

Fertirrigación Nitrogenada en Maíz: Innovando en Cultivos Tradicionales

▶ **Marcelo Vidal S.**
Ingeniero Agrónomo
INIA – Rayentué
marcelo.vidal@inia.cl

▶ **Alejandro Antúnez B.**
Ingeniero Agrónomo. Ph.D.
INIA – La Platina
aantunezb@inia.cl

▶ **Sofía Felmer E.**
Ingeniero Agrónomo
INIA – Rayentué
sfelmer@inia.cl

▶ **Roberto Morales J.**
Ingeniero en Ejecución
Agrícola
INIA – Rayentué
roberto.morales@inia.cl

▶ **Rafael Ruiz Sch.**
Ingeniero Agrónomo Dr.
Consultor Privado
Fertilidad de Suelos

▶ Inyección de fertilización nitrogenada
en riego por pulsos en maíz.



La aplicación del riego en Chile se realiza principalmente por métodos superficiales (riego tradicional, por surco mejorado y por surco compactado, entre otros), que a nivel mundial representan un 85% de la superficie agrícola regada. El 81% del área regada de la región de O'Higgins se riega por surcos o por tendido. Debido a que los métodos superficiales, en general, son ineficientes en el uso del agua, con pérdidas por lixiviación y escorrentía superficial, se hace necesario innovar en el uso de estos sistemas para mejorar su eficiencia.

El manejo ineficiente de los recursos hídricos conlleva un deterioro del sistema agroecológico relacionado con la contaminación de las napas subterráneas, producida por la lixiviación de nutrientes y pesticidas aplicados a los cultivos y que son arrastrados en profundidad. Por otra parte, la reducción de la lixiviación de nutrientes, principalmente nitratos, puede implicar indirectamente un menor costo de la fertilización nitrogenada en la producción de maíz. Es importante destacar que el costo de la fertilización en el maíz grano representa hasta un 40% de los costos de producción, de manera que una rebaja en este ítem puede mejorar la competitividad del cultivo.

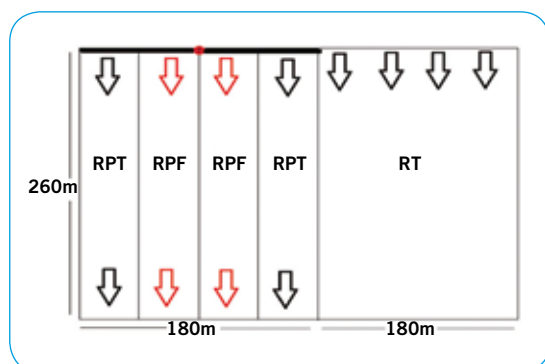
Las dosis recomendables para obtener la máxima utilidad económica en maíz dependen de la tecnología de aplicación del fertilizante. Ello en cuanto a forma de aplicación, parcialización y localización adecuada en relación al sistema de riego empleado. De esta forma, podrían lograrse beneficios si la aplicación de nitrógeno se realiza disolviendo previamente el fertilizante nitrogenado y aplicando esta solución en el agua de riego de manera dosificada. Esta práctica es conocida como fertirrigación. Con esta técnica, las plantas asimilan los nutrientes de manera más eficiente, con una distribución más homogénea en el campo, además de reducir potencialmente las pérdidas por lixiviación al aplicar buenas prácticas de riego.

En Chile es necesario incrementar la eficiencia del riego por surcos en la agricultura regada de la Zona Central. Esto es posible disminuyendo las pérdidas de agua por percolación profunda, controlando la lixiviación de nitratos a los cursos de agua subterráneos y disminuyendo el escurrimiento superficial. También es importante aumentar la uniformidad de riego, asegurando una disponibilidad homogénea de agua y de los nutrientes aplicados a las plantas en todo el campo regado.

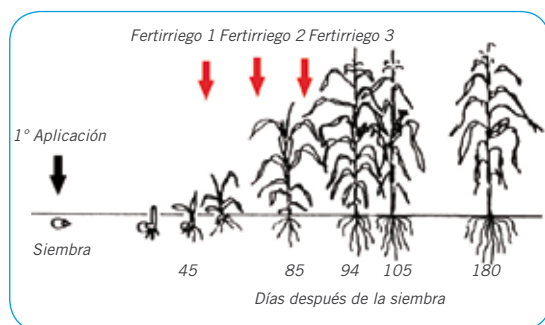
El riego por pulsos (del inglés *'surge flow'*), consiste en la aplicación de agua en forma discontinua mediante ciclos. Las válvulas comerciales que controlan el riego por pulsos también permiten la inyección de fertilizantes previamente solubilizados al surco de riego, en una técnica innovadora para el riego superficial en Chile. De esta forma, esta técnica de riego representa una alternativa para disminuir el uso del recurso hídrico y, por otra, disminuiría la pérdida de nitratos por lixiviación. El nitrógeno no lixiviado posibilita su absorción por la planta facilitando que éste sea asimilado por ella, promoviendo mejores rendimientos, disminuyendo los costos de fertilización, así como la contaminación de napas subterráneas.

En el proyecto "Mejoramiento de la Competitividad del Maíz mediante la Implementación del Riego por Pulsos, en la Región de O'Higgins", financiado por el FIC, se evaluó esta técnica durante la temporada de riego 2012-2013. Ello con el fin de determinar los efectos de la fertirrigación en el rendimiento del grano. Adicionalmente, se logró evaluar la eficiencia de recuperación del nitrógeno a partir de la determinación de la extracción total de nitrógeno a la cosecha; lográndose una primera estimación de las pérdidas de nitrógeno por lixiviación.





► **Figura 1.** Esquema del ensayo de riego por surcos convencional y por pulsos.



► **Figura 2.** Esquema de la parcialización de la dosis de fertilizante vía fertirriego.

Ensayo de Fertirrigación, El Carmen, Temporada 2012-2013 ◀

El ensayo de campo de riego por pulsos con fertirrigación se realizó en terrenos del Liceo Agrícola El Carmen, San Fernando, ubicado en la carretera 5 Sur, Km 140. El suelo del sitio del ensayo es de textura franca arenosa, bien drenado, con profundidad variable y pedregosidad superficial en cabecera. El potrero regado fue dividido en dos sectores. En uno se regó de forma tradicional (RT), y en el otro con sistema de riego por pulsos (Figura 1). A su vez, el riego por pulsos se dividió en dos tratamientos de fertilización nitrogenada: tradicional, aplicado de una vez a la aporca (RPT) y parcializado vía fertirriego (RPF).

La dosis total de nitrógeno aplicada fue de 351 Kg/ha (Siembra + Aporca). Se aplicó 276 Kg de N/ha, equivalentes a 600 Kg de urea de acuerdo a los siguientes tratamientos:

- **RT:** Riego tradicional y aplicación tradicional del nitrógeno a la aporca.
- **RPT:** Riego por pulsos con aplicación tradicional del nitrógeno a la aporca.
- **RPF:** Riego por pulsos con aplicación del nitrógeno en 3 eventos de riego vía fertirriego; 1er riego (40%), 2° y 3er riegos (30% - 30%).

Además, se caracterizó el sitio experimental en base a un análisis físico-hídrico del perfil de suelo: textura, densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez permanente (Cuadro 1).

► **Cuadro 1.** Propiedades físico-hídricas del sitio experimental

Profundidad (cm)	CC 33 k Pa	PMP 1500 k Pa	H.A. %	Textura	D.A g/cm ³
0-20	14,21	6,21	8,00	Franco	1,19
20-40	16,01	6,67	9,34	Franco	1,34
40-60	15,33	6,55	8,78	Franco	1,35
60-80	13,44	5,16	8,28	Franco Arenoso	1,30

Se recolectó una muestra compuesta del sitio experimental considerando las siguientes profundidades; 0 - 20 cm, 21 - 40 cm, 41 - 60 cm y 61 - 80 cm. En estas muestras se determinó también el nivel inicial de nitratos (Cuadro 2).

► **Cuadro 2.** Fertilidad del sitio experimental.

Profundidad (cm)	pH	C.E. dS/m	M.O. %	Nutrientes disponibles mg/kg				
				N	P	K	N-NO3 mg/kg	N-NH4 mg/kg
0-20	6.7	0.7	1.5	18	32	175	9	9
21-40	6.6	0.8	1.6	26	29	163	18	8
41-60	6.7	0.4	1.2	15	40	115	9	6
61-80	6.7	0.4	0.9	8	18	101	30	5



El rendimiento se estimó a partir de la cosecha de tres metros lineales sobre hilera en 24 puntos por tratamiento, homogenizándolo a 14,5% de humedad de grano.

Para la estimación de la materia seca del cultivo de maíz, se cosecharon 6 plantas por tratamiento, las que se diseccionaron y secaron a 60°C para luego pesarlas. Los macro y microelementos absorbidos se determinaron analizando una muestra compuesta por 75 plantas por tratamiento, y medida mediante espectrofotómetro de llama.

La estimación del nitrato potencialmente lixiviable se efectuó midiendo la diferencia entre los nitratos del perfil después del 2° riego y los nitratos presentes en el perfil después del último riego, asumiendo que más allá de los 60 cm de profundidad, el nitrato está fuera del alcance de las raíces.

Principales Resultados ◀

En el Cuadro 3 se presenta el rendimiento de maíz grano obtenido en los distintos tratamientos de riego y fertilización.

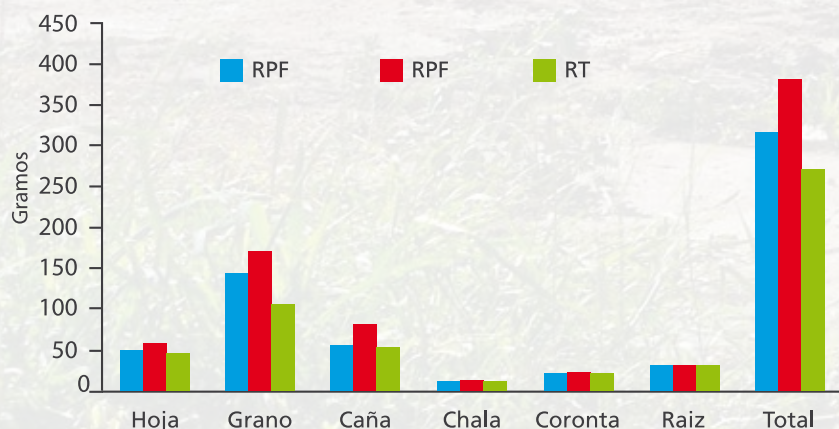
► **Cuadro 3.** Rendimiento del grano según tratamientos.

Tratamiento	Rendimiento (qqm)
Riego pulsos Fertirriego	129 b
Riego pulsos Fert. Tradicional	141 a
Riego tradicional Fert. Tradicional	107 c

El rendimiento del maíz se afectó por los tratamientos de riego y fertilización, resultando el tratamiento de riego por pulsos con fertilización tradicional (RPT) con mayor producción que los demás tratamientos. Cabe destacar que la producción de la superficie bajo tratamiento de riego tradicional fue significativamente inferior a la superficie bajo riego por pulsos (Prueba de Tukey, $\alpha = 0,05$). La diferencia de rendimientos entre los tratamientos de fertilización tradicional y fertirriego podría deberse a la época de aplicación del fertilizante, atrasada por precipitaciones que impidieron realizar oportunamente el fertirriego. Aplicaciones tardías de nitrógeno fomentarían producción de biomasa en desmedro del número de granos por unidad de superficie.

La materia seca por tratamiento en las distintas partes de la planta se presenta en la Figura 3.

► **Figura 3.** Peso seco de las distintas partes de la planta de maíz.



Gran parte de la materia seca producida por la planta es material orgánico que resulta de la fotosíntesis y plantas con bajo niveles foliares de nitrógeno, que consecuentemente reducen su actividad fotosintética generando menor biomasa. En la Figura 3, se observa que las plantas bajo el tratamiento de riego y fertilización tradicional (RT), producen una menor materia seca total que las plantas bajo los otros tratamientos. Las plantas regadas con pulsos y con fertirrigación (RPF), presentaron una mayor materia seca que el resto de los tratamientos evaluados. Estas diferencias podrían deberse a la disponibilidad de nitrógeno tanto en el perfil como al interior de la planta. Cabe señalar que el grano es la parte que presenta el mayor peso, seguido por las hojas y la caña de la planta de maíz.

La extracción total de nutrientes por tratamiento se presenta en el Cuadro 4.

► **Cuadro 4.** Extracción total de nutrientes por el cultivo del maíz en base a una población de 99.000 pl/ha.

Tratamiento	Extracción Kg/ha				
	N	P	K	Mg	Ca
Riego pulsos Fert. Tradicional	293	42	275	37	77
Riego pulsos Fertirriego	334	57	323	42	90
Riego tradicional Fert. Tradicional	203	39	246	32	67

Según el Cuadro 4, las plantas regadas con pulsos y fertirrigación (RPF), registran la mayor extracción de nutrientes, superiores que el tratamiento de riego tradicional con fertilización tradicional. La mayor extracción se atribuye al mayor contenido de materia seca y avalaría el hecho de que la tercera sub-dosis de N en el fertirriego, incrementó dicha materia seca sin impactar al rendimiento.

En el Cuadro 5, se presenta la extracción de nutrientes del grano.

► **Cuadro 5.** Extracción de nutrientes en grano, para un rendimiento promedio de 130 qqm.

Tratamiento	Extracción del grano Kg/ha				
	N	P	K	Ca	Mg
Riego pulsos Fert. Tradicional	156	31	45	1,4	12
Riego pulsos Fertirriego	191	43	56	1,7	15
Riego tradicional Fert. Tradicional	100	25	36	1,0	9

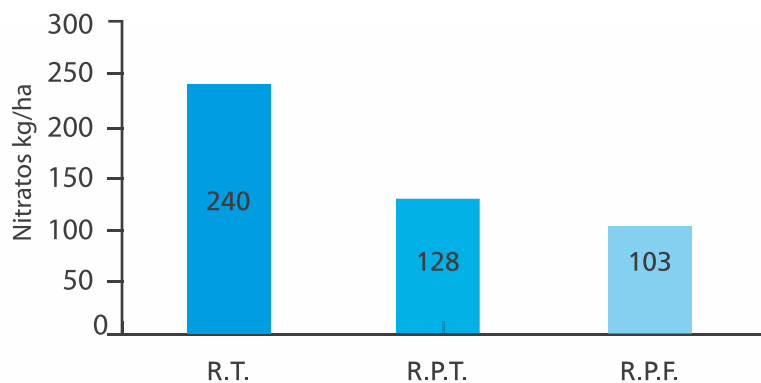
El contenido de nitrógeno del grano representa aproximadamente el 50% de la extracción total de nitrógeno por la planta y es superior para los tratamientos de fertilización con el sistema de riego por pulsos en comparación al riego tradicional. Los mayores valores de N extraídos por el grano en el fertirriego, se deben principalmente al contenido de nitrógeno del grano, superior en ese tratamiento, pero sin impacto en rendimiento.

La extracción de nitrógeno del maíz varía con el rendimiento del cultivo y de los factores que interfieren en la determinación del mismo (clima, genotipo y prácticas de manejo). Dentro de las prácticas de manejo, el riego y la época de aplicación del fertilizante nitrogenado son claves para alcanzar el rendimiento potencial en maíz grano.

En base a una comparación sectorizada de los niveles de Nitratos a tres profundidades, antes de las aplicaciones a la aporca y al finalizar el período de riego, se obtiene un diferencial. Este puede atribuirse a pérdidas por lixiviación a partir de la aporca. La cantidad de nitratos potencialmente lixiviables se presenta en la Figura 4.



► **Figura 4.** Masa de nitratos potencialmente lixiviables por unidad de superficie (kg/ha) en una temporada de riego de maíz grano.



De acuerdo a la Figura 4, todos los tratamientos provocan lixiviación de nitratos, siendo el tratamiento de riego y fertilización tradicional el que ocasiona mayor pérdida de nitratos del perfil (RT), siendo prácticamente el doble. Las pérdidas por lixiviación de nitrato provocadas por los tratamientos bajo riego por pulsos no son tan diferentes entre sí. La mayor pérdida de nitratos del perfil provocadas por el riego y fertilización tradicional podrían relacionarse con los altos volúmenes de agua utilizados.

Conclusiones y Comentarios Finales ◀

- Las pérdidas de nitrógeno por lixiviación están muy relacionadas con los volúmenes de agua aplicados durante la temporada, siendo muy superiores en el tratamiento de riego y fertilización tradicional. De aquí parte un círculo vicioso en el cual los altos volúmenes de riego utilizados en la zona producen más percolación y mayor pérdida del nitrógeno móvil. Esto lleva al uso de altas dosis de nitrógeno para compensar las pérdidas.
- En suelos de textura gruesa y en suelos con alta tasa de percolación profunda, se demuestra que el riego por pulsos permite alcanzar mayores rendimientos de grano que el riego tradicional.
- Bajo las condiciones del ensayo, el tratamiento de riego por pulso y fertilización tradicional, resultó superior al regado por pulsos con fertirrigación, situación que debe comprobarse en futuros experimentos.
- Es necesario considerar que cada nutriente se absorbe en tiempos y tasas diferentes, con distinto grado de movilidad dentro de la planta. Los períodos de absorción varían de acuerdo a la zona, fechas de siembra, variedad o híbrido seleccionado. Conocer el período de máxima absorción y la cantidad requerida por cada nutriente en época de crecimiento, puede facilitar alcanzar el rendimiento potencial de la variedad de maíz en la zona.
- Las curvas de absorción de nutrientes deben desarrollarse para cada región del país y para cada híbrido. De esta forma, se podrá mejorar la eficiencia de aplicación del fertilizante, sin olvidar que un adecuado manejo del riego superficial, especialmente en relación al tiempo de riego y control de caudales en cabecera, está muy relacionado con la eficiencia del uso del fertilizante en el cultivo.
- La cuantificación de la extracción de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y manganeso en el cultivo del maíz completo (grano y biomasa) realizada en este proyecto, podrá servir como entrada en un modelo de ajuste de la fertilización del maíz.