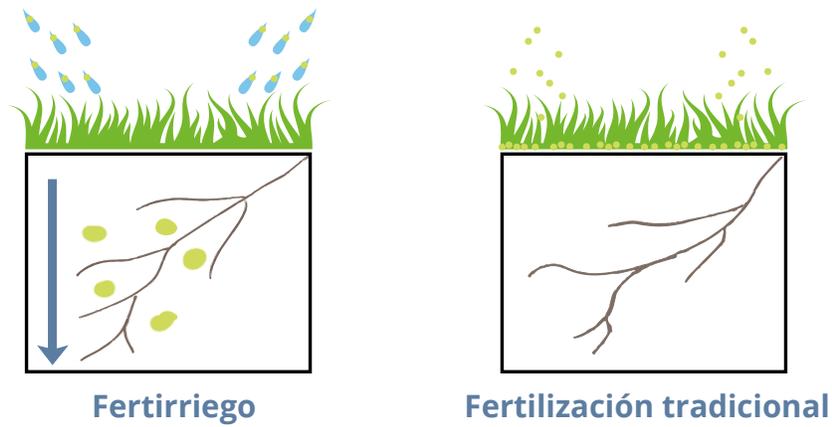
Esto maximiza el potencial del cultivo porque los nutrientes son suministrados en su forma de mayor disponibilidad para la absorción y en el momento en que la planta los requiera, resultando un incremento en rendimientos y calidad de los cultivos.

Para un óptimo crecimiento, los nutrientes deben estar distribuidos uniformemente en el perfil del suelo, asegurando así una óptima absorción por cada planta en el cultivo, situación que se logra muy eficazmente con el fertirriego.

Ventajas

Las principales ventajas de la fertirrigación se pueden resumir en lo siguiente:

- Reducida fluctuación de la concentración de nutrientes en el suelo a través de la temporada de riego.
- Facilidad de adaptar la cantidad y concentración de un nutriente específico respecto a los requerimientos del cultivo.
- Posibilidad de empleo de aguas y suelos de baja calidad: aguas y suelos salinos, suelos pedregosos o excesivamente permeables, pues compensamos la falta de fertilidad natural con esta tecnología.
- Posibilidad de aprovechar la infraestructura para la aplicación de otros productos como desinfectantes de suelo, herbicidas, nematicidas, funguicidas, reguladores del crecimiento, etc.
- Permite el uso adecuado de mezclas de fertilizantes y/o fertilizantes líquidos balanceados con microelementos que son difíciles de distribuir en el terreno.
- Aplicación precisa de nutrientes de acuerdo con la demanda del cultivo, por lo que se evita la concentración excesiva de fertilizante en el suelo y lixiviación fuera de la zona de humedecimiento.
- Aplicación de agua y fertilizantes solamente a un volumen determinado de suelo, donde las raíces están más activas, incrementándose la eficiencia del uso del fertilizante y reduciendo su impacto ambiental (Figura 1).
- Reducción en el tráfico de maquinaria agrícola en el campo.
- Fabricación "a la carta" de fertilizantes concentrados adaptados a un cultivo, agua de riego y condiciones climáticas durante todos y cada uno de los días del ciclo del cultivo.
- Fácil automatización de la fertilización.



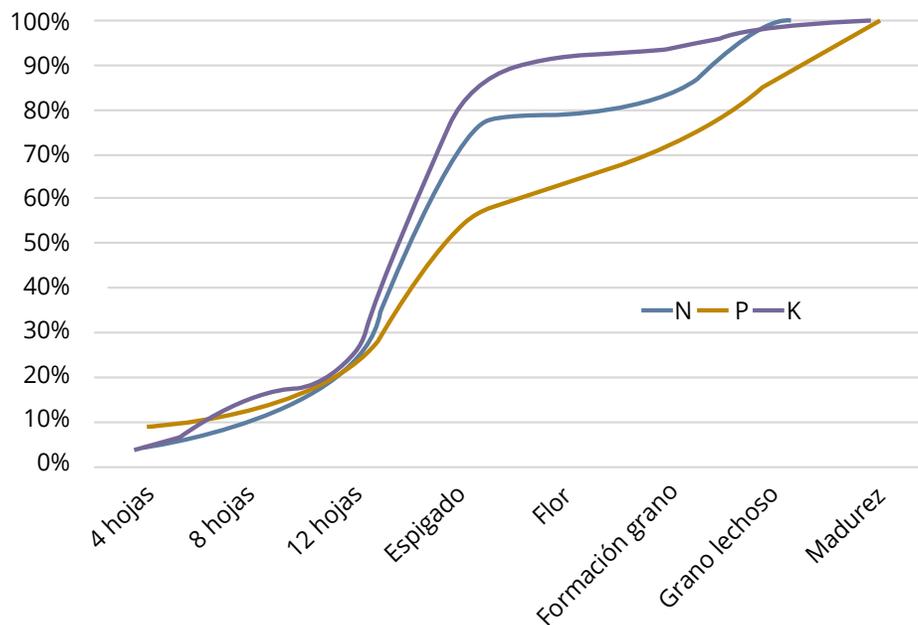
■ Figura 1. Efecto de localización del fertirriego en relación con las raíces v/s fertilización tradicional.

Nutrición vegetal

Bajo la modalidad de fertirriego, interesa conocer no solo la disponibilidad actual de los nutrientes, sino también, la disponibilidad que tendrán a través del ciclo del cultivo. Para ese objetivo necesitamos conocer el patrón de absorción de los nutrientes para suplir esos requerimientos vía fertirriego.

Las plantas necesitan suficiente espacio, suelo, aire, temperatura y, al menos, 14 nutrientes del suelo para prosperar.

Estos nutrientes cumplen funciones fisiológicas variadas que hacen que su tasa de absorción en el tiempo tenga distintas características, por ejemplo, algunos nutrientes serán más demandados en las fases vegetativas, mientras otros serán más determinantes en las fases reproductivas. Como ejemplo la Figura 2 muestra los requerimientos del maíz.



■ Figura 2. Curva de absorción de nutrientes en maíz (Vidal, 2019).

Las plantas absorben los nutrientes esencialmente a través de sus formas iónicas. En algunos casos pueden absorber moléculas orgánicas simples, pero en general son procesos minoritarios (Cuadro 1).

Nutriente	Forma de absorción	Función en la planta
C,H, O, N,S	HCO_3^- , NO_3^- , NH_4^+ , SO_4^{2+} (solución de suelo) N_2 , O_2 , CO_2 , SO_2 , (atmósfera)	Constituyentes de sustancias orgánicas.
P B	H_2PO_4 H_3BO_3	Reacciones de transferencia de energía y movimiento de carbohidratos.
K, Mg, Ca, Cl	K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^-	Funciones no específicas, o componentes específicos de compuestos orgánicos o mantención de balance iónico y potencial osmótico. Controladores de la permeabilidad de las membranas y electropotenciales.
Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn	Co^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} MoO_4^{2-} SeO_3^{2-} , SeO_4^{2-} , Ni^{2+} , Zn^{2+} Quelato	Transporte electrones y constituyente o activador enzimático.

■ Cuadro 1. Formas de absorción de nutrientes por la planta y sus funciones (Vidal,2019).

Mecanismos de llegada de los nutrientes a la raíz

El fertirriego potencia los principales mecanismos de aproximación de los nutrientes a la raíz por este doble juego de concentración y vehículo. Los mecanismos de llegada de los nutrientes a la raíz son (Cuadro 2):

Flujo de agua

Flujo convectivo de nutrientes disueltos en la solución del suelo. Los nutrientes se mueven con el agua teniendo como fuerza motriz la transpiración de la planta, siendo para el nitrógeno y la mayoría de los micronutrientes la principal forma de llegada a la raíz.

Difusión

Difusión de nutrientes a través de gradientes de concentración en la solución del suelo. Es causada por una zona de empobrecimiento inducida por la absorción de nutrientes cerca de la superficie radicular. Es el mecanismo principal de llegada a la raíz para macronutrientes, fósforo y potasio. Cuando existe un gradiente de concentración hay un movimiento mayor desde la zona de alta a la zona de baja concentración.

Intercepción

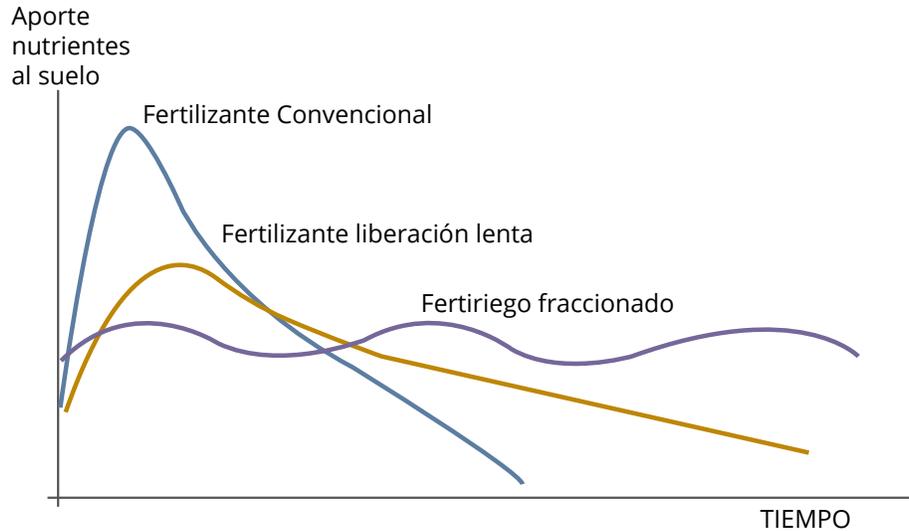
Al crecer, las raíces van explorando porciones de suelo nuevas y pueden absorber los nutrientes que interceptan. La cantidad de nutriente potencialmente absorbida depende del volumen radicular, pero es muy pequeña en todos los casos.

Nutriente	% Nutrientes aportados por:		
	Flujo de agua	Difusión	Intercepción
Nitrógeno (N)	79%	20%	1%
Fósforo (P)	5%	93%	3%
Potasio (K)	18%	80%	2%

■ Cuadro 2. Porcentaje de nitrógeno, fósforo y potasio aportados a las raíces según el mecanismo de llegada.

Fertilizantes para fertirriego

La diferencia entre la fertilización convencional y el fertirriego, es que este último es capaz de mantener un nivel uniforme de nutrientes disponibles para las plantas tanto en tiempo como forma, y en relación a la demanda del cultivo (Figura 3).



■ Figura 3. Disponibilidad en el tiempo de nutrientes vía fertilización (Cadahia, 2005).

Características de los fertilizantes

Solubilidad

Por la naturaleza del riego, los fertilizantes deben ser altamente solubles en agua, en particular los fertilizantes sólidos que se deben disolver para formar la solución madre (Cuadro 3).

Hay que tener la precaución al disolver fertilizantes tales como la urea, pues se generan reacciones endotérmicas que enfrían la solución.

Salinidad

Al evaluar el agua final del fertirriego debemos considerar la concentración de sales que estamos incorporando como fertilizantes, pues las plantas tienen umbrales de sensibilidad a estas concentraciones. La concentración de sales, que se mide a través de la conductividad eléctrica, afecta el esfuerzo de succión de las plantas.

El agua del sur de Chile en general tiene niveles bajos de conductividad eléctrica. Según el estudio de la Dirección General de Aguas sobre aguas subterráneas en la Región de Los Lagos y Los Ríos, esta tiene un promedio de 0,28 dS/m, lo que en la práctica implica que se tiene una gran holgura en la formulación de recetas de fertirriego, pues el umbral no debe superar los 1,5 dS/m en el agua de riego, aunque esto dependerá de la tolerancia de cada especie. En el Cuadro 4 se adjuntan algunos umbrales de referencia.

	Cantidad máxima (kg) disuelta en 100L a 20°C	Tiempo para disolver (min)	pH de la solución	Insolubles (%)	Comentarios
Urea	105	20'	9,5	Despreciable	La solución se enfría a medida que se disuelve la urea.
Nitrato de amonio NH_4NO_3	195	20'	5,62	-	Corrosivo para el hierro galvanizado y bronce.
Sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	43	15	4,5	0,5	Corrosivo para el acero común.
Fosfato mono-amónico MAP	40	20	4,5	11	Corrosivo para el acero al carbono.
Fosfato diamónico DAP	60	20	7,6	15	Corrosivo para el acero al carbono.
Cloruro de potasio KCl	34	5	7,0-9,0 ²	0,5	Corrosivo para el bronce y el acero común.
Sulfato de potasio K_2SO_4	11	5	8,5-9,5 ²	0,4-4 ²	Corrosivo para el acero común y el concreto.
Fosfato mono-potásico MKP	213	-	5,5+/-0,5	<0,1	No corrosivo.
Nitrato de potasio KNO_3	31	3	10,8	0,1	La solución se enfría a medida que el producto se disuelve. Corrosivo para los metales.

¹ La temperatura de la solución cae a 0°C, por eso toma más tiempo para que se disuelva todo el material.

² Estos datos están dentro del rango encontrado en varios análisis y se refieren a fuentes de diferentes orígenes.

■ **Cuadro 3.** Recomendaciones y características de soluciones madre de algunos fertilizantes.

Pérdida de rendimiento	0%	10%	25%	50%
Alfalfa (dS/m)	2	3,4	5,4	8,8
Ballica (dS/m)	5,6	6,9	8,9	12
Cebada forrajera (dS/m)	6	7,4	9,5	13
Maíz forrajero (dS/m)	1,8	3,2	5,2	8,6
Trifolium spp (dS/m)	1,5	2,3	3,6	5,7

■ **Cuadro 4.** Pérdida de rendimiento de algunos cultivos forrajeros en relación a su tolerancia a la salinidad (dS/m).

Acidez

La incorporación de los fertilizantes en el riego implica la modificación del pH, con el consecuente impacto en el precipitado de sales de calcio y afectando la absorción de nutrientes a nivel de suelo. El rango esperado es un pH 5,5 a 6,5.

Compatibilidad

En la mezcla de varios nutrientes en la solución madre se debe evitar reacciones químicas que originen precipitados, los cuales implican sedimentación en el sistema de riego y pérdidas de fertilizante en formas no solubles que no están disponibles para los cultivos.

Fertirriego y Ganadería

El 70% – 80% de la dieta de las vacas lecheras del sur de Chile corresponde a praderas de alta calidad, siendo ésta la clave competitiva de este negocio por razones de costo de producción y diferenciación para el consumidor.

El rendimiento de praderas está fuertemente apalancado al suministro de nitrógeno. El aporte de los fertilizantes nitrogenados tiene una cara menos amable por sus impactos ambiental y económico debido tanto a su transformación a óxido nitroso y consecuente volatilización, como a su lixiviación en forma de nitratos.

Bajo el contexto actual hay un desafío constante en el cómo considerar estrategias para incrementar la producción y disminuir las pérdidas de nitrógeno, siendo el fertirriego una de las herramientas a usar.

Pese a que el fertirriego es una técnica ampliamente consolidada con alrededor de 250 millones de ha en el mundo, ha sido una herramienta poco explorada en praderas perennes y cultivos forrajeros.

¿Qué dicen las investigaciones en praderas y cultivos suplementarios?

Ensayos en Nueva Zelanda (Ley, 2020), compararon el efecto de la urea sólida versus urea diluida en agua para riego, encontrando efectos similares en cuanto a rendimiento y parámetros cualitativos de la pradera. Esto validó que la tecnología del fertirriego tiene impactos productivos similares a los tradicionales, pero con una reducción del uso de maquinaria y mano de obra en la aplicación.

Igualmente, la Organización de Productores de Leche de Queensland, Australia, el año 2018 realizó estudios de casos de praderas de ballica perenne bajo riego utilizando fertirriego, reportando efectos positivos en los rendimientos, ahorro de maquinaria y mano de obra.

Un proyecto de evaluación de la estrategia de fertilización nitrogenada por medio de fertirriego realizado en Turquía (Zeynep y col, 2021) demostró que esta tecnología tiene efectos positivos significativos en cuanto al rendimiento y calidad del maíz ensilado usado como cultivo suplementario.

Cálculos básicos

Realizaremos una formulación simple pensando en el uso de fertirriego con nitrógeno. El espíritu de esta estrategia será utilizar el agua como vehículo para los nutrientes:

Solución madre

Lo primero es formular una solución concentrada del fertilizante. Para ello debemos determinar el volumen de agua para solubilizar una determinada cantidad de fertilizante.

$$W \text{ disolver} = \frac{V \text{ agua} \times S \text{ producto}}{FS}$$

V agua = Volumen mínimo de agua para solubilizar una determinada cantidad de fertilizante, el cual puede ser asociado a la capacidad del estanque (L).

W disolver = Cantidad de fertilizante a disolver (Kg).

S producto = Solubilidad del producto (g/L)

FS = Factor de seguridad (1.200).

Ejemplo de "Solución madre de urea"

Suponiendo que tenemos un estanque de 1.000 L para acumular, que la urea tiene una solubilidad de 1.000 g/L, y que además no mezclaremos con ningún otro fertilizante, entonces:

$$W \text{ disolver} = \frac{1.000 \text{ L} \times 1000 \text{ g/L}}{1.200} = 833 \text{ Kg urea}$$

$$\text{Concentración madre} = \frac{W \text{ disolver}}{\text{Volumen estanque}}$$

Esta solución entonces tiene una concentración madre de 833 g/L. En ese límite no tendremos problemas de precipitados.



Se debe tener precaución al disolver fertilizantes como la urea, pues se generan reacciones endotérmicas que enfrían la solución.

Al realizar soluciones tome todas las precauciones de seguridad y recomendaciones proporcionadas por su proveedor de fertilizantes

Dosis

Los requerimientos de nitrógeno serán dependientes de la tasa de crecimiento del forraje, estado fenológico y nutrientes disponibles en el suelo. Por ende, la recomendación dependerá de las prácticas agronómicas y circunstancias de cada explotación.

Lo que buscamos es definir la concentración final en el agua de fertirriego.

Esto se debe relacionar con los parámetros del riego. En el caso de aspersión, entregamos una lámina de agua para un intervalo de tiempo, frecuencia de riego, por lo que nuestra dosis de fertilizantes tendrá ese horizonte.

Ejemplo de dosificación

La frecuencia de riego es cada 7 días y la lámina a reponer será de 37 mm (370.000 L/ha). Para este ejemplo la recomendación fue una dosis de 10 Kg/ha/semana de nitrógeno (como urea).

$$\text{Concentración final} = \frac{\text{Dosis fz kg/ha}}{\text{Factor x lámina bruta L/ha}}$$

Dosis fz = Dosis de fertilizante (Kg/ha).

Lámina bruta = Agua a reponer en la frecuencia de riego (L/ha).

Factor = Es el % del tiempo de la jornada de riego diaria en que se inyectará una solución de fertilizante. Si la jornada diaria de riego son 20 horas y se inyecta una solución por 5 horas, el resto de la jornada sólo se inyecta agua, siendo el factor 25%.

En este ejemplo se muestra el resultado con factores 100%, 50% y 25%:

$$\text{Concentración Final} = \frac{\text{Dosis fz kg/ha}}{\text{Factor x lámina L/ha}} = \frac{21,7 \text{ urea kg/ha}}{100\% \times 370.000 \text{ L/ha}} = 0,06 \text{ g/L}$$

$$\text{Concentración Final} = \frac{\text{Dosis fz kg/ha}}{\text{Factor x lámina L/ha}} = \frac{21,7 \text{ urea kg/ha}}{50\% \times 370.000 \text{ L/ha}} = 0,11 \text{ g/L}$$

$$\text{Concentración Final} = \frac{\text{Dosis fz kg/ha}}{\text{Factor x lámina L/ha}} = \frac{21,7 \text{ urea kg/ha}}{25\% \times 370.000 \text{ L/ha}} = 0,23 \text{ g/L}$$



Es clave medir la calidad de agua final pues no debe superar las restricciones de conductividad eléctrica y pH, descrita en la Ficha n°5 sobre calidad de agua para riego.

Inyección

La tecnología más común en nuestras condiciones son los inyectores Venturi, dispositivo hidráulico con forma de dos embudos unidos por la parte más angosta en donde el flujo de agua genera una succión que es aprovechada para inyectar la solución madre. Usualmente va acompañado por un flujómetro o caudalímetro.

El objetivo buscado es regular la dilución entre la solución madre y el caudal de agua utilizado en riego. La variable que ajustamos para alcanzar la concentración final en el agua de riego es el caudal de inyección, pues el caudal de riego es fijo y debemos conocerlo para realizar adecuadamente estos cálculos.

Ejemplo

El caudal de riego utilizado en la explotación es de 40 L/s equivalente a 144.000 L/h para regar 54 ha. Por los cálculos previos sabemos que la solución madre en el estanque tiene 833 g/L. La concentración buscada es de 0,23 g/L considerando un factor de 25% por lo que necesitamos determinar el flujo de inyección del Venturi.

$$\text{Caudal inyección} = \frac{\text{Concentración final} \times \text{Caudal de riego}}{\text{Concentración madre}}$$

$$\text{Caudal inyección} = \frac{0,23 \text{ g/L} \times 144.000 \text{ L/h}}{833 \text{ g/L}} = 39,8 \text{ L/h}$$

Entonces si fijamos en 40 L/h por 5 horas efectivas de aplicación en 7 días, que es la frecuencia de riego en la cual completamos las 54 ha, tendremos un consumo de 1.400 litros de solución madre. Esto implica que 1.000 litros de solución madre nos durarán 5 días.

Para comprobar nuestros datos sabemos que 833 g/L es la concentración de solución madre por los 1.400 litros consumidos. Eso equivale a 1.166 Kg aplicados en 54 ha, dando una dosis similar a la meta buscada 21,7 Kg/ha urea.

Una estrategia distinta pero igual de efectiva sería fijar el caudal de inyección del Venturi, por ejemplo, por una restricción del modelo que no nos dé tantas opciones de regulación, siendo la variable de ajuste la concentración de la solución madre, la cual debe ser más diluida que los 833 g/l.



Con respecto a los tiempos de inyección debemos tomar la precaución de distribuirlos en el número de posiciones diarias. En este ejemplo, supongamos que nuestro sistema de riego tiene 2 posiciones diarias, lo que implicará un tiempo de fertirriego de 2,5 horas por cada posición.

Bibliografía

Cadahia, C. 2005. Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Mundi-Prensa Libros.

Demir Zeynep, Mehmet Keçeci y Arzu Erol Tunç. 2021. "Effects of nitrogen fertigation on yield, quality components, water use efficiency and nitrogen use efficiency of silage maize (Zea Mays L.) as the second crop." Journal of Plant Nutrition 44, no. 3 (2021): 373-394.

Ley, T. W. S. 2020. Can fertigation increase nitrogen use efficiency in NZ dairy pastures?: A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the Degree of Masters of Agricultural Science at Lincoln University (Doctoral dissertation, Lincoln University).

Vidal, I. 2019. Fertirrigación: Desde la Teoría a la Práctica. Universidad de Concepción, Chile.



 **Consorcio
Lechero**



**YO RIEGO
DE MANERA
EFICIENTE**