



MÁS Y MEJOR
RIEGO PARA CHILE

ZONA NORTE

RIEGO GRAVITACIONAL MEJORADO

PROGRAMA:

**“TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA PARA LA
ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN ÁREAS
AGRÍCOLAS VULNERABLES DE LAS REGIONES
DE ATACAMA Y COQUIMBO”**

1.- METODOS DE RIEGO Y EFICIENCIA A NIVEL INTRAPREDIAL

La aplicación del agua de riego se realiza utilizando diferentes métodos. De acuerdo con la forma en que se conduce el agua para llegar las plantas o cultivos a regar, los distintos métodos se clasifican en gravitacionales y tecnificados. Los sistemas de riego gravitacionales se caracterizan por ser conducidos principalmente por corrientes abiertas, se mueven gracias a la fuerza de gravedad y poseen baja eficiencia. Sin embargo, es posible mejorar su eficiencia basados en un diseño adecuado y a la correcta operación del sistema.

Cada sistema de riego posee una eficiencia asociada, la cual entrega información de la cantidad de agua adicional que hay que entregarle a un cultivo. A continuación, se presenta una tabla que indica la eficiencia asociada a los sistemas de riego.

TABLA 1, Eficiencias de riego.

MÉTODO DE RIEGO	SISTEMA DE RIEGO	EFICIENCIA
GRAVITACIONAL	TENDIDO	30%
	SURCOS	45%
	REGUERAS EN CONTORNO	50%
	RIEGO POR BORDES	50%
	ADUCCIÓN CALIFORNIANO	60%
TECNIFICADO	ASPERSIÓN	75%
	MICROASPERSIÓN	85%
	GOTEO	90%

¿Qué significa el porcentaje de eficiencia de cada sistema de riego?

En un sistema de riego con un 30% de eficiencia (tendido): De cada 100 litros que entran al sistema, sólo 30 llegan a la planta. Los otros 70 litros se pierden por escorrentía y/o percolación profunda, evaporación, deriva, entre otros. En cambio, en un sistema de riego por goteo (90% de eficiencia), si se aplican los mismos 100 litros, se pierden sólo 10, y 90 litros quedan disponibles para la planta.

¿De qué manera la eficiencia de un sistema de riego influye en la cantidad de agua a aplicar en el riego?

****A mayor eficiencia, menor será la cantidad de agua requerida. Al contrario, a menor eficiencia, mayor será la cantidad de agua a aplicar****

Figura 1. Riego por surco en lechugas.

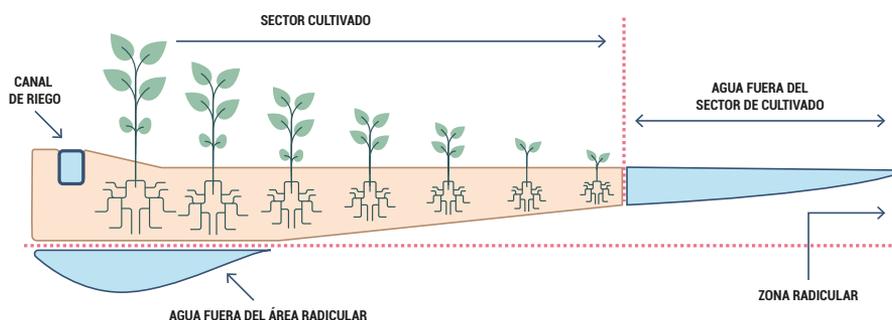


En palabras simples, un sistema de riego eficiente gasta menos agua.

Esta relación la podemos medir al calcular el caudal, mediante la siguiente expresión:

Caudal = Volumen / Eficiencia

Figura 2, Esquema de eficiencia de aplicación de riego.



$$Ef_{(\%)} = \frac{V_{(AGUA - RETENIDA)}}{V_{(AGUA - APLICADA)}} \times 100$$

2.- RIEGO GRAVITACIONAL

Como se señaló anteriormente, se entiende por método de riego gravitacional a aquel en que el agua se aplica en la superficie del suelo y se distribuye en el campo por gravedad a través de la diferencia de cotas o altura existentes en el terreno. En estas condiciones, el caudal de agua de riego se distribuye a lo largo del campo. Existen distintos métodos de riego superficial. El “riego a paño tendido” es el método de riego más sencillo, antiguo, y más ampliamente utilizado por los

agricultores chilenos, pero a la vez el más ineficiente. Sin embargo, se han introducido importantes variantes, que presentan una oportunidad de mejora en la eficiencia de aplicación y con costos operaciones muy similares.

2.1.-Tendido

Consiste en derramar agua desde una reguera construida a lo largo del extremo superior de un campo en pendiente. Se deja que el agua corra sobre la superficie del terreno por libre acción de la fuerza gravitacional, y se colocan regueras interceptoras en sentido perpendicular a la pendiente para recoger el agua que tenderá a acumularse en las depresiones y redistribuirla más uniformemente.

Principales limitaciones

- a** La eficiencia de aplicación del agua es muy baja, en promedio, en Chile, inferior al 30% debido a las exageradas pérdidas por escurrimiento superficial y percolación profunda.
- b** La distribución del agua sobre la superficie regada es desuniforme, quedando algunos sectores con exceso de humedad y otros con déficit.
- c** No es recomendable para terrenos con pendiente muy pronunciada, debido al alto riesgo de erosión.
- d** Se produce una excesiva subdivisión del terreno, debido al gran

número de regueras y desagües que deben trazarse, lo que dificulta el uso de maquinaria agrícola, además de deteriorarla.

e Se requiere mucha mano de obra y gran habilidad del obrero agrícola para manejar el riego en la parcela.

2.2.- Surco

El riego por surcos consiste en la entrega de agua desde una acequia madre a pequeños canales o surcos ubicados en las hileras de siembra o plantación. Se adapta a cultivos sembrados en hileras como hortalizas, chacras y frutales en general. A diferencia del riego por tendido por ejemplo, se moja sólo una fracción de la superficie del suelo (normalmente entre un quinto y un medio). Sin embargo, se debe mojar todo el suelo explorado por las raíces de las plantas. Esto se logra colocando los surcos a una distancia adecuada unos de otros, regulando su largo y aplicando tiempos de riego apropiados.



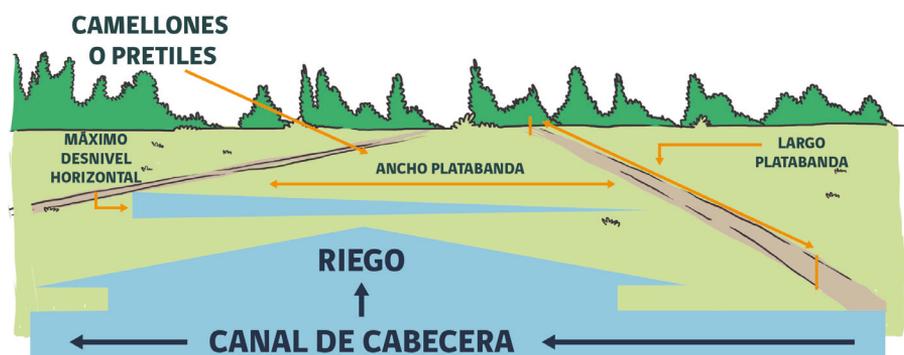
El diseño de un riego por surcos debe contemplar los siguientes aspectos:

Distancia entre surcos	Depende, entre otros factores, del tipo de suelo. En suelos con características arcillosas los surcos podrán estar más distanciados unos de otros que en suelos de características arenosas.
Forma de surcos	Deben ser más anchos en suelos que presentan una baja velocidad de infiltración, de modo de incrementar el perímetro mojado y aumentar la superficie de contacto agua-suelo, facilitando la penetración de agua al suelo.
Tiempo de riego	No se puede cortar el agua hasta que ésta llegue al final del surco. El tiempo de riego depende de las condiciones del suelo, en particular de las condiciones de infiltración y de la profundidad de raíces.
Caudal a aplicar	Al iniciar el riego se debe aplicar la máxima cantidad de agua que pueda llevar el surco, sin causar erosión o arrastre de terrones o partículas en el fondo (Caudal Máximo Erosivo). Cuando el agua llega al final del surco, se debe reducir el caudal a la mitad o a un tercio del caudal original.
Largo de Surco	En términos generales se puede indicar que: los surcos son más cortos en la medida que aumenta la pendiente del terreno; el largo de los surcos en suelos arcillosos es mayor que en suelos arenosos; los surcos pueden adquirir mayor longitud en cultivos de arraigamiento profundo que en cultivos de arraigamiento superficial; dentro de ciertos límites, a mayor caudal aplicado, mayor largo del surco, siempre y cuando el caudal aplicado no produzca erosión.

2.3.- Riego por bordes o platabanda

Consiste en aplicar el agua por una platabanda ancha delimitada por camellones o pretilos (elevación ó lomos de tierra). Se adapta a la mayoría de los cultivos y frutales, especialmente en cultivos tupidos como es el caso de praderas. Requiere de una buena nivelación de suelos, tanto en el sentido del riego para que el agua escurra sin problemas, como en sentido transversal. De este modo el agua se distribuye uniformemente a todo el ancho de la platabanda. La nivelación en sentido transversal a los bordes debe ser cuidadosa, de modo que entre un lado y otro de ella quede, como máximo, una diferencia de nivel de 4 cm. Por otra parte, entre una platabanda y otra no debe existir un desnivel mayor de 10 cm.

Figura 4, Esquema de riego por platabandas.



El diseño de un riego por bordes debe contemplar los siguientes aspectos:

Caudal a aplicar	Debe permitir que sobre la platabanda se forme una lámina de agua de 5 a 8 cm, lo que se logra con caudales relativamente grandes.
Ancho de la platabanda	Dependerá del caudal disponible, la pendiente y ancho de la maquinaria
Largo de la platabanda	El largo debe ser el máximo posible, mientras se logre una buena eficiencia de riego y una aplicación uniforme del agua.

2.4.- Regueras en contornos

Consiste en un sistema de distribución que se inicia en una acequia principal (acequia de abastecimiento), que generalmente se traza a lo largo de la pendiente del terreno. De ésta se derivan, las acequias secundarias (regueras en contorno), que se trazan de manera transversal a la pendiente. Sobre las regueras en contorno se instalan retenciones temporales o permanentes que provocan la inundación de suelo en forma parcializada.

Figura 5, Esquema de regueras por contorno.



Figura 6, Riego por surcos en Cebollas.



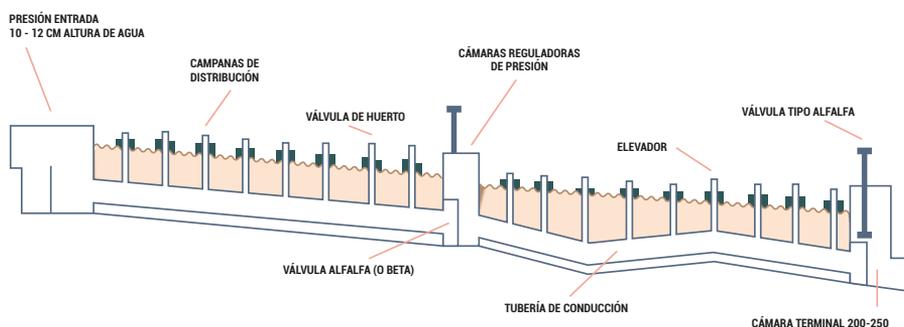
El diseño de este tipo de riego debe contemplar los siguientes aspectos:

Pendientes mínimas y espaciamiento entre regueras	<p>las regueras deben trazarse con una pendiente mínima comprendida entre 0.05 y 0.15 %, aunque pueden ser tolerables pendientes de 0.1 y hasta 0.3 %. La pendiente mínima sirve para lograr un flujo uniforme a lo largo del reguero y una velocidad del agua que no produzca erosión del cauce ni arrastre de partículas de suelo. La pendiente determina el espaciamiento de las regueras.</p>
Caudal	<p>El caudal que se necesita llevar a las regueras depende de la superficie que se quiere regar y de las necesidades hídricas de los cultivos, pudiéndose utilizar grandes caudales cuando la pendiente del terreno es poco pronunciada (menor a 3 %), y caudales pequeños en pendientes muy pronunciadas (3 a 6%)</p>
Retenciones o Tacos	<p>Para derivar el agua de una reguera es necesario represar la misma, utilizando algún tipo de retención que eleve el nivel del agua y mantenga una carga hidráulica constante. Éstas pueden ser vertederos o retenciones de lona.</p>
Trazado de Regueras	<p>Para el trazado de las regueras es necesario disponer de un instrumento que permita trazar líneas con un desnivel uniforme. Hay varios dispositivos sencillos y de bajo costo que dan suficiente precisión para el trazado de regueras en contorno: caballete, nivel de manguera y nivel de ingeniero.</p>

2.5.- Aducción californiano

Este método corresponde a una variación al riego por surco que adapta a cultivos sembrados en hileras como hortalizas, chacras y frutales en general, en este sistema todas las líneas de alimentación primarias y secundarias son entubadas en baja presión para entregar el recurso a las regueras dispuesta para riego. Permite un excelente control de recurso en términos de tiempo de riego y caudal. Aumenta la eficiencia del riego por surco hasta el 65%.

Figura 7, Esquema de riego de aducción Californiano



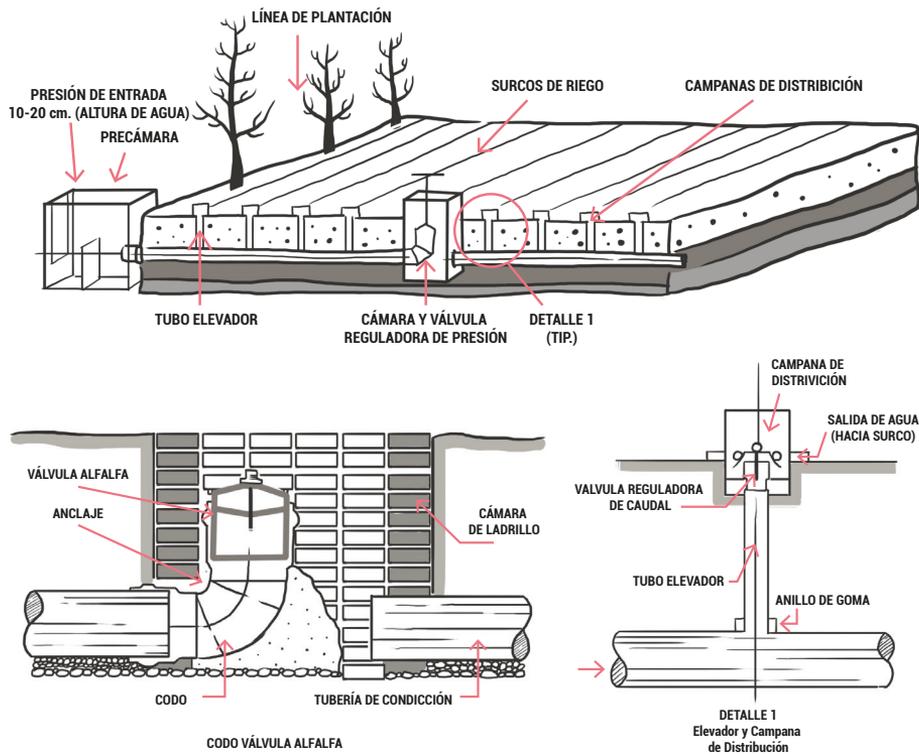
- a** Tubería de cabecera, generalmente de diámetro entre 200 a 250 mm Hidrantes o elevadores, elementos a través de los cuales fluye el agua
- b** Válvulas de huerto, elemento que permiten la regulación del caudal instaladas sobre el hidrante.
- c** Cámaras de distribución, permita la regulación de la presión de agua en el sistema y realiza la entrega del agua al surco
- d** Válvula alfalfa, elemento que permita la regulación del recurso por

sectores de riego.

e Válvula beta, instalada al final de la tubería del sistema que permite el desagüe del agua y la limpieza de este.

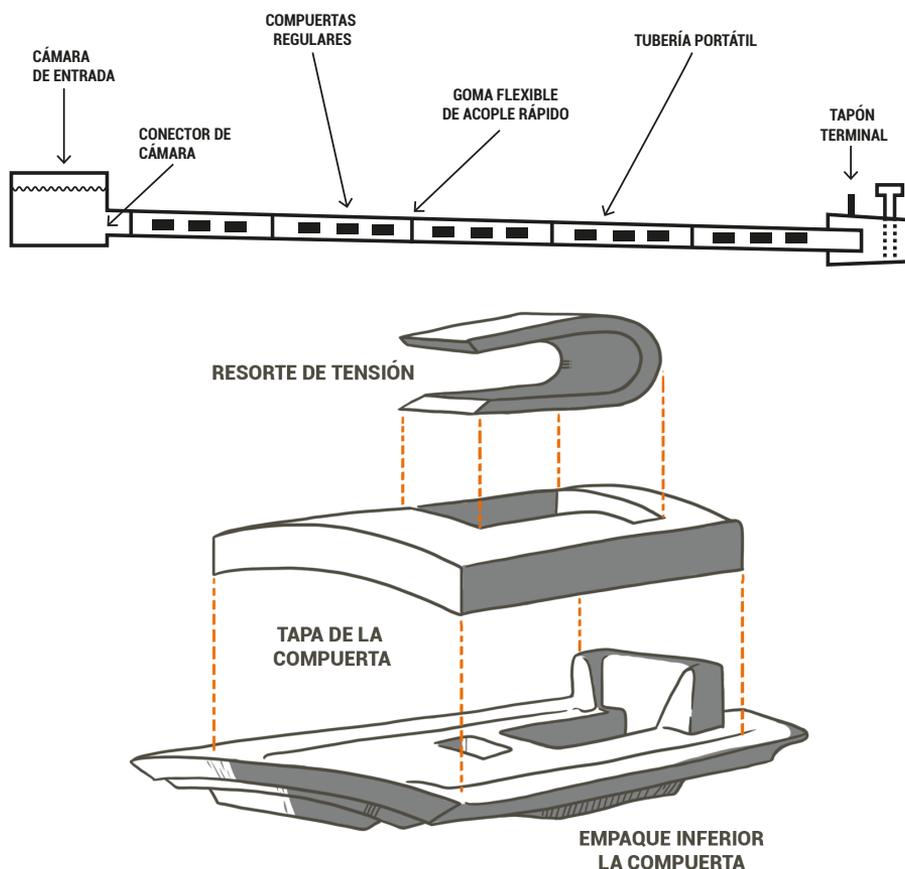
Sistema de aducción californiano fijo

Figura 8, Esquema de sistema de aducción californiano fijo.



Sistema de aducción californiano móvil

Figura 9 Sistema de aducción Californiano móvil



3.- DISEÑO AGRONÓMICO

El diseño agronómico corresponde a la estimación de los requerimientos hídricos de las plantas, de esta forma el diseño agronómico busca establecer la humedad aprovechable a reponer, estimada por medio de las características del suelo en el cual se establecen los cultivos.

En forma cuantitativa la humedad aprovechable del suelo se puede estimar como:

$$HA = ((CC - PMP) * Da * Pr * Cr) / 100$$

HA: humedad aprovechable (cm).

CC: Capacidad de Campo (%)

PMP: Punto de Marchitez Permanente (%).

Da: Densidad Aparente del Suelo (gr/cm³).

Pr: Profundidad Radicular (cm).

Cr: Criterio de Riego (0 < Cr < 1).

Parámetros físico-hídricos por textura de suelo.

TABLA 2. Propiedades físicas para diferentes texturas de suelos.

Tipo de Suelo (textura)	Da (g/cm³)	CC (%)	PMP (%)
Arcilloso	1,1 - 1,4 (1,30)	31 - 39 (35,0)	15 - 19 (17,0)
Franco Arcilloso	1,1 - 1,4 (1,25)	23 - 31 (27,0)	11 - 15 (13,0)
Franco	1,0 - 1,5 (1,25)	18 - 21 (19,5)	8 - 12 (10,0)
Franco Arenoso	1,4 - 1,6 (1,50)	10 - 18 (14,0)	4 - 8 (6,0)
Arenoso	1,5 - 1,8 (1,65)	6 - 12 (9,0)	2 - 6 (4,0)

Fuente: Comisión Nacional de Riego Programación del Riego, Talca, marzo de 1999

Evapotranspiración del Cultivo

$$ET_c = ETP * K_c$$

Donde:

ET_c : Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ET_p : Evapotranspiración potencial (mm/día)

K_c : Coeficiente de cultivo

Frecuencia de riego

$$FR = Hr / ET_c$$

Donde:

FR : Frecuencia de riego. (Redondear al número entero menor y recalcular Hr)

Hr : Lámina neta (mm). Ecuación 1

ET_c: Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

Cantidad de agua bruta a reponer en cada riego

$$H_b = Hr / E_a$$

Donde:

H_b : Lámina de agua bruta a reponer en cada riego (mm).

Hr : Lámina neta (mm)

E_a : Eficiencia de aplicación

Diseño hidráulico de surcos

El diseño hidráulico determina los componentes, dimensiones de la red y funcionamiento de las instalaciones de riego.

Espaciamiento de los surcos

El espaciamiento del surco es determinante para lograr una mejor área mojada del suelo en profundidad, entendiendo que el bulbo mojado varía de acuerdo a la textura del suelo.

$$E = Pr * Cs$$

Donde:

E = espaciamiento de los surcos (m)

Pr = profundidad radicular del cultivo (m)

Cs = factor que depende del tipo de suelo:

Cs = 2.5 para suelos arcillosos

Cs = 1.5 para suelos francos

Cs = 0.52 para suelos arenosos

TABLA 3. Recomendación de la distancia entre surcos para diferentes profundidades radiculares y texturas de suelo.

DISTANCIA ENTRE SURCOS (m)			
Profundidad radicular Pr (m)	Arenoso	Franco	Arcilloso
0,2	0,10	0,30	0,50
0,3	0,16	0,45	0,75
0,6	0,31	0,90	1,50
0,9	0,47	1,35	2,25
1,2	0,65	1,80	3,00
1,5	0,78	2,25	3,75

Infiltración

La Velocidad de Infiltración (VI) representa en función del tiempo cómo el agua que penetra en el suelo hacia las capas inferiores. Se calcula de la manera siguiente:

$$VI = k * T^n ; \text{ expresado en milímetros por hora (mm/h).}$$

La Infiltración Acumulada (IA), representa en función del tiempo cómo el agua que penetra en el suelo hacia las capas inferiores. Se calcula de la manera siguiente:

$$IA = \left(\frac{k}{(n+1)} \right) * TR^{(n+1)} ; \text{ expresado en milímetros (mm).}$$

Donde:

T : Tiempo de aplicación, expresado en horas (h)

K y n : Parámetros de la ecuación de velocidad de infiltración, que se obtienen de la siguiente tabla 4.

TABLA 4. Parámetros de diferentes tipos de suelos.

Tipo de suelo	K (rangos)		Promedio	n
Arcilloso	11,05	13,65	12,35	-0,35
Franco arcilloso	17,50	20,30	18,90	-0,30
Franco	23,36	26,28	24,82	-0,27
Franco arenoso	30,40	32,68	31,54	-0,24
Arenoso	36,19	48,51	42,35	-0,23

Fuente: Nch 3319 Primera edición 2013.07.22

Tiempo de riego

Se debe regar el tiempo suficiente para que el agua infiltre a través del perfil de suelo, de aquí la importancia del Tiempo de Riego, el que depende de la textura de suelo y sus condiciones de infiltración, además de las profundidades radiculares, entendiendo que es hasta aquí donde queremos llegar con el agua.

En el riego por surco se define como:

Tiempo de Avance: El que corresponde al tiempo que se demora el agua en recorrer desde la cabecera hasta el final del surco

Tiempo de receso: El que corresponde al tiempo que con caudal reducido dejamos que infiltre el agua, buscando uniformidad de aplicación a lo largo del surco.

Tiempo de Riego: es la suma de los tiempos de avance y receso.

$$T_a = T_R + T_f \quad \text{Ecuación 8}$$

T_a = tiempo de riego (h)

T_R = tiempo de receso (h)

T_f = tiempo de avance (h)

El Tiempo de riego será calculado despejando la ecuación de infiltración acumulada (ecuación 7), donde:

$$TR = \left(\frac{Hr * (n + 1)}{k} \right)^{\frac{1}{(n+1)}} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

Hr: Altura de agua a reponer dependiendo de la textura del suelo y profundidad radicular.

K y n : Parámetros de la ecuación de velocidad de infiltración.

$$Tf = \left(\frac{Tr}{R} \right) \quad \text{Ecuación 10}$$

R: Corresponde a factor de tiempo y está dado por la siguiente expresión.

$$R = 0,5 * \left(\frac{(n + 1)}{P} \right) - 1 \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

K y n : Parámetros de la ecuación de velocidad de infiltración.

P: Fracción de percolación admisible ($0 < P < 1$). Los valores de percolación aumentan de sur a norte del país de Chile, desde 0,02 hasta 1

TABLA 5, Tiempo de avance de riego, para distintas profundidades.

Tiempo de Riego Avance (Tf) para distintas profundidades (hr)					
Pr (cm)	Arenoso	Franco arenoso	Franco	Franco arcilloso	Arcilloso
30	0,02	0,04	0,05	0,14	0,43
50	0,03	0,08	0,11	0,29	0,94
60	0,04	0,10	0,14	0,37	1,24
70	0,05	0,13	0,18	0,46	1,58
80	0,06	0,15	0,21	0,56	1,94
90	0,07	0,17	0,25	0,66	2,32
100	0,08	0,20	0,29	0,77	2,73
120	0,10	0,25	0,37	1,00	3,61

TABLA 6. Tiempo de receso de riego, para distintas profundidades.

Tiempo de Riego de Receso (TR) para distintas profundidades (hr)					
Pr (cm)	Arenoso	Franco arenoso	Franco	Franco arcilloso	Arcilloso
30	0,32	0,74	0,95	2,28	6,53
50	0,61	1,45	1,91	4,74	14,33
60	0,78	1,84	2,45	6,15	18,98
70	0,95	2,26	3,02	7,66	24,05
80	1,13	2,69	3,63	9,27	29,54
90	1,32	3,14	4,26	10,97	35,41
100	1,51	3,61	4,92	12,75	41,64
120	1,92	4,58	6,32	16,55	55,12

TABLA 7, Tiempo total de riego, para distintas profundidades.

Tiempo de Riego Total (Ta) para distintas profundidades (hr)					
Pr (cm)	Arenoso	Franco arenoso	Franco	Franco arcilloso	Arcilloso
30	0,33	0,78	1,00	2,42	6,96
50	0,65	1,53	2,02	5,02	15,27
60	0,82	1,94	2,59	6,52	20,22
70	1,00	2,38	3,20	8,12	25,63
80	1,19	2,84	3,84	9,83	31,48
90	1,39	3,31	4,51	11,63	37,73
100	1,60	3,81	5,21	13,52	44,37
120	2,02	4,84	6,69	17,55	58,74

Para el caso de diseño y tiempos de riego se podrá tomar el tiempo de riego total o solamente el de avance, entendiendo que el tiempo de receso, debe ser visto bajo la experiencia de cada predio y con calicatas a final de surco.

NOTA cálculo de tiempos:

- » **Parámetros físico-hídricos corresponden a promedio de rango estipulado de TABLA 1.**
- » **Profundidad radicular variable; Criterio de Riego (Cr) = 0,5 y Eficiencia de aplicación (Ea) = 60%**
- » **K de ecuación de infiltración corresponde a promedio de rango estipulado en TABLA 3.**
- » **Factor P ecuación 11 corresponde a 0,02 (valor más restrictivo)**
- » **Kc = 1,1 (Maíz)**
- » **Con los supuestos antes descritos usted puede buscar los tiempos de riego en tablas anteriores**

Caudales a aplicar en surco

Se aceptará hasta el Caudal Máximo No Erosivo para el diseño del Riego por Surco, el que depende de la textura del suelo, como dato de manejo del riego se debe mencionar que al llegar el agua al final del surco (tiempo de avance), se debe reducir el caudal, denominándose caudal reducido debiéndose a que la velocidad de infiltración del suelo disminuye a medida que el agua permanece en el surco, lo que implica un aumento del escurrimiento superficial.

TABLA 7. Relaciones de cálculo de Caudal Máximo no Erosivo y Reducido en relación a textura de suelo.

TABLA 8. Relaciones de cálculo de caudal máximo no erosivo y reducido en relación a texturas de suelo.

Caudal máximo no erosivo	Caudal Reducido	Caudal Reducido	suelo
$0,63 / P$	$(0,63 / P) * 0,5$	$(0,63 / P) * 1/3$	Franco
$0,57/P$	$(0,57/ P) * 0,5$	$(0,57 / P) * 1/3$	Arenoso
$0,96/P$	$(0,96/ P) * 0,5$	$(0,96 / P) * 1/3$	Arcilloso

TABLA 9. Relaciones de Pendiente y cálculo de caudal máximo no erosivo y reducido en relación a las texturas de suelo

Pendiente (%)	CAUDALES (L/s)								
	ARENOSO			FRANCO			ARCILLOSO		
	Máx	Reducido 1/2	Reducido 1/3	Máx	Reducido 1/2	Reducido 1/3	Máx	Reducido 1/2	Reducido 1/3
0,2	2,9	1,4	1,0	3,2	1,6	1,0	4,8	2,4	1,6
0,4	1,4	0,7	0,5	1,6	0,8	0,5	2,4	1,2	0,8
0,6	1,0	0,5	0,3	1,1	0,5	0,3	1,6	0,8	0,5
0,8	0,7	0,4	0,2	0,8	0,4	0,3	1,2	0,6	0,4
1	0,6	0,3	0,2	0,6	0,3	0,2	1,0	0,5	0,3
1,2	0,5	0,2	0,2	0,5	0,3	0,2	0,8	0,4	0,3
1,4	0,4	0,2	0,1	0,5	0,2	0,1	0,7	0,3	0,2
1,6	0,4	0,2	0,1	0,4	0,2	0,1	0,6	0,3	0,2
1,8	0,3	0,2	0,1	0,4	0,2	0,1	0,5	0,3	0,2
2	0,3	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,5	0,2	0,2

Largo máximo de surco.

El largo de surco debe asegurar que el área mojada del suelo sea lo más uniforme posible desde la cabecera hasta el final del surco. Los factores principales que determinan el largo máximo de los surcos son: el tipo de suelo, la pendiente del terreno, la profundidad del sistema de raíces del cultivo, además del caudal que se utilice y el tiempo de aplicación del agua o tiempo de riego.

TABLA 10. Largo máximo de surcos (m), según pendiente, textura y profundidad del suelo.

LONGITUD MÁXIMA DE SURCOS (m)									
Textura	Arenosa			Franca			Arcillosa		
Profundidad suelo (cm)	50	100	150	50	100	150	50	100	150
Pendiente (%)									
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
2.00	50	70	85	80	110	140	105	145	185



MÁS Y MEJOR
RIEGO PARA CHILE

yo
cuido
el agua



Más información:

Comisión Nacional de Riego
División de estudios, Desarrollo y Políticas
Avda. Libertador Bernardo O'Higgins 1449 piso 4,
Santiago.
(56 2) 24257990
www.cnr.gob.cl

El presente material forma parte de las actividades de capacitación del Programa "Transferencia tecnológica para la adaptación al cambio climático en áreas agrícolas vulnerables de las regiones de Atacama y Coquimbo", que ejecuta AquaSys Ingenieros Consultores Ltda. Su contenido fue elaborado en base al "Manual Básico de Capacitación para fortalecer la Gestión de Organizaciones de Usuarios de Aguas" (CNR-UdeC, 2017).