

REGIÓN DE O'HIGGINS: EFICIENCIA EN SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO EN EL SECANO

En predios de propiedad de agricultores beneficiarios del Nodo de Riego Segunda Fase, ejecutado por INIA Rayentué y cofinanciado por InnovaChile, de CORFO, en el secano costero de la Región de O'Higgins, se evaluó la eficiencia de uniformidad de los emisores, dando pautas de mejoramiento de los sistemas.

Alejandro Antúnez B.

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
aantunez@inia.cl

David Mora L.

Ingeniero Agrónomo

Sofía Felmer E.

Ingeniera Agrónoma
INIA Rayentué

El INIA Rayentué, con el cofinanciamiento de InnovaChile, de CORFO, desarrolló una serie de actividades de difusión y transferencia tecnológica en riego, por medio del Nodo Tecnológico de Riego en Secano. El proyecto, ejecutado durante gran parte del año 2009, tuvo por objetivo central conectar a pequeños y medianos agricultores del secano de la Región de O'Higgins con tecnologías modernas e intensivas en el uso del agua y nutrientes, de bajo impacto ambiental.

En la Primera Fase del Nodo de Riego, desarrollado durante 2007 y 2008, se detectaron brechas entre la tecnología difundida y la existente en los predios de los beneficiarios. El Nodo Tecnológico de Riego Segunda Fase propuso estrechar las brechas halladas en la primera etapa, di-



Muestreo del caudal de emisores.

rigiendo sus esfuerzos al trabajo con agricultores del secano innovadores en la producción de arándanos, ciruelos, olivos, nogales y frutillas, con riego tecnificado. El impacto del programa se relacionó con un aumento de la eficiencia de utilización del agua de riego y la aplicación de nutrientes, que permite economizar energía, agua y fertilizantes. Así se posibilita mejorar la condición y calidad de los productos y, por ende, la rentabilidad de las explotaciones.

Eficiencia de riego

La eficiencia de aplicación

riego por surcos a riego por goteo. Se justifica, por tanto, la inclinación de los productores de áreas con severas restricciones de recursos hídricos, a invertir en sistemas de riego presurizados del tipo goteo o microaspersión. Sin embargo, aun cuando los sistemas de riego por goteo alcanzan eficiencias teóricas del orden del 90% al 95%, en la práctica un mal manejo puede ocasionar una merma relevante en el desempeño del sistema, con pérdidas de agua de diversa naturaleza.

En términos generales, se considera eficiente un método de riego cuando el agua aplicada al cultivo es utilizada en un porcentaje superior al 70%. En el cuadro 1 se muestran los valores de eficiencia para algunos sistemas de riego utilizados comúnmente.

La mayor parte de los sistemas de riego no funcionan con la eficiencia óptima. Por ejemplo, estudios regionales en los Estados Unidos han demostrado que, en promedio, cerca del 25% de la energía eléctrica empleada en sistemas de riego está siendo mal aprovechada, debido a bajas eficiencias de bombeo o del mo-

Cuadro 1. Eficiencia de aplicación del agua según el método de riego.

Método de riego	Eficiencia de riego (%)
Tendido	30
Surcos	45
Californiano	65
Aspersión	75
Microjet	85
Microaspersión	85
Goteo	90



Medición del tiempo de la muestra.



Medición de caudales muestreados.

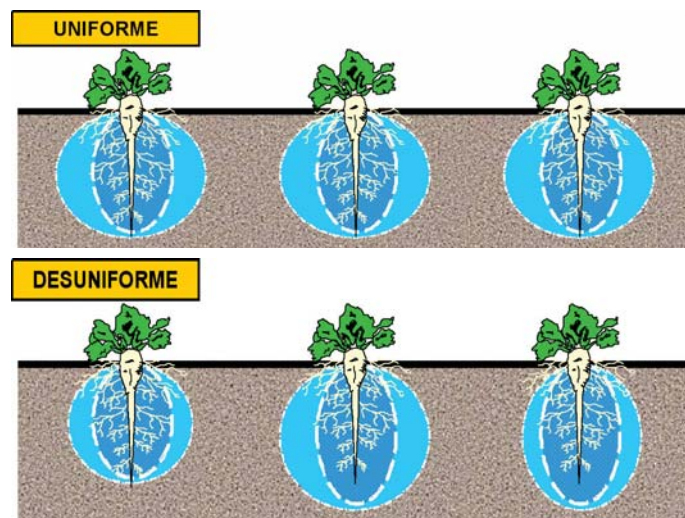
tor de la bomba.

El riego excesivo también representa una pérdida de energía y dinero y, frecuentemente, los problemas del equipo tienden a estar acompañados de problemas de manejo. Un equipo mal diseñado, ineficiente o con problemas de mantención, disminuye el control que ejerce el regador sobre la forma de aplicación del agua. Deficiencias como ca-

lidad del agua o falta de presión en los laterales, hacen imposible reponer adecuadamente la humedad en el suelo, conduciendo a estrés hídrico en los cultivos, disminución de rendimientos, pérdidas de agua, escorrentía superficial, erosión de suelo y muchos otros problemas derivados.

La eficiencia de riego puede definirse como la resultante de

Figura 1. Mojamiento uniforme versus mojamiento desuniforme en un sistema de riego por goteo. En azul: zona de raíces; en celeste: bulbo de mojamiento del emisor.



la ponderación de tres aspectos:

- Eficiencia de aplicación: determina la parte del agua que no es retenida en la zona radicular, en relación al total del agua aplicada en el suelo.
- Eficiencia de almacenamiento: determina la parte del agua aplicada que queda almacenada en el suelo, en relación a la necesaria para llevar el suelo a capacidad de campo.
- Eficiencia de uniformidad: determina la uniformidad de entrega de agua por los emisores (goteros o microaspersores) al suelo.

La ponderación de estas tres eficiencias determina la eficiencia agronómica o de utilización del agua de riego, cuyo valor debería optimizarse en condiciones de secano.

En general, las pérdidas o ineficiencias del sistema de riego se relacionan con el manejo del agua y con las características físico-hídricas del suelo a regar. Entre los factores de manejo que influyen, se encuentran el diseño del sistema, los caudales de riego utilizados, la frecuencia y el tiempo de riego empleado. Por otra parte, entre los factores del suelo destacan la velocidad de infiltración del agua, la capacidad de retención de agua, la den-

sidad aparente y la profundidad del suelo y sus condiciones de estratificación (Gurovich, 1997).

La eficiencia de riego es una variable dinámica que depende de los factores antes mencionados, sin contar con el mal manejo por parte del regante, derivado de su escaso conocimiento previo o experiencia en el cultivo. De este modo, la eficiencia de utilización fluctúa no sólo a lo largo de la temporada en cada evento de riego, sino que también en cada sector y subsector de riego dentro de un sistema. Por ello, el Nodo consideró relevante capacitar a los agricultores, de manera de identificar las fallas tecnológicas de manejo, concluyendo con recomendaciones técnicas para hacer un uso óptimo del recurso hídrico.

Al contrastar el resultado de una evaluación en terreno con el óptimo para cada sistema de riego, se puede definir las recomendaciones para su mejoramiento en ese caso específico.

En un sistema de riego por goteo eficiente, se espera que cada una de las plantas reciba aproximadamente la misma cantidad de agua y fertilizantes, reflejando una buena eficiencia de aplicación. Si el riego no es uniforme, algunas zonas recibirán más agua que la necesaria y se

perderá por percolación profunda, mientras que otras plantas recibirán menos, y la productividad se verá afectada negativamente (figura 1, página 41).

Eficiencia de uniformidad: estudio de tres casos

A continuación se presentan tres evaluaciones de eficiencia de uniformidad en terreno. Se efectuaron en distintos predios cultivados con arándanos, todos ubicados en el sector de Villa Manantiales, comuna de Litueche.

Los sectores de riego comprendieron una superficie entre 1.000 a 2.000 m². Se evaluaron dos sectores de riego por predio, considerando aquellos ubicados en una condición topográfica contrastante, dependiendo del microrrelieve del terreno.

Metodología de medición de eficiencia de uniformidad

Para determinar la eficiencia de uniformidad, se eligen los laterales de los extremos y dos de la parte media ubicados en el primer y segundo tercio del sector. Posteriormente, se seleccionan los emisores a evaluar en cada lateral, siguiendo el procedimiento que muestra la figura 2.

Con una probeta u otro instrumento graduado, se mide el volumen que entregan los emisores en un tiempo de entre uno y cinco minutos. Con los datos obtenidos por muestra, se calcula la eficiencia de uniformidad mediante el siguiente procedimiento:

$$Eu = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \times \bar{X}} \right) \times 100$$

Donde:

Eu : Eficiencia de uniformidad.

\bar{X} : Promedio del total de caudales registrados.

$\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|$: Sumatoria del valor absoluto de la desviación de las observaciones individuales (emisores evaluados) con respecto al promedio de caudales registrados.

n : número de emisores evaluados.

A modo de ejemplo, a continuación se presenta la forma de efectuar el cálculo. Si el caudal medido en un emisor dado (*X_i*) es de 1,8 litros por hora (l/h), y el promedio (\bar{X}) de caudal de los 16 emisores equivale a 2,13 l/h, se computa el valor absoluto de la diferencia entre estos valores:

$$|X_1 - \bar{X}| = |1,8 - 2,13| = 0,33$$

Posteriormente, cada valor absoluto computado se suma. Este resultado se divide por la cifra que da multiplicar el número de emisores evaluados por el promedio del caudal de los emisores. Luego, se resta este nuevo resultado al valor 1, y se multiplica la cifra por 100, para obtener la *Eu* en porcentaje.

Así, teóricamente, si todos los emisores de un sistema evaluado registraran el mismo caudal, el resultado de la desviación de los valores medidos con respecto al promedio sería equivalente a cero, y el sistema alcanzaría un 100% de eficiencia.

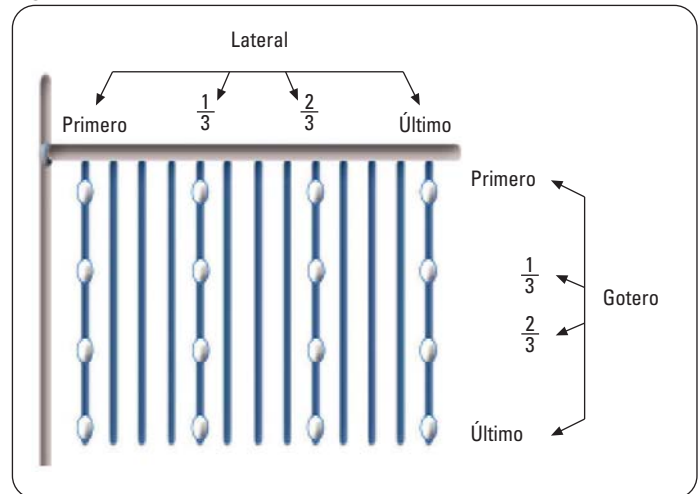
En los sistemas de los beneficiarios del Nodo, se evaluaron

Cuadro 2. Categoría de eficiencia de uniformidad (*Eu*) para sistemas de riego presurizado.

Categoría	Eu (%)
Excelente	90 - 100
Buena	80 - 90
Aceptable	70 - 80
Inaceptable	Menos de 70

Fuente: Christiansen, 1942.

Figura 2. Selección de laterales y emisores a evaluar.



10 emisores o goteros por sector de riego en cada predio seleccionado, registrando además la presión del lateral de riego (tubería de polietileno en que van insertos los goteros). Una vez realizada la operación de terreno y de cálculo, se compararon los valores con la clasificación del cuadro 2.

Resultados de la evaluación

En el cuadro 3 se presentan los valores de *Eu*, medidos y calculados en dos sectores de riego por goteo de tres predios dedicados al cultivo del arándano en la comuna de Litueche.

La información del cuadro 3 permite concluir que la eficiencia de uniformidad del sistema para el caso 1 se puede clasificar como buena para el sector 3 (0,89), y aceptable para el sector 8 (0,74). En el caso 2, la eficiencia de uniformidad del sistema es buena en ambos sectores (0,80 y 0,84); mientras que en el caso 3, la eficiencia obtenida se puede clasificar como buena para el sector 1 (0,85) y excelente en el sector 6 (0,95).

Es importante destacar el caudal (*Q*) nominal (se refiere al que indica el catálogo del fabricante) de los emisores utilizados y compararlo con el promedio obtenido de las evaluaciones. Una óptima eficiencia de aplicación

no asegura que se estén descargando los caudales asegurados por catálogo, por lo cual el registro de presiones en las laterales de riego será un parámetro que podrá explicar las posibles diferencias entre el caudal real y el caudal nominal de los emisores. Además, la magnitud en la diferencia de caudal teórico y real, estará determinada por la clase de emisores utilizados –sean éstos de tipo turbulento o autocompensados– y por la presión de trabajo requerida por emisor.

En los casos evaluados, al comparar el caudal promedio por sector y el caudal nominal de los emisores utilizados, se presenta una situación que contrasta con la eficiencia calculada. Aunque la *Eu* está dentro de los márgenes óptimos en todos los casos, se debe prestar especial atención a los caudales descargados, presiones existentes en los laterales de riego, presión de trabajo de los emisores y tipo de emisores (convencionales o autocompensados).

En el caso 1 los caudales promedios descargados por sector se encuentran muy por debajo del caudal nominal de los emisores utilizados que corresponden a 4 l/h, lo cual puede ser debido a una falta de presión en los laterales de riego.

La situación del caso 2 es un poco más compleja, ya que el caudal promedio del sector 1 se

Cuadro 3. Resultados de evaluación de la eficiencia de uniformidad de goteros y presiones de las laterales por sector evaluado.

N° goteros	Caso 1				Caso 2				Caso 3			
	Sector 3		Sector 8		Sector 1		Sector 4		Sector 1		Sector 6	
	Q (l/h)	$X_i - \bar{X}$	Q (l/h)	$X_i - \bar{X}$	Q (l/h)	$X_i - \bar{X}$	Q (l/h)	$X_i - \bar{X}$	Q (l/h)	$X_i - \bar{X}$	Q (l/h)	$X_i - \bar{X}$
1	3,0	0,08	2,4	0,68	4,8	0,33	3,6	1,53	1,8	0,33	2,7	0,15
2	3,0	0,08	2,4	0,68	3,9	1,23	4,8	0,33	1,8	0,33	2,7	0,15
3	3,3	0,22	3,6	0,52	5,1	0,03	5,1	0,03	2,4	0,27	3,0	0,15
4	3,6	0,52	3,0	0,08	6,0	0,87	4,8	0,33	2,1	0,03	2,7	0,15
5	3,0	0,08	2,1	0,98	6,6	1,47	3,3	1,83	1,5	0,63	3,0	0,15
6	3,0	0,08	3,6	0,52	7,8	2,67	3,0	2,13	2,4	0,27	3,0	0,15
7	1,8	1,28	2,1	0,98	5,1	0,03	3,0	2,13	1,8	0,33	3,0	0,15
8	3,8	0,70	4,8	1,72	5,1	0,03	3,9	1,23	2,7	0,57	2,7	0,15
9	3,0	0,08	2,1	0,98	2,4	2,73	4,2	0,93	2,4	0,27	2,7	0,15
10	3,3	0,22	3,6	0,52	4,5	0,63	4,5	0,63	2,4	0,27	3,0	0,15
\bar{X}	3,1		2,97		5,13		4,02		2,13		2,85	
$\sum_{i=1}^n X_i - \bar{X} $	3,3		7,7		10,2		6,6		3,3		1,5	
Eu	0,89		0,74		0,80		0,84		0,85		0,95	
Presión (bar)	0,78		0,76		1,60		0,78		0,43		0,66	
Q nominal		4 (l/h)				4 (l/h)				3,8 (l/h)		

Eu = eficiencia de uniformidad. Q = caudal. l/h = litros por hora. \bar{X} = caudal promedio



Predios evaluados.

encuentra sobrepasado en 1 litro aproximadamente, considerando que el caudal nominal es de 4 l/h. Por tanto se debe prestar atención a las presiones existentes en los laterales de riego y la presión de trabajo de los emisores utilizados.

El caso 3 es muy similar al caso 1: el caudal por sector está muy por debajo del caudal nominal correspondiente a 3,8 l/h, fenómeno provocado claramente por las diferencias de presión registradas.

Lo bueno y lo malo

Los sistemas de riego evaluados en el sector Villa Manantiales de la Comuna de Litueche, Región de O'Higgins, se encuentran en una situación óptima de eficiencia de uniformidad, con rangos que fluctúan desde buena a excelente. Sin embargo, existen diferencias evidentes entre los caudales descargados con respecto al caudal nominal de los emisores, debido a faltas o excesos de presión en los late-

rales de riego entre un sector y otro.

En sectores de riego en condiciones hidráulicas desfavorables, donde la presión varía considerablemente entre un punto y otro, producto del microrrelieve del terreno, el uso de emisores convencionales deja en evidencia las diferencias entre los caudales descargados. La solución es ajustar las presiones de los sectores de riego, de acuerdo a los requerimientos del emisor y sistema de riego instalado, que

GLOSARIO

Capacidad de campo: es el contenido de humedad del suelo después de una lluvia intensa o riego profundo y cuando el drenaje interno ha cesado, normalmente después de 24 a 48 horas de ocurrida la lluvia o el riego.

Percolación: proceso de movimiento del agua a través del suelo. Cuando la percolación es muy profunda, el agua baja y alcanza profundidades más allá de donde las raíces son capaces de aprovecharla.

frecuentemente fluctúa entre 1 y 1,2 bares para goteo.

La evaluación de la eficiencia de uniformidad debe ser una práctica reiterada entre los agricultores del secano, y en general para todos los agricultores que tengan sistemas de riego tecnificados. La capacitación y difusión de la metodología utilizada es necesaria para no afectar negativamente la productividad de sus cultivos. 