

# RIEGO EN MAÍZ CHOCLERO

**Alejandro Antúnez B.**

*Ing. Agrónomo, Ph.D.*

*INIA La Platina*

**Raúl Ferreyra E.**

*Ing. Agrónomo, M.Sc.*

*INIA La Cruz*

**Gabriel Selles van Sch.**

*Ing. Agrónomo, Dr.*

*INIA La Platina*

## ASPECTOS GENERALES

**E**n Chile, la producción de maíz choclero y dulce es absolutamente dependiente del suministro de agua a través del riego, por lo tanto, es un elemento de producción imprescindible para el éxito del cultivo. A diferencia de otros factores de producción (fertilización, controles fitosanitarios, variedades, densidad de siembra, entre otros), el factor agua está sujeto a la conducción, técnica de distribución y a la competencia del regador, quien en general tiene escasa o nula preparación en el tema. De esta forma, para muchos agricultores la principal preocupación será la falta de agua para regar y su efecto sobre la calidad y rendimiento del choclo.

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 el cultivo del maíz choclero, predomina el riego superficial por surcos, con una variabilidad muy grande en su grado de tecnificación.

El método de riego a utilizar está condicionado por el tipo de suelo, la dotación del agua del predio y la disponibilidad de mano de obra. Si en el predio el recurso agua y mano de obra no son limitantes, además el suelo presenta pendientes inferiores al 1,5 %, texturas que permitan una frecuencia de riego de más de tres días y profundidades que toleran la nivelación, el riego por surcos puede ser perfectamente apropiado. Si alguna de las condiciones o situaciones indicadas no se cumple, sería recomendable el riego por aspersión, con un diseño alto y con baja intensidad de lluvia de los aspersores de manera de no dañar el cultivo.

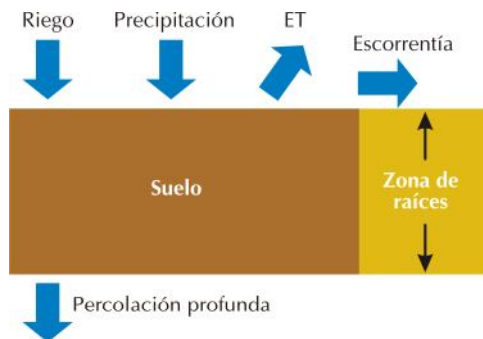
En un grado avanzado de tecnificación se encuentra el riego por pivote (con la variante laterales de riego) y aspersión (**Figura 17**), que representan en general inversiones mucho mayores, y que desarrollan productores a un nivel industrial. Los pivotes y laterales de riego suelen regar superficies circulares en un rango superior a las 30 ha. Los costos de instalación de un pivote o lateral de riego superan los 50.000 dólares, por lo cual su implementación se encuentra restringida a zonas con menor disponibilidad de agua y a empresas de mayor capacidad de inversión. En estos sistemas, como es el caso del maíz choclero, su diseño debe estar adaptado al riego de otras especies hortícolas en rotación tales como zanahoria, espárragos y otras.



**Figura 17.** Riego por pivote y aspersión en maíz.

## BALANCE HÍDRICO DEL SUELO

La suma de evaporación directa del suelo y de transpiración de las plantas se denomina evapotranspiración (ET), y para fines prácticos se considera como la altura de agua (mm) que debe suministrarse al cultivo a través del riego. En términos sencillos, el proceso del agua que se pierde a través de la planta y que se repone por medio del riego, es comparable al balance de una cuenta bancaria, donde se verifican depósitos y retiros. En la **Figura 18**, se muestra un balance hídrico del suelo. Nótese que el agua extraída debe reponerse por medio de la precipitación o del riego. En caso contrario, se puede llegar a agotar el agua disponible en el suelo para las plantas, por sobre el umbral crítico, ocasionando daños irreversibles tanto en el crecimiento y desarrollo del maíz, como en la cantidad y calidad de choclos a cosechar. Tanto



**Figura 18.** Representación esquemática de los componentes de un balance hídrico de la zona de raíces.

los ingresos o entradas de agua al sistema como las salidas, se miden normalmente en milímetros por día o milímetros por mes, correspondiendo  $1 \text{ mm día}^{-1}$  a  $1 \text{ L m}^{-2}$ , ambas cifras equivalentes a  $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ .

El maíz choclero se cultiva en una amplia gama de suelos, que difieren ampliamente en sus propiedades físicas. En casos extremos por ejemplo, suelos arenosos y arcillosos tendrán amplias diferencias de manejo en la programación del riego. Por ejemplo, suelos arenosos con baja capacidad de retención de agua ( $50 \text{ mm m}^{-1}$ ), requerirán riegos frecuentes en máxima demanda, mientras que el mismo cultivo en suelos arcillosos de alta retención ( $150 \text{ mm m}^{-1}$ ), requerirá riegos con una frecuencia mucho menor. Estrechamente relacionada con la capacidad de retención del suelo, está la profundidad de raíces del cultivo. En general, la planta de maíz explorará una profundidad en un rango entre 80 y 120 cm si las condiciones del suelo lo permiten (Allen *et al*, 1998), aunque en suelos bien aireados la profundidad de arraigamiento será mayor que en suelos mal aireados. Estratas impermeables (también llamadas duripanes o toscas), pedregosidad excesiva o un nivel freático en el perfil de suelo, representan impedimentos severos para el crecimiento de las raíces del maíz. Cabe destacar que, aunque las raíces del cultivo exploren un menor volumen, el requerimiento hídrico de un cultivo bien fertilizado no se afectará mayormente. De esta forma, la programación del riego en suelos con impedimentos físicos deberá ser más frecuente, aunque con una menor altura de agua que evite el anegamiento que causa asfixia radical, y que afecta finalmente el rendimiento del cultivo.

## NECESIDADES DE AGUA DE RIEGO

Existen dos formas de expresar las necesidades de agua: el primero es la necesidad neta del cultivo o requerimientos de evapotranspiración del cultivo; y el segundo está relacionado con los requerimientos brutos o necesidad real, en el que se considera la eficiencia del sistema de riego.

La demanda de agua de la atmósfera se caracteriza por medio de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>), y puede estimarse por métodos directos e indirectos, siendo la bandeja de evaporación y el método FAO 56 Penman Monteith, los más utilizados.

El cálculo de la ET<sub>o</sub> FAO 56 Penman Monteith, se pueden ver a partir de parámetros diarios de una estación meteorológica que registre viento, temperatura, humedad relativa y radiación solar, empleando la metodología expuesta en Allen *et al* (1998). También puede recurrirse a la redes de estaciones meteorológicas, seleccionando la más cercana al predio en estudio (por ejemplo la red [www.agroclima.cl](http://www.agroclima.cl)), que suelen entregar la ET<sub>o</sub> ya computado.

La evaporación desde una superficie libre de agua, conocida como bandeja de evaporación clase A, también puede emplearse para determinar la necesidad de riego de un cultivo. El entorno de instalación de una bandeja de evaporación, juega un rol importante en la exactitud de la estimación, y debe compensarse con un coeficiente de bandeja (K<sub>b</sub>), que considera las condiciones ambientales que la rodean. De esta forma, la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>) queda definida por la fórmula:

$$ET_o = EB \times K_b$$

La evaporación de la bandeja integra muy bien los parámetros climáticos, y en condiciones de campo, debería tener un buen ajuste con la ET<sub>o</sub> registrada por las estaciones meteorológicas.

Para estimar adecuadamente la magnitud de las necesidades netas del maíz (ET<sub>c</sub>), es necesario multiplicar el término ET<sub>o</sub> por el valor de coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) para el maíz:

$$ETc = ETo \times Kc$$

La evapotranspiración del cultivo (ETc), se refiere al agua usada por la planta en transpiración, crecimiento y aquella evaporada directamente desde el suelo adyacente (incluyendo el agua depositadas por el rocío y la lluvia), que se evapora sin ser utilizada por el sistema de la planta.

Existen varias fuentes bibliográficas a partir de las cuales podemos obtener un valor de Kc, aunque idealmente, el productor puede validar y desarrollar sus propios Kc, de acuerdo a su propia experiencia y manejo específico. Allen *et al* (1998), reportó Kc inicial de 0,15, el medio 1,10 y el final para choclo de consumo humano equivalente a 1,0. En términos prácticos, el requerimiento evapotranspirativo del maíz recién emergido es muy bajo (Kc =0,15, equivalente al 15% de la demanda atmosférica representada por ETo), situación que es relativamente constante por 30 a 40 días ó hasta tres ó cuatro hojas. Luego, junto con el desarrollo del follaje del maíz, los requerimientos aumentan linealmente, para llegar a un coeficiente de cultivo máximo (Kc =1,1), que representa un requerimiento ligeramente superior al de la ETo y que se mantiene hasta la cosecha del choclo para consumo fresco.

El requerimiento neto de agua del maíz choclero representa entre un 80 y un 90% del requerimiento del maíz grano, dependiendo de la localidad y del período de crecimiento de la variedad. A modo de ejemplo, el requerimiento neto de agua del maíz choclero fluctúa entre 3.800 en Azapa y los 4.800 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en la zona central del país.

## NECESIDAD REAL DE RIEGO

Las necesidades reales de riego o requerimientos brutos de agua, corresponden a la necesidad neta afectada por la eficiencia del método de riego utilizado. No es posible lograr un cien por ciento de eficiencia en la aplicación del agua porque existen pérdidas inevitables por la poca uniformidad en la aplicación del agua, por percolación más abajo de la zona de raíces y por escurrimiento superficial o derrames.

Para un método de riego determinado, la eficiencia de aplicación (EFA), depende del diseño, la habilidad del regador o del que maneja el sistema, de las características físicas del suelo, de la calidad de la estructura de distribución, entre otras. Por estas razones, para asegurarse de abastecer los requerimientos netos del cultivo, se hace necesario aplicar una cantidad mayor de agua al suelo, con el fin de contrarrestar las pérdidas. De esta manera, las necesidades brutas de agua de un cultivo se expresan en la siguiente ecuación:

$$NB = ETc / EFA$$

La eficiencia de aplicación, es la relación entre el volumen de agua que es necesario reponer en la zona de raíces y el volumen de agua total aplicado al terreno. El **Cuadro 3**, indica los rangos de eficiencia de aplicación que es posible obtener con los diferentes métodos de riego.

**Cuadro 3.** Eficiencia de aplicación de diferentes métodos de riego.

Método de riego	EFA (%)
Surcos tradicionales	40 - 50
Surco con californiano móvil	60 - 70
Surcos con pulsos	60 - 80
Aspersión	70 - 80

De esta forma, el requerimiento bruto de agua de un cultivo de maíz choclero, puede fácilmente duplicar el requerimiento neto cuando se riega por medio de riego por surcos sin tecnificación. Evaluaciones de riego de INIA en la Región de O'Higgins, reportan eficiencias de riego cercanas al 30% en riego por surcos tradicional en maíz, lo cual representa que el requerimiento bruto de agua de riego sea tres veces superior a las necesidades reales del cultivo. Esta baja eficiencia, representa una pérdida considerable de agua que arrastra por lixiviación el nitrato del suelo a profundidades más allá de la zona de las raíces.

## RIEGO POR SURCOS EN MAÍZ

Tradicionalmente en Chile, previo a la siembra del cultivo, se realiza un riego por tendido (“riego de tierra”), para homogenizar el contenido de agua del suelo. Obtenida la humedad apropiada, se hace una labor con rastra de discos, a la cual se puede acoplar una rastra de clavos y un rastrón de palo, con el objeto de dejar lista la cama de semilla para la siembra. De esta forma, la semilla se siembra y la plántula de maíz emerge en un suelo húmedo, sin recibir riego.

Una vez emergido el maíz, el cultivo requiere ser regado, labor que en Chile tradicionalmente se hace por medio de surcos con caudal continuo de agua. Tradicionalmente los surcos se abren con arado surcador. Esto generalmente ocurre en plantas con 30 cm de altura y dos a tres hojas verdaderas expandidas.

En este método de riego, se aporta el agua continuamente desde la cabecera del predio y se deja avanzar a lo largo del surco. De esta forma, el tiempo de permanencia del agua en la cabecera del surco es significativamente superior al tiempo de permanencia del agua al final surco. Por este motivo, al finalizar el riego, la percolación profunda de agua en el sector cercano a la cabecera es considerable, mientras que se verifica una pérdida de agua y suelo por escurrimiento superficial (Figura 19).



**Figura 19.** Esquema de pérdidas de agua de riego por surcos tradicional.

La percolación profunda de agua de riego, arrastra nutrientes altamente solubles como nitratos, que en el cultivo del maíz suelen aplicarse en altas cantidades. La escorrentía superficial, tiende al arrastre de partículas de suelo (limo y arcilla principalmente), las que junto con fertilizantes y pesticidas, pueden contaminar los cursos de agua de riego ubicado en zonas más bajas. En las **Figuras 20 y 21**, se observa pérdidas de agua por escurrimiento superficial y percolación profunda en la cabecera del surco respectivamente en el campo.

Debido a las pérdidas por percolación profunda y escorrentía superficial, inherentes al riego tradicional por surcos, la eficiencia de aplicación del este tipo de riego es relativamente baja, en un rango de 40 a 60%. En otras palabras, de 100 litros de agua aplicados al cultivo, 40 a 60 litros quedan disponibles para la evapotranspiración del cultivo en la zona de raíces.

Un buen diseño del sistema de riego por surcos debe considerar factores como suelo (pendiente, textura y profundidad), cultivo y sistema de distribución del agua en el predio. La pendiente limita el largo de los surcos, por lo cual no se recomienda para suelos con pendien-



**Figura 20.** Escorrentía superficial del agua de riego al final del surco en maíz.



**Figura 21.** Apozamiento por exceso de agua en la cabecera del surco.



tes mayores a un 1,5%, a menos que se realicen en curvas a nivel de 0,2 a 0,5 por ciento de pendiente, según la textura del suelo.

En el **Cuadro 4**, se indica el largo máximo que deben tener los surcos de riego de acuerdo con la textura y pendiente del terreno. Además, se incluye la profundidad del suelo, porque este factor hace que la cantidad de agua a aplicar sea mayor.

**Cuadro 4.** Largo máximo de surcos (m), según pendiente, textura y profundidad del suelo.

Pendiente (%)	Textura y profundidad del suelo (cm)								
	Arenosa			Franca			Arcillosa		
	50	100	150	50	100	150	50	100	150
	Largo de los surcos (m)								
0,25	150	220	265	250	350	440	320	460	535
0,50	105	145	180	170	245	300	225	310	380
0,75	80	115	145	140	190	235	175	250	305
1,00	70	100	120	115	165	200	150	230	260
1,50	60	80	100	95	130	160	120	175	215

Fuente: Booher, 1974.

Los largos de surco señalados no siempre son posibles de utilizar en el campo y a veces es necesario que sean más cortos. El riego en tales condiciones será eficiente siempre y cuando se observen las normas sobre tiempo de riego, que permitan humedecer total y uniformemente el suelo.

Otra relación que se debe considerar en relación con el diseño de riego por surcos, es la cantidad de agua que se debe entregar o caudal del surco, que varía con la pendiente (**Cuadro 5**). Si en terrenos de gran pendiente se aplican caudales muy grandes, las pérdidas de suelo por erosión pueden ser significativas.

Una vez que el agua llega al final del surco, el caudal debe reducirse a un tercio de lo señalado, hasta completar el tiempo de riego; ello permite evitar las pérdidas por escurrimiento superficial y aprovechar mejor el agua.

La distribución de sales en el perfil depende del movimiento del agua en el suelo. En el riego por surcos, el agua se mueve en el suelo tanto vertical como lateralmente. Debido al movimiento lateral, las sales se acumulan en el camellón. En suelos arenosos, el agua profundiza rápidamente, produciéndose un escaso movimiento lateral.

**Cuadro 5.** Caudales máximos no erosivos.

Pendiente (%)	Gastos máximos no erosivos (L/seg)
0,3	2,0
0,5	1,2
1,0	0,6
1,5	0,4

Los fertilizantes nitrogenados (urea o salitre), pueden ser aplicados en el fondo del surco. Se ha determinado que incluso los caudales erosivos no producen arrastre de los fertilizantes, y que las pérdidas por lixiviación no son significativas.

Fuente: Grassi, 1984.

## Mejoramiento del riego por surcos en maíz

En la aplicación del riego tradicional se ha establecido prácticas para mejorar la eficiencia del método, tales como:

- Limitar la longitud de los surcos. El largo de surcos va a depender del tipo de suelo, de la pendiente del potrero y de la cantidad de agua a aplicar. En los suelos arcillosos, los surcos pueden ser más largos que en los suelos arenosos; en los terrenos más parejos, los surcos pueden ser más largos que en los otros con más desnivel.
- Controlar el caudal aplicado. Para minimizar la erosión y percolación de agua se debe controlar bien el agua que se aplica, por lo cual se recomienda usar sifones, cajas de distribución, mangas plásticas, o sistemas californiano móvil o fijo.
- Emplear dos caudales de riego. Se recomienda aplicar al principio del riego, un caudal máximo no erosivo para mojar todo el surco de riego. Posteriormente, se sugiere 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.

- Controlar tiempos de riego, aplicando agua al surco por un tiempo controlado hasta humedecer completamente la zona de raíces, de manera tal de no aplicar agua en exceso.
- Emparejar el terreno, eliminando partes altas donde no llega el agua de riego y bajas en que ésta se apoza.
- Reaprovechar el agua de desagüe en sectores del predio más bajos.

### Riego por surcos mediante pulsos de agua

El riego por pulsos consiste en la aplicación intermitente de agua, que consigue básicamente reducir la tasa de infiltración de agua del surco húmedo, homogenizando el mojado del surco, en toda su extensión. La distribución se realiza a través de una válvula mariposa o “T” que abastece a dos mangas laterales y asegura a cada surco un caudal regulado y uniforme, con muy baja presión en cabecera (menor a 1 m.c.a.), mientras que el agua se distribuye por medio de una manga o californiano móvil con orificios regulables. La apertura y cierre de la válvula de campo se acciona mediante un controlador del tipo “star”, que funciona mediante energía solar (**Figura 22**).



**Figura 22.** Válvula mariposa y mangas laterales del sistema de riego por pulsos.

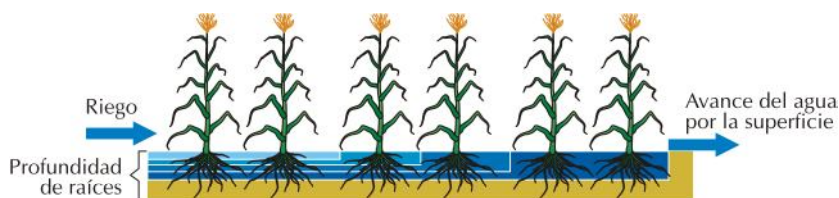
De esta forma, se genera períodos alternados de mojamiento y secado sobre la superficie del surco. A cada una de estas aplicaciones que se realizan intermitentemente, se le denomina pulso de riego.

Esta técnica de riego es aplicable en cultivos extensivos y requiere de una distribución de agua a baja presión (tambores, mangas, californiano móvil), para el adecuado manejo de los caudales de agua y los tiempos de riego. Esta técnica de riego produce el avance del frente de agua sobre el surco en forma más rápida, reduce la percolación profunda y, cuando las unidades de riego son largas, también el escurrimiento al pie, logrando una buena uniformidad en la aplicación del agua (Stringham y Keller, 1979).

Esta técnica comprende dos etapas: Avance (o mojamiento) y Remojo.

### Avance o Mojamiento

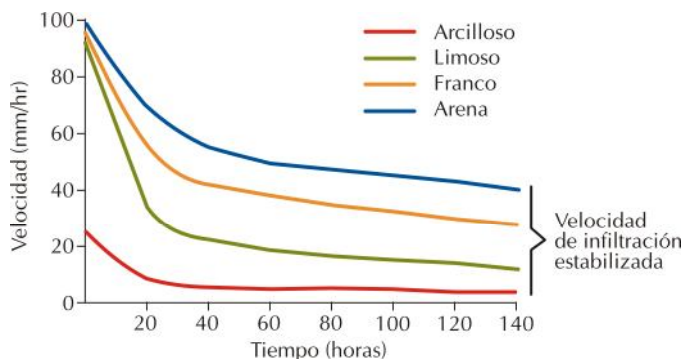
Esta etapa tiene como propósito alcanzar un rápido mojamiento de todo el largo del surco. Esto se logra con pulsos de agua, alternando un período de escurrimiento de agua y otro de similar duración de infiltración de agua en el suelo. De esta forma, se moja la superficie hasta el final del surco, en forma gradual o por ciclos (**Figura 23**).



**Figura 23.** Esquema de la etapa de avance del riego por pulsos.

Este proceso de avanzar-parar o “mojar y “drenar”, produce ciertas transformaciones en la superficie del suelo, lo cual permite tener una tasa de infiltración homogénea a lo largo del surco. Entre los mecanismos que destacan la reducción de la velocidad de infiltración del suelo según Monserrat (1997): son la hidratación de las partículas de arcilla; deposición y migración de las partículas del suelo que se traduce en

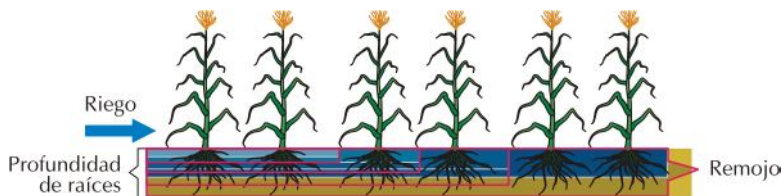
un sellado de la superficie; formación de una capa de aire bajo la superficie suelo, que quedaría atrapado durante el siguiente período de humectación. Gracias a esto, se alcanza una velocidad de infiltración reducida y estabilizada a lo largo del surco en un corto lapso (**Figura 24**).



**Figura 24.** Velocidades de infiltración según la textura del suelo.

## Remojo

Cuando se ha logrado igualar la velocidad de infiltración en todo el largo del surco, el sistema de pulsos está en condiciones de iniciar la etapa de remojo, que consiste en abrir el flujo de agua un tiempo determinado. Esto para que el volumen de agua aportado durante ese período sea capaz de infiltrarse en su totalidad a lo largo del surco, humedeciendo todo el volumen de suelo ocupado por las raíces. Esta característica permite minimizar el volumen de agua que sale por el desagüe y que representa las pérdidas por escorrentía superficial (**Figura 25**).



**Figura 25.** Esquema de la etapa de remojo del riego por pulsos.

Algunas ventajas del riego por pulsos son:

**Baja presión de trabajo:** Al ser un riego por gravedad, permite trabajar en rangos bajos de presión. Esto determina un ahorro de energía, especialmente cuando se utiliza bombeo.

**Ahorro de Agua:** Evitando la percolación profunda y el desagüe al final del campo, se pueden lograr eficiencias cercanas al 80% en la aplicación del agua.

**Bajo costo de inversión inicial:** El equipo, por su sencillez, no requiere fuertes inversiones. Está básicamente compuesto por el cabezal, las alas de tubería con compuertas o mangas con compuertas, y la conducción, desde la fuente de abastecimiento hasta el cabezal.

**Surcos más largos:** Dependiendo de las condiciones de terreno, los surcos podrán ser mucho mayores a los habituales en riego tradicional. Se trabajaría con longitudes de 600 a 800 metros como promedio.

**Mayor rango de pendientes:** Permite ampliar el rango de pendientes del terreno, minimizando así los altos costos de emparejamiento. Se puede trabajar desde 0.1% hasta 1,5% (10 cm cada 100m o 150 cm cada 100m).

**Bajo costo de mantención:** Dado que no tiene partes complejas ni sometidas a presión, los costos son prácticamente nulos.

**Fertirriego:** La posibilidad de incluir el fertirriego automatizado, sin el riesgo de perder fertilizantes por percolación profunda o en los desagües y realizar la operación en forma sencilla.

**Baja incidencia en la mano de obra implicada:** Por ser sistemas sencillos y automáticos, se estima 120 hectáreas/persona.

En ensayos desarrollados en la Región de O'Higgins, se ha demostrado que es posible alcanzar eficiencias de aplicación de hasta 80%, empleando riego por pulsos en maíz. En paralelo, el rendimiento de maíz grano ha aumentado hasta un 15% mediante el uso de este sistema de

riego. La válvula del riego por pulsos es de bajo costo, inferior a los 4.000 dólares, lo cual facilitaría su implementación por parte de los agricultores de la zona central.

## PROGRAMACIÓN DEL RIEGO EN MAÍZ

La programación del riego en maíz, tanto en tiempo como en frecuencia, depende fundamentalmente de factores climáticos, del cultivo y del suelo, como se puede observar en el **Cuadro 6**.

**Cuadro 6.** Influencia del clima, plantas y características del suelo en la frecuencia de riego.

RIEGO	<b>CLIMA</b>		RIEGO
	- Frío - Húmedo - Sin viento	- Caluroso - Seco Ventoso	
	<b>PLANTAS</b>		
MÁS	- Raíces profundas - Raíces sanas - Suelo cubierto parcialmente	- Raíces poco profundas - Raíces dañadas o enfermas - Suelo cubierto por follaje	MENOS
FRECUENTE	<b>SUELO</b>		FRECUENTE
	- Profundo - Textura fina - Bajo contenido de sales	- Delgado - Textura gruesa - Alta salinidad	

## MÉTODOS PARA DECIDIR LA FRECUENCIA DE RIEGO

En riego superficial se buscará evitar riegos frecuentes que saturan el perfil de suelo. En estas circunstancias, la evaluación de la humedad aprovechable de la zona de raíces y la definición de un déficit permisible apropiado, tienen relevancia para determinar la oportunidad y lámina de reposición a aplicar en cada evento.

En cualquier caso, el monitoreo crítico del riego por medio de sensores en el suelo o en la planta, será fundamental para evaluar la programación del riego.

Existen diversas formas de estimar la frecuencia de riego, las que pueden agruparse en tres grandes grupos, de acuerdo a los criterios utilizados como indicativos de cuándo regar.

El primer grupo considera a la **planta como indicadora**, evaluada por sus características de color y crecimiento. La principal desventaja de este método es la dificultad en diferenciar los síntomas foliares producidos por la falta de agua de otros síntomas, como por ejemplo enfermedades. Además, al esperar que aparezcan indicadores visuales, por lo general, las plantas ya están sufriendo estrés hídrico. Así, el efecto preventivo del riego bien efectuado se pierde, las plantas pueden verse dañadas en forma irreversible, con la consiguiente disminución de rendimiento.

El segundo grupo se basa en la **medición o estimación del nivel de humedad del suelo**. Conociendo la cantidad de agua disponible para las plantas es posible discernir, con experiencia y conocimiento del suelo, cuándo se debe regar.

Existen numerosos métodos para medir o estimar el contenido de agua del suelo en el campo. El más visible y práctico, consiste en tomar muestras a diferentes profundidades con un barrero y mediante su **inspección ocular y táctil** determinar el contenido de humedad del suelo. Puede utilizarse como apoyo una pauta o guía de campo, la cual resume las sensaciones producidas para diferentes contenidos de humedad y distintas texturas.

En el **Cuadro 7**, se describe las características de un suelo cuando ha perdido entre 25 a 50% de humedad aprovechable. En el Cuadro también se incluye la representación de la altura de agua equivalente en mm por metro de suelo explorado por las raíces para llevar al suelo a capacidad de campo.



**Cuadro 7.** Criterios para definir cuando el suelo tiene entre 25 y 50% de humedad aprovechable, y altura de agua necesaria para llevar al suelo a capacidad de campo.

Arenoso	Franco arenoso	Limoso y arcillo limoso	Franco arcilloso y arcillo limoso
Parece seco, no forma una bola al aplicar presión	Tiende a formar una bola pero rara vez es estable	Forma una bola plástica, a veces algo pegajosa	Forma una bola o cinta cuando se aprieta entre el pulgar y el índice
17-42 mm de agua por metro de profundidad de suelo	33-67 mm de agua por metro de profundidad de suelo	42-83 de agua por metro de profundidad de suelo	50-100 mm de agua por metro de profundidad de suelo

(Fuente: Hargreaves y Merkle, 1998).

Este método sólo es capaz de entregar estimaciones aproximadas al problema siendo uno de los más económicos. Sin embargo, no es el más exacto. Se considera que con experiencia es posible lograr estimaciones de la humedad con un 15 a 20 por ciento de error.

En relación a sensores de agua en el suelo, como método indirecto de medición del agua en éste, se encuentran los basados en la tensión del agua en el suelo (tensiómetros), en la conductividad o resistencia eléctrica del suelo (bloques de yeso, Watermark) y en el retardo de la velocidad de propagación de neutrones (aspersor de neutrones). Además, en la última década, se han masificado los métodos basados en las propiedades de capacitancia o constante dieléctrica del agua, los que se clasifican en dos grandes tipos: FDR (reflectometría en el dominio de la frecuencia) y TDR (reflectometría en el dominio del tiempo). La mayoría de los materiales del suelo, tales como la arena, arcilla y material orgánico poseen una constante dieléctrica de 2 a 4. El agua tiene la constante dieléctrica más alta, que es de 78. Por lo tanto, contenidos altos de agua en un sensor de capacitancia estarán relacionados con constantes dieléctricas más altas. Como consecuencia, al medir los cambios en una constante dieléctrica, el contenido de agua se mide indirectamente.

El tensiómetro, es un instrumento relativamente sencillo que registra las variaciones de humedad en el suelo mediante un vacuómetro, que registra en unidades de presión negativa o succión denominadas centibares, que van de 0 a 100. Una lectura de 0 indica que el suelo está cercano a la saturación, y por lo tanto, las plantas pueden sufrir por falta de oxígeno.

Los tensiómetros se adecuan bien a suelos más arenosos, debido a que su rango de acción es de alrededor de 85 centibares, y en este intervalo se encuentra la mayor parte del agua aprovechable de estos suelos. En general, se adaptan bien a condiciones de suelo húmedo, como es el caso de riegos muy frecuentes. Si el riego ha sido bien realizado, la lectura del tensiómetro después de 24 horas debe ser cercana a 0.

Uno de los aspectos importantes a considerar es la elección del sitio donde será colocado cada tensiómetro. Esto depende del sistema de riego y del cultivo, conservándose como principio general que su ubicación debe estar en la zona de máxima concentración de raíces. En el caso del riego por surcos, el instrumento debe ponerse lo más cerca posible del surco, pero protegido adecuadamente del paso de la maquinaria.

Las lecturas que deben registrarse como indicativas del riego varían y es necesario adecuarlas al tipo de suelos y al clima. Sin embargo, como recomendación general, para el caso del maíz, se debe regar cuando la lectura del tensiómetro, ubicado a una profundidad de 50-60 centímetros, es de 50 a 70 centibares. Las lecturas deben realizarse cada dos días. La instalación es sencilla y consiste en perforar un agujero en el suelo con barreno de diámetro levemente superior al de la cápsula, hasta la profundidad deseada. Se introduce presionando cuidadosamente. Se rellena con tierra alrededor, dejando un pequeño alto para evitar apozamientos que distorsionen la lectura. El tensiómetro no debe sacarse del suelo durante la temporada de riego.

El tercer grupo considera las características del clima, del cultivo y del suelo. Difiere de los anteriores porque utiliza elementos integradores como es la evaporación de bandeja. En términos generales este método requiere del conocimiento de:

- La evapotranspiración del cultivo en cortos períodos de tiempo en los diferentes de desarrollo vegetativo.
- La caracterización físico hídrica del suelo (capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente, humedad aprovechable).
- El volumen permisible de extracción de agua en relación a la demanda de evaporación sin registrar los rendimientos o umbral de riego.
- La profundidad efectiva de raíces del cultivo.

A modo de referencia, en el **Cuadro 8**, se resume el número de riegos para un cultivo de maíz de 110 días, para diferentes tipos de suelo de la zona central de Chile. Como puede observarse, en suelos arenosos, se esperan riego más frecuentes que en suelos arcillosos con mayor retención de agua en el perfil.

**Cuadro 8.** Número de riegos para un cultivo de maíz de 110 días, para diferentes tipos de suelos de la zona central de Chile.

Suelo	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Total
Arenoso	2 a 3	3 a 4	4 a 7	3 a 4	12 a 18
Franco	1	2 a 3	2 a 3	1 a 2	6 a 8
Arcilloso	1	1 a 2	2	1 a 2	5 a 6

Es necesario indicar que la programación del riego a través de este método no considera los aportes capilares que son importantes en suelo con problemas de drenaje. En esa situación es recomendable utilizar tensiómetros.

## MÉTODO PARA DECIDIR CUÁNTO REGAR (TIEMPO DE RIEGO)

El tiempo de riego es el período que debe permanecer el agua escurriendo sobre el suelo para que penetre hasta la profundidad de raíces del cultivo. Una forma práctica para determinarlo es a través de la pro-

fundidad de raíces del cultivo. En suelos profundos, las raíces del maíz pueden llegar a una profundidad de dos metros, sin embargo la mayor parte se sitúa en los primeros 70 a 80 centímetros, produciéndose en esa capa de suelo cerca del 80 por ciento de la absorción de agua que realiza el cultivo. Esto indica que los riegos en suelos profundos deben mojar hasta un metro de profundidad, para lograr la máxima eficiencia. En el **Cuadro 9**, se muestra los tiempos de riego para diferentes texturas de suelo, considerando un contenido de humedad inicial equivalente al 40 por ciento de humedad aprovechable, para mojar 100 centímetros de profundidad.

**Cuadro 9.** Tiempo de riego promedio para diferentes texturas del suelo para mojar 100 centímetros de profundidad.

Textura del suelo	Tiempo de riego (horas)
Arcilla poco densa	25 a 12
Arcillo arenosa	12 a 10
Franco arcillo arenosa	10 a 8
Franco arenosa	8 a 5

Otra forma simple de estimar el tiempo de riego es mediante una prueba de campo. Para ello se eligen cuatro grupos de surcos y basándose en la pauta anterior se seleccionan diferentes tiempos de riego, los que se aplican a cada uno de los grupos de surcos. Después de 24 a 48 horas de haber regado, se excavan calicatas y se observa hasta donde avanzó el frente de humedad. Luego se compara el resultado con la profundidad radical del cultivo.

### Tolerancia del maíz choclero al déficit hídrico

El maíz choclero es relativamente tolerante a las deficiencias de agua durante el período vegetativo (V5 a V12). La mayor disminución de los rendimientos se produce cuando existe escasez de agua durante el período de floración, incluyendo la formación de la inflorescencia, del estigma y la polinización. El déficit durante esta etapa se traduce fundamentalmente en un menor número de granos por mazorca, el cual en

algunos casos extremos puede llegar a ser nulo a causa de la desecación de los estigmas (estilos o pelos del choclo). La insuficiencia de agua durante el período de formación de los granos también puede reducir el rendimiento, debido a la disminución del tamaño de los granos, afectando directamente la calidad de la mazorca para consumo fresco.

El efecto negativo de la falta de agua sobre el rendimiento de mazorcas puede ser considerable, de ahí la necesidad de controlar cuidadosamente la frecuencia y profundidad del riego. Cuando el abastecimiento de agua es limitado, es preferible sembrar una superficie más pequeña y satisfacer todas las necesidades de agua del cultivo, a tener una superficie mayor con un suministro deficiente.

En un ensayo de maíz choclero desarrollado en el Valle de Azapa, se determinó que el riego deficitario en todo el desarrollo del cultivo (reposición del 80% de ETC), afectó significativamente el rendimiento del grano, mientras que el riego excedentario (120% ETC) no aumentó el rendimiento del maíz. En este caso específico, en que las plantas se riegan por sistemas presurizados, un exceso de agua representa un costo adicional relevante que no reporta beneficios en rendimiento, y que potencialmente puede dañar el ambiente con el lixiviado de nutrientes contaminantes (**Cuadro 10**).

**Cuadro 10.** Rendimiento en grano seco, de tres tratamientos de riego, en cultivo de maíz choclero sometido a tres regímenes de riego, en el Valle de Azapa.

Tratamiento	Rendimiento (qq ha <sup>-1</sup> )*
Control (T0 100% ETC)	80 a
Deficitario (T1 80% ETC)	61 b
Excedentario (T2 120% ETC)	82 a

\* Letras distintas en la misma columna implican diferencias estadísticamente significativas.

En el rango total del agua aprovechable del suelo, en maíz choclero, al igual que en la mayor parte de los cultivos, nunca se aconseja permitir la extracción completa del agua en el perfil. En otras palabras, aunque

el suelo tenga agua remanente, ésta se encuentra retenida fuertemente por el suelo, a tensiones en que la planta de maíz no puede absorberla. Por ello, en maíz choclero se aconseja regar antes de que la planta agote el 45% del agua. Como ejemplo, en un suelo con retención de agua equivalente a  $100 \text{ mm m}^{-1}$  cuando el cultivo está con menos de cuatro hojas verdaderas (V4), y la profundidad de raíces alcanza los 40 cm, la humedad aprovechable del suelo será de 40 mm, permitiéndose que se agote por evapotranspiración sólo 18 mm del suelo, para efectuar el riego. En el mismo suelo, con el maíz en floración y desarrollo de raíces de un metro de profundidad, la humedad aprovechable del suelo será de 100 mm, se permitirá que el cultivo evapotranspire 45 mm como máximo, para reponer el agua llevando al suelo a capacidad de campo mediante el riego. Este método puede ser utilizado para programar el riego, tanto en sistemas presurizados, como en riego superficial, a partir de datos diarios anuales o, sobre la base de secuencias estadísticas de evaporación (Cuadro 9).

El balance tiene mucha importancia en el manejo del riego en maíz choclero y puede implementarse fácilmente en una hoja de cálculo. Un exceso de agua aplicada, común en el manejo del cultivo en la zona central, tendrá como consecuencia la lixiviación de nitratos fuera del perfil de suelo. Esto con la consecuente pérdida de fertilidad y daño al ecosistema. Por el contrario, la falta de agua en el suelo, causará daños en el rendimiento y calidad de los frutos, que se refleja en menor peso de mazorcas y menor peso de granos cosechados.

También cabe destacar que el maíz prospera en suelos bien drenados, por lo cual debe evitarse el apozamiento de agua, especialmente durante los períodos de floración y de formación de los granos.

## CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA

Para efectuar riegos uniformes, se requiere de sistemas de conducción y distribución de agua adecuados. La distribución del agua en el riego superficial en maíz puede tecnificarse por medio de acequias niveladas con tubos rectos o sifones; mangas de polietileno o tuberías portátiles (californiano móvil) (**Figura 26**).



**Figura 26.** Métodos de conducción y distribución de agua en riego por surco. A y B. Riego con mangas de distribución. C. Riego por surcos en maíz. D. Riego con acequia nivelada y sifones de distribución.

El uso de tubos rectos es una buena alternativa de distribución del agua a los surcos. Al utilizarlos, es necesario represar la acequia de distribución cada cierta distancia, para lo cual se utilizan vertederos. Estos se instalan cada vez que en la acequia se produce un intervalo vertical o desnivel de aproximadamente 20 centímetros (**Figura 27**). El caudal que entregan los tubos rectos depende de su diámetro y de la altura hidrostática “h”, indicada en la **Figura 28**.

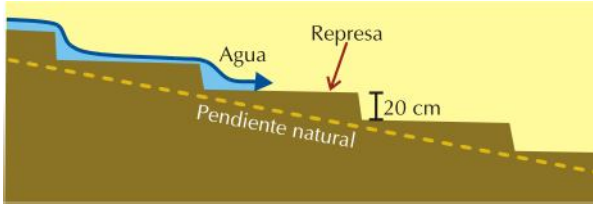
Para seleccionar el tubo, en la **Figura 29** se presenta los valores de caudal de entrega de tubos rectos de diferentes diámetros según las alturas hidrostáticas. Lo importante es elegir el caudal máximo no erosivo según la pendiente del terreno, lo cual responde a la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{(0,63)}{S}$$

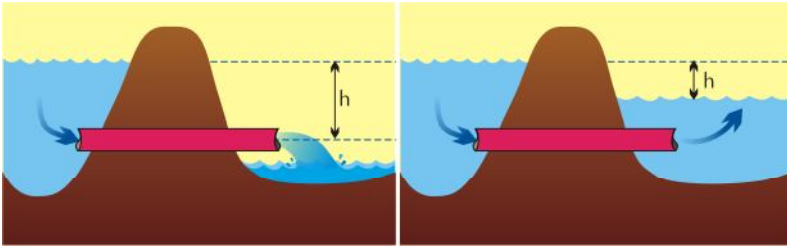
Donde:

Q = Caudal (L/s)

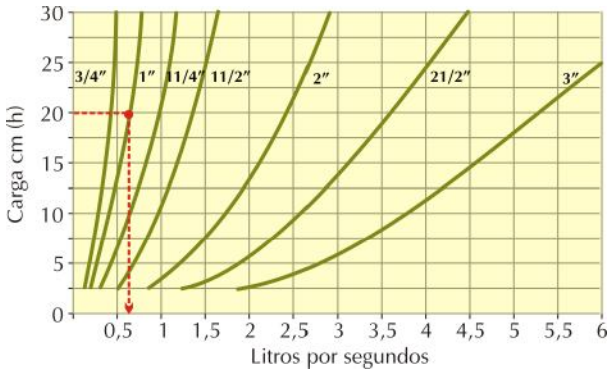
S = Pendiente (%)



**Figura 27.** Ubicación de las represas o vertederos para la instalación de tubos rectos en una acequia.



**Figura 28.** Distribución de agua a través de tubos rectos.



**Figura 29.** Caudal a través de tubos rectos, de acuerdo a su diámetro y altura hidrostática (h).

Por ejemplo, si se tiene un terreno con una pendiente de 1%, el caudal a utilizar será de 0,6 L/s. Esto implica usar un tubo recto de una pulgada con una carga hidrostática (h) de 20 cm, o uno de 1 1/4 pulgada con una carga hidrostática de nueve centímetros.



También puede emplearse mangas de polietileno agrícola de 0,2 a 0,3 milímetros de espesor y de 30 a 50 centímetros de diámetro, dependiendo del caudal y del largo de la cabecera.

El uso de tuberías de PVC móviles para el riego, llamado “sistema de riego californiano”, facilita un buen control del agua de riego y uso de la mano de obra, eleva la eficiencia de aplicación del agua en el riego por surco sobre el 60 por ciento (**Figura 30**).



**Figura 30.** Riego californiano móvil con tuberías portátiles de PVC.

## CONSIDERACIONES FINALES

En Chile, el maíz para choclo o maíz dulce, en la mayoría de los casos se riega por surcos con baja eficiencia de riego. Las principales brechas del riego para mejorar el rendimiento del cultivo están relacionadas con el diseño y manejo de los sistemas. Entre los factores de diseño del riego por surcos, debe siempre considerarse un emparejamiento del suelo a regar con maquinaria especializada, que elimine altos y bajos en el terreno cultivado. Los surcos deben tener un largo apropiado a la pendiente y velocidad de infiltración del suelo a regar. También el control de caudales debe hacerse de manera de evitar el uso de caudales erosivos, reduciendo también las pérdidas por escorrentía superficial. En relación al tiempo de riego, el surco debe regarse durante un tiempo que permita que el agua llegue a la profundidad de raíces, reduciendo las pérdidas por percolación profunda.

El déficit de agua en el suelo, afectará el rendimiento del cultivo de maíz para grano fresco, especialmente cuando éste ocurre en floración. Para evitar el estrés hídrico, se recomienda el monitoreo del agua en el suelo por medio de sensores apropiados o por medio de la inspección de este en profundidad.

Cuando se requiera tecnificar el riego en maíz, debe considerarse el alto costo de sistemas de riego presurizados, que muchas veces limitan su implementación. En maíz dulce o choclero, la tecnificación del riego se justificará en rotación con otros rubros hortícolas, en productores vinculados comercialmente con la agricultura de agroindustria y con limitada disponibilidad de agua de riego.