



CAPITULO 4

Mejoramiento del Riego Superficial del Maíz en la Región de O'Higgins

Alejandro Antúnez B.
Ing. Agrónomo, Ph.D
aantunezb@inia.cl
INIA La Platina

Sofía Felmer E.
Ing. Agrónomo

Marcelo Vidal S.
Ing. Agrónomo

Roberto Morales J.
Ing. Ejecución Agrícola
INIA Rayentué

Alejandro Aguilar M.
Ing. Agrónomo

Sebastián Yarad L.
Ing. Agrónomo

4.1 Introducción

Del total de la superficie nacional regada (1.093.000 ha), unas 790 mil ha se riegan con métodos de riego gravitacional, representando un 72% de la superficie regable del país. De esta cifra, 311 mil ha se riegan por surcos con bajo nivel de tecnificación (ODEPA, 2011). En Chile, los sistemas de conducción mediante surcos y por tendido son los más utilizados en la mayoría de los cultivos que se producen en el país. Como indica el Cuadro 18, casi el 30% de la superficie se encuentra regado mediante surcos, y si se incluye el riego por tendido, ambos alcanzan casi el 70% de la superficie total regada del país, de acuerdo al último Censo Agropecuario y Forestal (ODEPA, 2013).

Cuadro 18. Superficie total de riego superficial en Chile.

Región	Total Regado (ha)	Por surcos (ha)
Región de Tarapacá	1.162	17
Región de Antofagasta	2.347	35
Región de Atacama	19.637	3.524
Región de Coquimbo	75.819	18.164
Región de Valparaíso	86.888	19.152
Región del Maule	213.176	102.541
Región de O'Higgins	305.529	94.468
Región del Bio Bio	168.596	14.036
Región de la Araucanía	50.107	2.210
Región de los Lagos	4.470	4
Región del General Carlos Ibáñez del Campo	2.961	202
Región de Magallanes y Antártica Chilena	19.794	3.062
Región Metropolitana	138.694	57.547
Región de los Ríos	8.202	41
Región de Arica y Parinacota	11.177	1.483
Total General	1.108.559	316.486

En la actualidad, se verifica una presión social por el uso ineficiente del agua debido a su acentuada escasez, como también a la elevada contaminación de aguas subterráneas principalmente a causa de la lixiviación del Nitrógeno. En este contexto, es necesario incrementar la eficiencia del riego por surcos en la agricultura comercial, disminuyendo las pérdidas de agua por percolación profunda y escurrimiento superficial. Asimismo, es importante

aumentar la uniformidad de riego, asegurando una disponibilidad homogénea de agua para las plantas en todo el campo regado.

4.2 Riego superficial

En el riego superficial, el agua se vierte por un extremo del campo y fluye sobre la superficie en el sentido de la pendiente, infiltrando en el suelo a medida que avanza. Existen varios tipos de riego superficial, siendo mundialmente el más utilizado en la agricultura, el riego por surcos convencional.

El riego por surcos, consiste en la utilización de pequeños canales o surcos paralelos a la línea de plantación. La separación y largo de los surcos dependerán del tipo de suelo y cultivo. Tradicionalmente en este tipo de riego se utiliza altos caudales, lo cual provoca una mala distribución del agua en la superficie y altas pérdidas del recurso, generando eficiencias de aplicación no superiores al 30%.



Foto 4. Riego por surcos convencional en maíz.

El riego continuo se divide en dos fases: avance y recesión. En la fase de avance, el agua recorre toda la longitud del surco, después de haber ocurrido el tiempo para completar la infiltración de la lámina de agua consumida por la evapotranspiración del cultivo

desde el riego anterior y el ingreso del agua al surco se interrumpe, comenzando así la fase de recesión. Se denomina recesión o secado, al momento en que el agua va desapareciendo a lo largo de surco.

En la Figura 15 se presenta gráficamente estos conceptos.

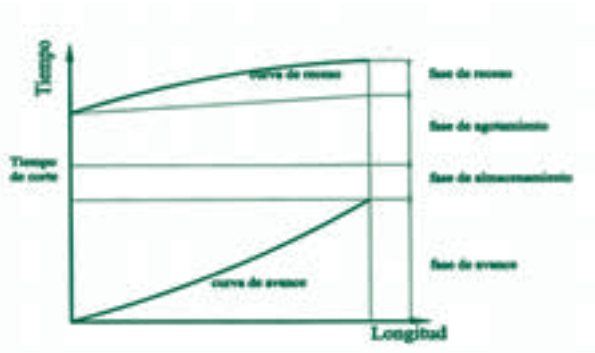


Figura 15. Curvas de avance y receso.

Las pérdidas de agua más comunes del riego por surcos convencional están representadas por el escurrimiento superficial (Foto 5), debido a los altos caudales utilizados y a la percolación profunda debido al alto tiempo de riego, despreciándose la evaporación directa del agua del surco.



Foto 5. Pérdidas de agua por escurrimiento superficial

4.3 Riego por surcos mediante pulsos

Esta técnica de riego fue desarrollada como una necesidad de aumentar la eficiencia agronómica del sistema de riego por surcos convencional, debido al bajo costo energético de este sistema en comparación a sistemas de riego presurizados.

En el sistema de riego por pulsos, el agua se conduce hasta una válvula con compuerta giratoria que tiene como función distribuir el agua a cada uno de los sets de surcos, generando una aplicación intermitente de agua, originándose como consecuencia periodos alternados de humectación (periodo "on" o "abierto") y de secado (periodo "off" o "cerrado"), sobre la superficie regada.



Foto 6. Sistema de riego por pulsos.

Con este sistema se puede regar prácticamente el doble de la superficie en comparación con el riego convencional. Adicionalmente, en algunas condiciones, esta técnica reduce los tiempos de aplicación y volumen de agua necesario para el avance del flujo a lo largo del surco, con lo cual se logra aumentar la uniformidad de distribución del agua de riego (Cornejo, 1991). La técnica de riego por pulsos genera una disminución sucesiva de la velocidad de infiltración (Figura 16), lo cual causa un aumento

en la velocidad de avance. La disminución de la velocidad de infiltración se explica por una serie de mecanismos, de acuerdo a Coolidge, Walker y Bishop (1982):

- La consolidación del suelo mojado durante la interrupción del flujo, debido a un incremento en la tensión suelo – agua.
- El llenado de grietas y poros por deposición de partículas en el fondo del surco.
- Mayor desintegración de las partículas del suelo en el perímetro mojado como resultado de la rápida humectación por el frente de avance.
- Sellado de la superficie causado por la migración y reorientación de las partículas del suelo.
- Hidratación y la expansión de las partículas de arcilla.
- Redistribución del agua infiltrado a lo largo del perfil del suelo.
- Aire retenido en el suelo.

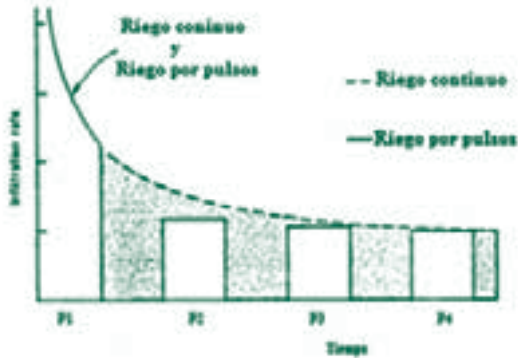


Figura 2. Infiltración durante el avance, en relación al tiempo de riego transcurrido

Es así como el tiempo de oportunidad durante la fase de avance en el surco es mucho menor en el riego por pulsos en comparación con el riego continuo (convencional), esto produce una baja infiltración en la cabecera y por tanto una menor percolación profunda (USDA-SCS, 1986).

La duración y número de los pulsos o ciclos es variable, dependiendo de:

- Las características de infiltración del suelo.
- El caudal de entrada.
- El requerimiento de riego.
- El porcentaje de requerimiento de agua necesaria en el último tramo del surco.

4.3.1 Descripción de la técnica de riego por surcos mediante pulsos

Esta técnica de riego divide el tiempo total del riego por surcos convencional (continuo) en dos etapas o fases: avance y remojo. El objetivo principal de la fase de avance es el mojamamiento rápido y homogéneo de todo el largo del surco. La fase de avance comienza con el primer pulso, suponiendo que alcanza un tercio de la longitud del surco, y posteriormente se corta el suministro de agua, dejando que el suelo se ventile o airee. El segundo pulso pasa al sector del surco ya mojado por el primer pulso en un tiempo menor. De esta manera en el suelo húmedo casi no existe infiltración, así hasta alcanzar el sector seco del surco que se está regando, de esta forma, se moja la segunda parte del surco, lo cual se repite en la cantidad de pulsos o ciclos necesarios hasta alcanzar el extremo final del surco. El proceso de “mojar y ventilar”, permite alcanzar una velocidad la velocidad de infiltración mínima y homogénea a lo largo del surco.

Ya igualada la tasa de infiltración en todo el largo de surco, producto de la fase de avance, comienza la fase de remojo, que consiste en abrir el flujo de agua por un determinado tiempo, para luego cortarlo por el mismo periodo que estuvo abierto. De esta forma, el volumen de agua aplicado infiltrará en su totalidad a lo largo de surco. Estos cortes de agua permiten minimizar el escurrimiento superficial limitando la cantidad de agua que desagua y aumentando el volumen de agua a infiltrar.

4.3.2 Ventajas y desventajas del riego por surcos mediante pulsos

A continuación se presenta las ventajas y desventajas del uso del tratamiento de riego por surcos mediante pulsos.

Ventajas

- El agua aplicada intermitentemente por los pulsos de avance permite alcanzar más rápidamente el final del surco, reduciendo el tiempo de oportunidad.
- El uso del programador de la válvula permite controlar los tiempos de riego, y con esto se controla el escurrimiento superficial.
- El riego por pulsos permite una aplicación de agua con un mejor control de caudales.
- El riego por pulsos permite un mejor manejo del agua de riego.
- El riego por pulsos permite automatizar el sistema de riego por surcos tradicional y con la reducción de los volúmenes de agua aplicados.

Desventajas

- El regador requiere monitorear la humedad de suelo de manera más frecuente que en riego por surcos continuo convencional.
- La factibilidad de aplicación de riegos ligeros puede provocar una aplicación de riego menor para el cultivo si es que se programan de forma inadecuada los pulsos de riego.
- El riego por pulsos requiere de un alto grado de manejo, el que se puede ver afectado si se realiza por mano de obra no capacitada.
- El equipo de riego por pulsos debe ser mantenido de manera correcta para que este opere bien y se puedan obtener los resultados esperados. Una mala mantención del sistema puede provocar problemas en el cultivo.

4.4 Propuesta tecnológica para el mejoramiento del riego superficial en maíz

A continuación, se presenta una propuesta basada en cuatro puntos necesarios para mejorar la eficiencia de riego superficial en el cultivo del maíz. Estos son los siguientes:

Emparejamiento del suelo

El objetivo de emparejar el suelo es alcanzar una pendiente relativamente baja, conocida, homogénea y apta para el riego por surcos a lo largo y ancho del predio. Al nivelar el suelo, se evita el aposamiento de agua en sectores bajos. Estos aposamientos reducen la velocidad de avance del agua a lo largo del surco y generan un aumento del agua percolada en la zona anegada, reduciendo la aireación del suelo en las plantas del sector deprimido.

Los surcos deben ser homogéneos y su superficie debe presentar la menor resistencia posible al frente de agua, para lograr que la velocidad de avance del agua sea homogénea en todos los surcos, provocando idealmente que el agua llegue al final del surco casi simultáneamente.

Distribución de agua y control de caudales de riego en cabecera

Para la distribución de agua en la cabecera de riego, se recomienda la instalación de mangas de riego o la instalación de un sistema de riego tipo californiano móvil. Las mangas para riego son tuberías flexibles de polietileno de alta densidad, resistente a rayos ultravioleta. Se comercializan en diferentes diámetros y espesores, generalmente los diámetros varían entre 4" y 22" (100 a 560 mm) y el espesor entre 250 y 450 micrones. Las mangas son ciegas, es decir no vienen de fábrica con las compuertas de riego instaladas, lo cual entrega la ventaja adicional de utilizarlas solamente para la conducción del agua en algunos tramos. Por su parte, las compuertas de riego son aparatos de vital importancia para el adecuado control y uniformidad del caudal de riego en los surcos. Su anclaje a las mangas de riego debe ser seguro y

hermético para evitar pérdidas de agua. Mediante una tapa deslizante, permite al regador regular el caudal aplicado en cada surco.



Foto 7. Control de caudales en la cabecera de riego.

Válvula de riego por pulsos con controlador Star

La válvula de riego por pulsos, encargada de regular el paso del agua, se fabrica en fundición de aluminio, asegurando una alta resistencia a la corrosión y la hace a su vez muy liviana y transportable. Tiene un diámetro de 10" (250 mm), capaz de solventar un caudal máximo de 340 m³/h, aunque este caudal depende de la cantidad de agua disponible en el predio al momento del riego y de la carga hidráulica.

El controlador Star, permite el control del riego por pulsos moviendo el disco interior de la válvula mariposa, permitiendo la automatización del riego. Al digitar el tiempo que tarda el agua en avanzar la longitud total del surco (tiempo de avance), en forma tradicional, el controlador calcula automáticamente el número y tiempo de los ciclos de avance y el tiempo de los ciclos de infiltración o remojo. El controlador permite también efectuar cambios en el número de ciclos de avance y el tiempo de éstos, cambios en los tiempos de infiltración y en la relación de tiempo entre lado derecho e izquierdo de la válvula, en cualquier momento durante un riego. De esta forma, la labor del riego se puede adaptar a las características físicas-hídricas de cada suelo

o condición hídrica. El controlador es una unidad autónoma y no requiere instalaciones previas para su funcionamiento ni suministro de ningún tipo. Su consumo energético está provisto por una batería interna recargada por los rayos solares, y es de sencilla unión con la válvula mariposa por medio de un engranaje atornillado.

Diseño del riego por surcos

En general, persiste entre los regantes, un amplio desconocimiento de largos de surcos y tiempos de riego óptimos para cada suelo y pendiente, que permita maximizar la eficiencia del sistema. Este mejoramiento, deberá ser incluido en las labores de emparejamiento del suelo, de manera de diseñar unidades de riego, de proporciones adecuadas para el cultivo, pendiente y velocidad de infiltración del terreno.

El riego por pulsos en Chile

Según las evaluaciones de eficiencia de riego superficial en maíz realizadas por INIA, durante tres temporadas (2012-2013, 2013-2014, 2014-2015) en distintos predios de la región, demuestran que las actuales eficiencia de riego por surcos están dentro del rango de eficiencias de riego por tendido como se puede apreciar en el Cuadro 19.



Foto 8. Maíz regado con el sistema de riego por pulsos.

Cuadro 19. Eficiencia de aplicación, escorrentía y percolación profunda del riego por pulsos v/s el riego convencional en cuatro predios de la Región de O´Higgins.

Tratamiento/Temporada/ Suelo/Nº de riego	Eficiencia Aplicación	Escorrentía	Percolación	Rendimiento qq/ha
Temporada 2012-2013/ Suelo Franco arenoso/ 10 riegos				
Riego convencional	32%	39%	29%	107
Riego por pulsos	66%	25%	7%	134
Temporada 2013-2014/ Suelo Franco arcilloso/ 7 riegos				
Riego convencional	23%	28%	49%	144
Riego por pulsos	52%	22%	26%	166
Temporada 2014-2015/ Suelo Franco arcillo limoso/ 7 riegos				
Riego convencional/ siembra tradicional	54%	46%	0%	181
Riego por pulsos/siembra sobre camellones	71%	18%	12%	176
Temporada 2014-2015/ Suelo Franco arcillo limoso/12 riegos				
Riego convencional/ siembra sobre camellones	27%	53%	20%	124
Riego por pulsos/siembra sobre camellones	66%	27%	6%	130

La eficiencia del riego por surcos convencional es casi dos veces menor que la eficiencia del riego por surcos. Es por ello que el riego por surcos convencional, genera una mayor percolación profunda y escorrentía superficial, debido principalmente al exceso de tiempo de riego y altos caudales aplicados.

Por otra parte, el riego por pulsos aumenta el rendimiento un 15% más que el riego convencional y mejora el potencial productivo de suelos sueltos, debido a la mejor respuesta en suelos de suelo de textura gruesa con alta pedregocidad superficial que en suelos de textura delgada.

El riego por surcos mediante pulsos representa un potencial mejoramiento del riego para productores de maíz en la Región de O´Higgins.



Foto 9. Contraste entre el riego convencional (Izquierda) y riego por pulsos (Derecha). El Carmen 2012/2013.

4.5 Factores que afectan la eficiencia de riego superficial

La eficiencia de aplicación del agua, en el riego por surcos convencional (riego continuo) y por surcos mediante pulsos (riego discontinuo), nunca podrá alcanzar un 100%, si lo que se busca es una uniformidad de riego adecuada de las láminas infiltradas en el perfil del suelo. Existen variables que afectan la eficiencia de aplicación del método de riego por surcos. El control de estas variables hará que el riego tenga un máximo característico del sistema o "eficiencia de diseño". Las variables que mayor efecto tienen sobre esta eficiencia son :

- Pendiente del terreno.
- Sus características de infiltración.
- El largo del surco según textura.
- El control del caudal de entrada.

Una mayor eficiencia de aplicación se consigue con mayor facilidad en un surco con pendiente suave ($< 0,5\%$). También esta eficiencia será mayor en suelos que tengan una velocidad de infiltración moderada (suelos francos), comparada con aquellos suelos con una infiltrabilidad muy lenta (suelos arcillosos) o extremadamente rápida (suelos arenosos).

La eficiencia de aplicación también puede aumentarse adecuando el largo del surco y reduciendo el caudal, una vez completada la fase de avance (caudal reducido), lo que es especialmente importante en suelos de baja infiltración, en los que gran parte del volumen aplicado se pierde por escurrimiento superficial (Booher, 1974).

La percolación profunda se debe al excesivo tiempo de riego, lo que produce una infiltración de agua más allá de la zona de raíces. Se establecen las mayores pérdidas en los suelos arenosos.

Prácticas para mejorar la eficiencia de riego.

En la aplicación del riego por surcos, se han establecido prácticas para mejorar la eficiencia del método tales como:

- Limitar la longitud de los surcos. El largo de los surcos va depender de la textura del suelo, la pendiente y la cantidad de agua a aplicar. En los suelos arcillosos, los surcos pueden ser más largos que en los suelos arenosos. Por otra parte, en suelos nivelados, los surcos pueden ser más largos que en los otros con mayor desnivel.
- Controlar el caudal aplicado.
- Empleo de dos caudales de riego. Se recomienda aplicar al principio del riego, un caudal máximo no erosivo para mojar todo el surco de riego. Luego emplear un caudal reducido, que corresponde aproximadamente a la mitad del caudal máximo no erosivo. Esta práctica permite aprovechar mejor el agua, disminuyendo el escurrimiento superficial.
- Control de tiempos de riego. Este aspecto es importante, con el objetivo de no aplicar agua en exceso.
- Emparejamiento del terreno y reaprovechamiento del agua de desagüe.
- Implementación de sistemas de aducción y distribución que permitan mejorar la distribución del agua de riego en la cabecera de los surcos tales como: sifones, cajas de distribución, mangas plásticas, sistemas de riego californiano móvil o fijo.

4.6 Determinación de las necesidades hídricas del maíz

Los requerimientos de agua del maíz dependen del balance hídrico que se produce entre las pérdidas y aporte de agua según la siguiente ecuación:

$$\text{Precipitaciones} + \text{Riego} = \text{ETc} + \text{Per. profunda} + \text{Esc. superficial} + \text{Variación de humedad del suelo}$$

Debido al sistema de riego tradicional del maíz, son considerables las pérdidas de agua por escurrimiento superficial y percolación profunda, por lo cual es importante considerarlos en el balance.

La evapotranspiración del cultivo se puede determinar a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{ETc} = \text{Eto} \times \text{Kc}$$

Donde:

- Etc: Evapotranspiración del cultivo, expresado en mm día^{-1}
- Eto: Evapotranspiración de referencia o demanda climática por agua, expresado en mm día^{-1} .
- Kc: Coeficiente de cultivo.

La Eto se puede determinar por medio de la evaporación de bandeja corregida con un coeficiente de bandeja respectivo o por medio de estaciones agroclimáticas que integran la función de Penmann-Montheith.

En el Cuadro 20, se presentan valores de Evapotranspiración de referencia (ETo) promedio mensual de 4 comunas de la VI región.

Cuadro 20. Evapotranspiración de referencia (mm día^{-1}) de cuatro comunas de la Región de O'Higgins.

Localidad	Rancagua	San Vicente de T.T.	Santa Cruz	San Fernando
Mes				
Enero	5,0	5,0	6,4	5,6
Febrero	4,5	4,3	5,8	5,0
Marzo	3,6	3,2	4,5	3,9
Abril	2,1	1,9	2,4	2,2
Mayo	1,2	1,1	1,2	1,1
Junio	0,9	0,7	0,8	0,7
Julio	0,8	0,7	0,9	0,8
Agosto	1,6	1,3	1,5	1,4
Septiembre	2,3	2,1	2,4	2,1
Octubre	3,6	3,2	3,8	3,4
Noviembre	4,7	4,4	5,5	4,9
Diciembre	4,8	5,0	6,1	5,4

(Fuente: Agroclima, promedio tres últimos años)

La magnitud de K_c depende del cultivo, su estado de desarrollo y aspectos fisiológicos y también del manejo agronómico como tipo de híbrido y densidad de plantación.

En el Cuadro 21, se presenta la duración de las etapas fenológicas y valores del K_c para un híbrido de maíz tardío sembrado en la Región de O'Higgins.

Cuadro 21. Duración de las etapas fenológicas y coeficiente de cultivo de maíz grano.

Etapa	Duración (días)	K_c
Inicial	45	0,25
Desarrollo	45	0,9
Media	50	1,10
Final	30	0,15
Total	170	

Necesidades hídricas del maíz

En el Cuadro 22, se presentan las necesidades hídricas en la temporada del maíz tardío en cuatro comunas de la Región de O'Higgins.

Cuadro 22. Evapotranspiración potencial (mm/mes) del maíz grano en 4 comunas de la VI región.

Localidad	Rancagua	San Vicente de TT	Santa Cruz	San Fernando
Mes				
Enero	154,5	155,4	200,5	174,9
Febrero	137,4	133,9	180,0	155,5
Marzo	16,6	14,9	20,8	18,3
Abril	0,0	0,0	0,0	0,0
Mayo	0,0	0,0	0,0	0,0
Junio	0,0	0,0	0,0	0,0
Julio	0,0	0,0	0,0	0,0
Agosto	0,0	0,0	0,0	0,0
Septiembre	0,0	0,0	0,0	0,0
Octubre	13,5	12,1	14,3	12,9
Noviembre	35,5	33,0	41,1	36,7
Diciembre	135,1	140,4	171,3	149,7
Total	492,6	489,6	628,0	548,0

(Fuente: Agroclima, promedio tres últimos años)

Literatura citada

- Booher, L. 1974.** Surface irrigation. FAO agricultural development. Paper, no 95.
- Coolidge, P.; Walker, W. y Bishop, A. 1982.** "Advance and runoff-surge flow furrow irrigation". ASCE Journal of the Irrigation and Drainage Division 108. p.35-42.
- Cornejo, J. 1991.** "Riego superficial de alta eficiencia agronómica". Director: Gurovich, L.A. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 1991.
- Izuno, F.; Podmore, T. and Duke, H. 1985.** Infiltration under surge irrigation. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 28(2).
- Odepa. 2011.** Maíz: producción, precios y comercio exterior. Santiago, Chile: ODEPA, Avance Junio 2011. 15 p.
- Odepa. 2013.** Maíz: producción, precios y comercio exterior. Disponible en Web: <http://www.odepa.cl/estadisticas/productivas/> Sección: Estimación de superficie sembrada de cultivos anuales 2012/13. Santiago, Chile, 2013.
- United States Department of Agriculture – Soil conservation service. 1986.** Surge Irrigation. USDA-SCS. United States of America.
- Varas, E.; Sandoval J. 1991.** Manual de Riego. Serie Quilamapu N°28 ed. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chillán, Chile. p. 78.