

Manejo del agua y los sistemas de riego en el valle bonaerense del río Colorado

Recomendaciones en tiempos de crisis hídrica

Marcos Bongiovanni y Rolando Anze

ISSN 0328-3380 Boletín de divulgación N° 32 - E.E.A. Hilario Ascasubi



INTA | Ediciones

Colección
DIVULGACIÓN

Manejo del agua y los sistemas de riego en el valle bonaerense del río Colorado

Recomendaciones en tiempos de crisis hídrica



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina

Contenido

1. Planificación de la superficie bajo riego	4
2. Conducción del agua dentro del campo	4
3. Sistemas tradicionales de riego por superficie: surco y melga	5
3.1 Recomendaciones para un manejo eficiente del riego por superficie	7
3.1.1 Variables de manejo: caudal unitario, frente de riego y tiempo de aplicación	7
3.1.2 Variables de sistema: nivelación, longitud y frecuencia de riego.	11
3.2 Aforo o medición de caudales.....	13
3.2.1 Aforo en compuerta de riego	13
3.2.2 Aforo en acequia.....	15
3.2.3 Aforo de sifones y boquetes	17
3.3 ¿Surco o melga?.....	19
3.4 Técnicas para reducir el tiempo de avance y mejorar la uniformidad de riego	20
3.5 Tecnificación del riego por superficie: mangas y compuertas de riego.....	23
3.5 Prácticas no recomendadas en el riego por superficie o gravedad	25
4. Sistemas de riego presurizado: goteo y aspersión	25
4.1 ¿Qué hay que considerar antes de iniciarse en un proyecto de riego presurizado?.....	27
4.2 Fuente de agua.....	29
4.2.1 Agua superficial: reservorios	29
4.2.2 Agua subterránea	30
4.3 Recomendaciones de diseño	32
4.3.1 Diseño agronómico	33
4.3.2 Diseño hidráulico	37
4.3.3 Cabezal de riego, filtrado y red de distribución.	43
4.4 Recomendaciones para un manejo eficiente de los sistemas de riego presurizado	52
4.5 Automatización	58
4.6 Mantenimiento	59
4.7 Prácticas no recomendadas en riego presurizado.	61
5. Bibliografía	62

Prólogo

Durante los últimos diez años, varios ríos de la Argentina de régimen nival han sufrido un descenso en su escurrimiento como consecuencia de la escasa acumulación de nieve en cordillera. Esto incluye al río Colorado que nace en la cordillera de los Andes y desemboca en el mar argentino. Así, el agua disponible para riego en el valle bonaerense ha sido cada vez más escasa, reduciéndose a la mitad la superficie bajo riego. Esto impulsó a técnicos del INTA, CORFO Río Colorado, el Consorcio Hidráulico junto a asociaciones y productores a trabajar de manera participativa en la mejora del manejo del recurso y la transformación tecnológica del riego.

Si bien este material incluye conceptos técnicos que pueden encontrarse en otros manuales de riego, reúne principalmente la experiencia recabada en base a experiencias locales potenciadas por el Programa Nacional Agua de INTA (de la antigua cartera de proyectos), los actuales Proyectos Estructurales: Uso y gestión eficiente del agua en sistemas de regadío (PE I505) y Acceso, uso, re-uso y manejo del agua con fines múltiples (PE I043), Proyectos especiales del programa Pro Huerta (MDS/INTA) y por el proyecto BIRF AR *“Aumentando la resiliencia climática y mejorando el manejo sostenible de la tierra en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires”* implementado por la Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, financiado por el Fondo de Adaptación al Cambio Climático y ejecutado por el Banco Mundial. Este trabajo pretende servir a la mejora de los sistemas de riego y uso del agua en tiempos de crisis hídrica.

1. Planificación de la superficie bajo riego

Bajo el escenario sostenido de crisis hídrica, la planificación de la superficie bajo riego y la mejora en el manejo del agua son las alternativas que tiene el productor para continuar regando una superficie determinada de cultivo.

La adecuación de la superficie sembrada bajo riego, en relación al agua que posee el establecimiento es el primer paso para poder regar los cultivos satisfactoriamente y cerrar el ciclo con buenos rendimientos. Para esto, deberá tenerse en cuenta el agua que dispone el establecimiento para la campaña de riego y la demanda de agua de riego de los cultivos.

El agua disponible estará definida por las hectáreas empadronadas que tenga el establecimiento y la dotación de agua (litros/segundo/hectárea) que entregue el ente regulador en la campaña de riego. La dotación será definida por el ente regulador y dependerá de las particularidades del año, las precipitaciones niveas y las reservas del Dique Casa de Piedra, entre otras variables.

La demanda de agua de riego dependerá del requerimiento hídrico de la especie cultivada, la superficie que se pretende cultivar y el marco de plantación asociada a la misma, el método de riego (gravedad o presurizado), la eficiencia de conducción dentro del establecimiento y la eficiencia de aplicación en el lote. Estas variables establecen el potencial de superficie a regar con la misma dotación de agua.

En escenarios de crisis hídrica y de incertidumbre en cuanto a la disponibilidad del recurso, se recomienda ser cautos a la hora de decidir la superficie cultivada, en especial si se trata de cultivos hortícolas con alta demanda de agua.

2. Conducción del agua dentro del campo

Cuando el agua ingresa al campo a través de la compuerta y recorre un determinado trayecto hasta el lote a regar (Figura 1), existen pérdidas en conducción por infiltración en las acequias.



Figura 1. Conducción de agua en acequias de riego.

En un estudio realizado en el valle¹, se registró una pérdida de agua promedio del 15% por conducción dentro del campo. Sin embargo, un tercio de los casos bajo estudio sufrieron pérdidas de agua significativas, mayores al 20%. Para disminuir ese valor se recomienda:

- Reducir la distancia que recorre el agua dentro del establecimiento.
- Realizar el mantenimiento y reparación de acequias e infraestructura hidráulica previo a la campaña de riego.
- Analizar técnica y económicamente el revestimiento del tramo de conducción con materiales plásticos o la conducción del agua a través de mangas.

Se recomienda analizar qué tramos son los de mayores pérdidas o altas tasas de infiltración

¹ Tesis de posgrado de la maestría en riego y drenaje (UNCUYO) de Marcos Bongiovanni: desempeño del riego por superficie de cebolla en el VBRC, propuestas para la mejora a campo.

(debido a su textura arenosa, por ejemplo) para dar prioridad a la mejora de esos trayectos por los que circula el agua.

Con el revestimiento o la utilización de mangas no sólo se lleva a cero las pérdidas por infiltración, sino que se reduce considerablemente el tiempo que demora el agua en llegar al lote desde la compuerta del campo. Esto es de especial importancia cuando el establecimiento se encuentra dentro de un turno de riego.

Las mangas son tuberías de polietileno que reemplazan las acequias de tierra y funcionan con la misma carga que trae el agua. Se consiguen de distintos diámetros (hasta 22 pulgadas) y espesores de pared. El diámetro de manga a utilizar dependerá del caudal de manejo en acequia, pudiendo transportar caudales de hasta 100 l/s. Trabajan con una carga hidráulica mínima de 30 cm y máxima de 1 metro. Para su instalación el terreno debe estar libre de obstáculos y es recomendable realizar una zanja donde calce la manga, para evitar que una vez cargada se gire o mueva de lugar (Figura 2). La toma de agua se debe colocar a nivel con el fondo de la acequia (Figura 3).



Figura 2. Preparación del terreno para la colocación de una manga de polietileno, Pedro Luro.



Figura 3. Toma de agua en acequia con tacho de PVC, Pedro Luro.

3. Sistemas tradicionales de riego por superficie: surco y melga

El riego por superficie o gravedad continúa teniendo gran relevancia en el desarrollo del regadío, no sólo porque corresponde aproximadamente al 80% de las áreas regadas del

mundo, sino porque para muchos cultivos y sistemas de producción continúa siendo el método, técnica y económicamente, más apropiado.

Según FAO (2011), en Argentina sobre una superficie total bajo riego de 2.357.000 ha, un 83 % de la superficie regada es por este método de riego.

Los sistemas tradicionales de riego por superficie o gravedad también predominan en valle bonaerense del río Colorado. Más del 95 % de la superficie regada allí es a través de estos métodos, ya sea por surco o melga, en cultivos extensivos como en cultivos intensivos (Figura 4a, 4b, 4c, 4d).



Figura 4b. Riego por superficie, en melgas de cebolla sembrada en platabanda en estadios avanzados, Hilario Ascasubi.



Figura 4a. Riego por superficie, en melgas de cebolla sembrada en platabanda en los primeros estadios, Hilario Ascasubi.



Figura 4c. Avance del agua en surcos de cebolla regada con sifones, primeros estadios de cultivo, Hilario Ascasubi.



Figura 4d. Riego por superficie con sifones, en surcos de cebolla en estadios avanzados de desarrollo, Cnia. San Adolfo.

Varios estudios a nivel internacional, nacional y local, evidencian que los métodos de riego por superficie pueden ser muy eficientes si son manejados adecuadamente. Durante la última década, experiencias realizadas por técnicos de INTA, CORFO y el Consorcio Hidráulico, también lo demuestran.

3.1 Recomendaciones para un manejo eficiente del riego por superficie

Las variables físicas que determinan el desempeño en un evento de riego pueden agruparse en variables de manejo o parámetros físicos cuya magnitud puede cambiar en un amplio rango en función de la decisión del usuario y variables del sistema o parámetros físicos propios del sistema y que poco margen de cambio tiene.

3.1.1 Variables de manejo: caudal unitario, frente de riego y tiempo de aplicación

Las variables de manejo que se encuentran al alcance del operario del riego durante el mismo evento de riego son: el caudal unitario, el frente de riego y el tiempo de aplicación o corte. En menor medida el caudal de manejo, ya que estará sujeto a la concesión que disponga el establecimiento y del tipo de entrega que tenga (continua o por turnos) y la lámina de reposición, es decir la oportunidad del riego, por el mismo motivo.

El caudal unitario corresponde a un volumen por unidad de tiempo y por unidad de frente de riego, por ejemplo, litros/segundo/metro. El caudal unitario es de suma importancia en el riego por superficie, porque de él dependerán otras variables del riego, como el tiempo de aplicación, la uniformidad, la lámina aplicada y la eficiencia de riego.

El caudal unitario dependerá del caudal de manejo en la reguera principal y de la capacidad operativa del regador, es decir, el número de surcos o melgas regadas de manera simultánea (o frente de riego). Este punto constituye una importante variable de ajuste a campo con impacto directo en las eficiencias y uniformidades de riego.

El tiempo de riego debe garantizar la aplicación de la lámina de riego objetivo o de reposición. Generalmente el tiempo de aplicación será mayor cuanto mayor sean las necesidades del cultivo o cuando el riego sea con bajos caudales unitarios.

El volumen de agua aplicado a la unidad de riego (Vol) será el producto del caudal entregado a la parcela (Q) y el tiempo de aplicación (tap) o corte.

$$Vol \text{ (litros)} = Q \left(\frac{\text{litros}}{\text{seg}} \right) \times \text{tap} \text{ (min)} \times 60$$

Luego, la lámina bruta aplicada (Lb) podrá ser calculada cómo el volumen aplicado durante el riego en relación a la superficie regada (S).

$$S \text{ (m}^2\text{)} = \text{frente de riego (m)} \times \text{longitud (m)}$$

$$Lb \text{ (mm)} = \frac{Vol \text{ (litros)}}{superficie \text{ (m}^2\text{)}}$$

En el riego por superficie, cuando el agua ingresa por la cabecera de la unidad de riego, comienza a avanzar e infiltrar al mismo tiempo. Una vez que el agua llega al pie, en la cabecera se ha infiltrado un volumen de agua determinado que dependerá del tiempo de avance (tiempo que el agua demoró en llegar al pie) y de las características del suelo. Cuanto más demore el agua en llegar al pie, más tiempo estará infiltrando en la cabecera (Figura 5).

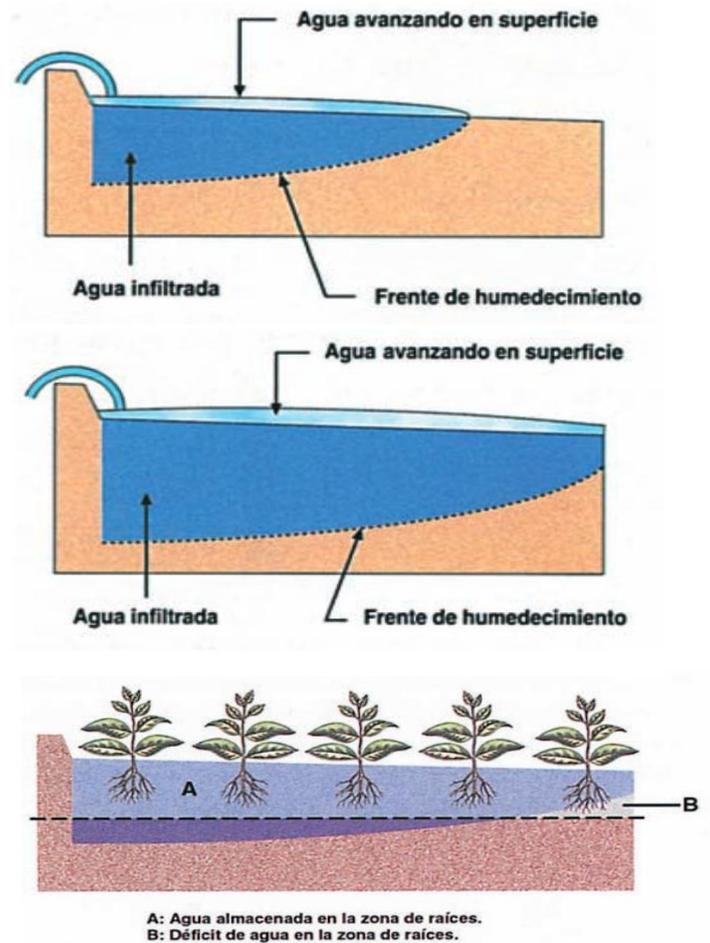


Figura 5. Avance del agua y volumen de agua infiltrado durante un evento de riego por superficie, en comparación al requerido. Fuente: GÓMEZ, R. F. (2010). Manual de riego para agricultores: módulo 2.

En periodos de escasez de agua se recomienda aplicar riegos rápidos (de avance rápido). De esta manera es posible completar el riego y la rotación de los cuadros en un menor tiempo.

Si el regante distribuye el agua que dispone en un gran número de surcos o melgas, el avance del agua desde la cabecera al pie será lento, el tiempo de aplicación será mayor al necesario, la lámina aplicada será excesiva y la uniformidad de riego y la eficiencia de aplicación serán bajas.

Para dar riegos rápidos y alcanzar un mejor desempeño, se recomienda utilizar altos caudales y menores tiempos de aplicación. Para esto, será necesario concentrar el caudal de agua recibido

en pocos surcos o melgas y utilizar sifones de mayor diámetro (Figura 6).



Figura 6. Concentración de los sifones y el caudal en una melga de riego, primeros riegos de cebolla sembrada en plano y regada en melgas, Pedro Luro.

Si el establecimiento dispone agua de manera continua, pero recibe un bajo caudal en compuerta debido a que posee pocas hectáreas de concesión, tal vez sea conveniente su ingreso a un turno de riego. Con este procedimiento, el regante recibe la misma cantidad de agua, pero con un caudal mayor en un menor periodo de tiempo.

El objetivo es alcanzar un caudal unitario (litros por segundo por metro de frente de riego) que reduzca el tiempo de avance y el tiempo de aplicación del agua.

El caudal unitario (qu) se puede calcular según la siguiente ecuación:

$$qu = \frac{\text{Caudal entregado a la parcela } \left(\frac{l}{s}\right)}{\text{Frente de riego (m)}}$$

Por ejemplo, un campo recibe en compuerta 120 l/s y a la parcela llegan 100 l/s, los cuales distribuye en 3 melgas de 12 metros de ancho cada una.

Entonces,

- Caudal en compuerta: 120 l/s
- Caudal que llega a la parcela: 100 l/s
- Melgas regadas simultáneamente: 3
- Ancho de melga: 12 metros
- Largo de la unidad de riego: 170 m
- Tiempo de aplicación: 104 min

$$\text{Frente de riego} = 12 \text{ mts} \times 3 \text{ melgas}$$

$$\text{Frente de riego} = 36 \text{ metros}$$

$$\text{Caudal unitario (qu)} = \frac{100 \text{ l/s}}{36 \text{ metros}}$$

$$\text{Caudal unitario (qu)} = 2,7 \text{ l/s/m}$$

Por otro lado, se puede calcular la lámina de riego como:

$$\text{Vol} = 100 \frac{l}{s} \times 104 \text{ min} \times 60$$

$$\text{Vol} = 624000 \text{ litros}$$

$$Lb (mm) = \frac{624000 \text{ litros}}{36 \times 170 \text{ metros}}$$

$$Lb (mm) \approx 102 \text{ mm}$$

Para este ejemplo, el frente de riego es de 36 metros y el caudal unitario de 2,7 litros/segundo/metro. Sin embargo, si regara 2 melgas de manera simultánea en vez de 3, el frente de riego se reduciría a 24 metros y el caudal unitario aumentaría a 4,2 litros/segundo/metro de frente de riego:

- Caudal en compuerta: 120 l/s
- Caudal de manejo en acequia: 100 l/s
- Melgas regadas simultáneamente: 2
- Ancho de melga: 12 metros
- Largo de la unidad de riego: 170 m
- Tiempo de aplicación 43 min

El frente de riego será ahora:

$$\text{Frente de riego} = 12 \text{ mts} \times 2 \text{ melgas}$$

$$\text{Frente de riego} = 24 \text{ metros}$$

Y el caudal unitario:

$$\text{Caudal unitario (qu)} = \frac{100 \text{ l/s}}{24 \text{ metros}}$$

$$\text{Caudal unitario (qu)} = 4,2 \text{ l/s/m}$$

Entonces la lámina de riego aplicada será:

$$Vol = 100 \frac{l}{s} \times 43 \text{ min} \times 60$$

$$Vol = 258000 \text{ litros}$$

$$Lb (mm) = \frac{258000 \text{ litros}}{24 \times 170 \text{ metros}}$$

$$Lb (mm) \approx 63 \text{ mm}$$

Vemos cómo manejando el frente de riego es posible aumentar el caudal unitario, reducir el tiempo de aplicación o corte y aplicar una lámina bruta menor. A partir de estudios realizados en el cultivo de cebolla en el VBRC², se recomienda un caudal unitario de 4 a 5 l/s/m para melgas y de 0,8 a 1 l/s/m para surcos.

Una mejora del riego significa la posibilidad de mantener la superficie bajo riego en tiempos de crisis hídrica o incluso regar una mayor superficie, con la misma cantidad de agua recibida. Según estudios realizados en el valle², sobre el cultivo de cebolla, a través del aumento del caudal unitario es factible incrementar hasta un 30 % la eficiencia de aplicación.

Por otro lado, en el riego por superficie es común observar casos de percolación de agua en exceso, es decir, agua que excede la profundidad objetivo a humedecer con el riego, ya sea en la cabecera o en el pie de la unidad de riego. Si se observa percolación excesiva en cabecera se recomienda disminuir los tiempos de avance del agua, aumentando el caudal unitario a través de la reducción del frente de riego. Para aquellos casos

² Tesis de posgrado de la maestría en riego y drenaje (UNCUYO) de Marcos Bongiovanni: desempeño del riego por superficie de cebolla en el VBRC, propuestas para la mejora a campo.

con percolación al pie, se recomienda reducir el tiempo de aplicación, anticipando el corte.

Con respecto a la atención del riego, de ser posible, el operario debería ocuparse exclusivamente del riego sin compartirlo con otras actividades. Los riegos nocturnos son menos controlados y por lo general se aplican láminas muy grandes. Cuando corresponda regar de noche se recomienda prestar la misma atención y control que durante el día.

Por último, en la hidráulica del riego por superficie, las malezas interfieren directamente en el escurrimiento y avance del agua, provocando riegos más lentos que se traducen en un tiempo de riego mayor al necesario, agua aplicada en exceso en la cabecera y disminución de la eficiencia de aplicación (Figura 7). Se recomienda su control para obtener avances rápidos y uniformes del frente de riego.



Figura 7. Cebolla regada en melgas con alto nivel de enmalezamiento, Juan A. Pradere.

3.1.2 Variables de sistema: nivelación, longitud y frecuencia de riego.

- *Nivelación*

En el riego por superficie, independientemente del método utilizado, la nivelación del terreno es un factor clave para lograr una buena distribución del frente de agua, ya que el agua se moverá sobre la superficie del suelo.

En los terrenos mal nivelados o con micro relieves, habrá un exceso de humedad en los sectores bajos mientras que en los altos el riego será deficitario. Además, por la falta de nivelación el frente de agua avanzará desperejo, utilizando, al finalizar el riego, un mayor volumen de agua (Figura 9).



Figura 9. Avance no uniforme del agua sobre el suelo en Igarzabal.

- *Longitud de la unidad de riego*

Con respecto a la longitud de riego, en general se recomienda ajustar la longitud de riego de acuerdo al tipo de suelo. Las dimensiones deberán ser menores cuanto más ligero o arenoso sea el suelo (y mayor su velocidad de infiltración), con objeto de conseguir completar la fase de avance del agua rápidamente. A medida que la infiltración es menor (suelos más arcillosos) la longitud y ancho del surco o melga podrá ser mayor.

La tendencia moderna es la mayor longitud de la unidad de riego posible. Sin embargo, el tiempo que tarda el agua en llegar al pie de la unidad de riego crece notablemente, aumentando las pérdidas de agua por percolación profunda en la cabecera. En general se encuentra resistencia a reducir la longitud, ya que subdivide demasiado el lote y aumenta el número de estructuras hidráulicas, pero muchas veces es la alternativa para aprovechar mejor el agua ante escenarios de crisis hídrica.

En términos generales, para alcanzar valores aceptables de eficiencia de aplicación en suelos de textura gruesa no son convenientes longitudes mayores de 80 a 100 m, mientras que, en suelos de textura fina, que son de baja a muy baja infiltración, la longitud puede ser de 200 m o más. En suelos de textura media, se recomienda longitudes entre 100 y 150 metros.

A modo de referencia para melgas con pendiente menor al 0,3%, la bibliografía recomienda distintos valores de ancho y longitud en función de la textura del suelo (Tabla 1).

Tabla 1. Longitud y ancho de melga según textura de suelo (Fernández Gómez *et. al.*, 2010).

Tipo de suelo	Ancho (m)	Longitud (m)
Arenoso	10 a 12	50-80
Franco	10 a 15	100-200
Arcilloso	10 a 15	150-300

La longitud óptima dependerá, además de la textura, de la pendiente, el caudal de manejo, de la distribución de los cuadros dentro del campo y de otras obras dentro del establecimiento. Por ejemplo, según relevamientos realizados en el valle para el cultivo de cebolla las longitudes de riego utilizadas fueron de 100 a 315 metros, dependiendo el caso.

Bajo escenarios de crisis hídrica se recomienda en lo posible que las tiradas sean cortas, para poder realizar riegos rápidos y más uniformes. Si la longitud es excesiva y se dispone de bajo caudal de manejo, el tiempo de aplicación será excesivo, y se aplicará una lámina de agua excesiva en cabecera.

- *Frecuencia de riego*

La programación de riego es uno de las herramientas más importantes para la mejor gestión del agua en áreas irrigadas. En los riegos

por gravedad se realiza por frecuencia de riego y no mediante la lámina aplicada. A diferencia de los riegos de alta frecuencia (como el goteo) donde el suelo se mantiene siempre húmedo, en el riego por superficie se tiende a alargar el intervalo entre riegos. Sin embargo, la frecuencia de riego deberá ser mayor en suelos marginales o con poca capacidad de almacenamiento de agua y en cultivos con escasa exploración radical.

Después de un riego, el suelo comenzará a drenar agua hasta alcanzar la capacidad de campo, suministrando el agua con velocidad para satisfacer la demanda del cultivo. En ausencia de una fuente de agua, el contenido de humedad en la zona radicular del cultivo se reducirá y el agua remanente será retenida con mayor fuerza por el suelo, lo que hará más difícil su extracción y el cultivo comenzará a sufrir estrés.

Si el campo se encuentra dentro de un turnado posiblemente no se pueda ajustar o modificar mucho esta variable. En cambio, si el establecimiento posee agua de manera continua, se sugiere revisar la gestión del agua dentro del establecimiento para corregir la oportunidad del riego. En especial en los momentos más críticos del cultivo. En cebolla de ciclos largos, por ejemplo, si bien es sensible a la falta de agua durante todo su ciclo, merece especial atención el ajuste del intervalo de riego de diciembre a mediados de enero, periodo en el cual la evapotranspiración del cultivo y los requerimientos hídricos para el llenado del bulbo son altos.

La disponibilidad de agua total en el suelo por parte del cultivo dependerá del tipo de suelo y la profundidad radicular. La observación visual de la superficie del terreno no es suficiente para decidir si es necesario regar. Aunque los primeros centímetros estén secos puede haber humedad en la zona de raíces. Se sugiere el monitoreo de la humedad del suelo, principalmente en la

profundidad de suelo explorado por las raíces del cultivo. Por ejemplo, la cebolla en un estado de desarrollo avanzado, la profundidad efectiva de raíces alcanza los 40 a 50 cm. La profundidad alcanzada por las raíces del girasol o maíz será superior, alcanzando posiblemente el metro de profundidad y mayor aún en una pastura perenne o frutales.

Comúnmente se considera el desarrollo radicular en cada etapa de cultivo como profundidad objetivo a reponer en humedad mediante el riego.

Durante los primeros riegos en cultivos anuales, si bien el requerimiento del cultivo es bajo, es común mantener altos valores de humedad en el suelo que faciliten la germinación, la emergencia y el establecimiento de las plántulas.

3.2 Aforo o medición de caudales

El aforo es el procedimiento por el cual se mide el caudal de agua que pasa por un determinado lugar.

Conocer el caudal de ingreso en compuerta, de manejo en acequia y el aplicado en la parcela resulta de gran importancia para el diseño y manejo correcto de los sistemas de riego por superficie.

3.2.1 Aforo en compuerta de riego

El aforo de la compuerta de riego brinda información del caudal que está recibiendo el campo. Existen compuertas que trabajan libres y otras ahogadas o sumergidas (Figura 10a y 10b).

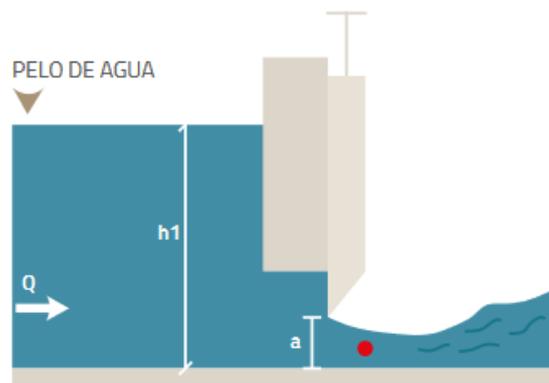


Figura 10a. Compuerta funcionando libre. Fuente: Prosap.

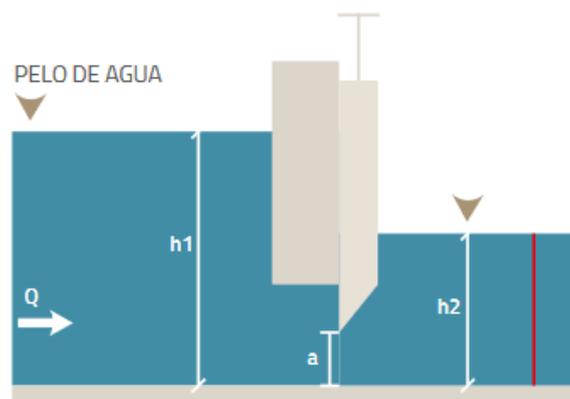


Figura 10b. Compuerta funcionando sumergida. Fuente: Prosap.

Para el aforo de compuertas, durante el ingreso del agua se debe tomar nota de las siguientes medidas:

- Ancho de la compuerta
- Apertura (a)
- Carga hidráulica

En compuertas funcionando libre la carga hidráulica se calcula como $h1 - (a/2)$ (Figura 10a) y para compuerta ahogadas o sumergidas como $h1 - h2$ (Figura 10b).

Para tomar en el campo las medidas se utiliza una cinta métrica. Es común utilizar también una herramienta de hierro que facilita la medición de apertura (a) desde el fondo de la compuerta. Esta herramienta se puede encargar a cualquier

herrero de la zona y tanto INTA como CORFO disponen del diseño (Figura 11a y 11b).

Una vez que se tiene esas tres medidas, el caudal se calcula de la siguiente manera:

$$Q = a \times b \times \sqrt{2 \times 9.81 \times h} \times 650$$

Dónde:

Q : caudal (litros/seg)

a : apertura de la compuerta (desde el fondo al borde inferior de la compuerta) (m)

b : ancho de la compuerta (m)

h : carga hidráulica o altura de nivel de agua (h)

En la ecuación de aforo de compuertas, “650” corresponde a un coeficiente de gasto y un ajuste de unidades, y “9.81” es la aceleración de la gravedad.



Figura 11a. Aforo de compuerta ahogada, Pedro Luro.



Figura 11b. Aforo de compuerta libre, Villalonga.

Ejemplo: aforo de compuerta de riego.

- Tipo de compuerta: sumergida (11a)
- Ancho: 0.75 m
- Apertura: 0.13 m
- $h1$: 0.60 m
- $h2$: 0.45 m

Entonces,

$$\text{Carga hidráulica } (h) = 0.60 - 0.45 = 0.15 \text{ m}$$

$$Q = 0.13 \times 0.75 \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.15} \times 650$$

$$Q \cong 109 \text{ litros/segundo}$$

Si la misma compuerta trabajara libre (11b) en vez de sumergida, la carga hidráulica se calcularía como:

$$\text{Carga hidráulica } (h) = 0.60 - \left(\frac{0.13}{2}\right) = 0.535$$

$$Q = 0.13 \times 0.75 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.535} \times 650$$

$$Q \cong 205 \text{ litros/segundo}$$

3.2.2 Aforo en acequia

El aforo en acequia permite conocer el agua que está llegando al lote, y estimar las pérdidas que tenemos dentro del campo.

Para calcular el caudal de agua que circula en una acequia, se puede utilizar el método del flotador o método de velocidad y sección mojada.

El método consiste en determinar la velocidad media del agua y la sección mojada que resulta del paso del agua.

Para calcular la velocidad se mide un trayecto de acequia de 10 m, dejando estacas que indiquen el inicio y fin del tramo. Se arroja un elemento que flote (como un corcho o trozo de madera) aguas arriba del tramo marcado y se mide con cronómetro el tiempo en segundos que demora en recorrer la distancia de 10 metros. Esto debe repetirse al menos tres veces para obtener un valor promedio (Figura 12).



Figura 12. Medición de la velocidad del agua en acequia mediante elemento flotante y cronómetro.

Los tres valores de tiempo deben ser promediados de la siguiente manera:

$$t \text{ (seg)} = \frac{(t1 + t2 + t3)}{3}$$

Luego, la velocidad se calcula según la ecuación:

$$V \left(\frac{m}{seg} \right) = \frac{10 \text{ metros}}{t \text{ (seg)}} \times K$$

Donde K, es un coeficiente que depende de las características de la pared: pared lisa 0,80; pared rugosa 0,75; pared con irregulares 0,70.

Existe también un instrumental específico para medir la velocidad con que circula el agua, llamados molinetes o mini molinetes (Figura 13).



Figura 13. Mini molinete para la medición de la velocidad de un curso de agua.

Para calcular la sección o área mojada, se procede a tomar el *ancho del cauce* (a) a la altura del nivel del agua en la tierra y la *profundidad* (y) al medio del cauce. Si el fondo es irregular, se procede a tomar las diferentes profundidades y se promedian.

Medido el ancho y la profundidad de la sección mojada del cauce, el área se calculará según la ecuación correspondiente a la forma que más se asemeje a la realidad (Figura 14).

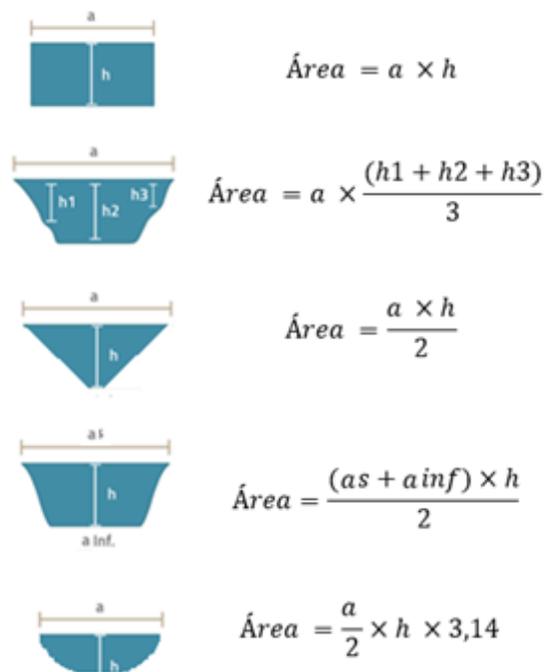


Figura 14. Ecuaciones para calcular el área mojada según la forma que tenga el cauce o acequia. Fuente: elaboración propia a partir de documento de Prosap.

Una vez que calculada la velocidad con que circula el agua en la acequia y la sección o área mojada, se multiplica ambos valores y se obtiene el caudal:

$$Q \left(\frac{\text{litros}}{\text{seg}} \right) = A \text{ (m}^2\text{)} \times V \left(\frac{\text{m}}{\text{seg}} \right) \times 1000$$

Dónde,

Q: caudal (litros/seg)

A: área o sección mojada (m²)

V: velocidad (m/seg)

En la ecuación “1000” corresponde a un ajuste de unidades.

Ejemplo: aforo en acequia de riego.

- Forma de la sección mojada:

$$\text{Área} = \frac{(as + a \text{ inf.}) \times h}{2}$$

- Medidas: *as*: 1 m; *a inf.*: 0.4 m; *h*: 0.45 m
- Condición de la pared: rugosa.

- Tiempo que tarda el elemento en recorrer un trayecto de 10 metros (tres repeticiones): t1: 32 seg; t2: 30 seg; t3: 31 seg.

Entonces, la sección o área mojada será:

$$A = \frac{(1 + 0.4) \times 0.45}{2}$$

$$A = \mathbf{0.315 \text{ m}^2}$$

El tiempo promedio:

$$t = \frac{(32 + 30 + 31)}{3}$$

$$t = \mathbf{31 \text{ seg}}$$

La velocidad:

$$V = \frac{10 \text{ metros}}{31 \text{ seg}} \times 0.75$$

$$V = \mathbf{0.242 \text{ m/seg}}$$

Por último, el caudal:

$$Q = 0.315 \text{ m}^2 \times 0.242 \text{ m/seg} \times 1000$$

$$Q \approx \mathbf{76 \text{ litros/seg}}$$

El caudal que circula por la acequia es de 76 litros/segundo.

3.2.3 Aforo de sifones y boquetes

Medir el caudal entregado a la parcela nos servirá de información para el manejo del riego y para conocer finalizado el riego el volumen o lámina de riego aplicada.

El caudal que erogue el sifón de riego dependerá de su diámetro interno y la carga hidráulica con que trabaje (Figura 15).



Figura 15. Riego con sifones de riego de PVC y 3 pulgadas de diámetro.

El diámetro interno del sifón se mide con cintra métrica o de preferencia un calibre. La carga hidráulica es la diferencia de altura entre el pelo de agua de la acequia y la boca de salida del sifón. Para medir la carga hidráulica se utiliza una manguera de nivel. Se sumerge uno de los extremos de la manguera en la acequia y se procede a cargarla ejerciendo succión con la boca desde el otro extremo. Cargada la manguera y saliendo agua desde su extremo, se coloca sobre la boca del sifón y se levanta en forma vertical. El agua en el interior de la manguera ascenderá hasta igualar el nivel de agua en la acequia. Midiendo esa distancia, desde la boca del sifón al pelo de agua en el interior de la manguera, sabremos la carga hidráulica con la que está funcionando (Figura 16).

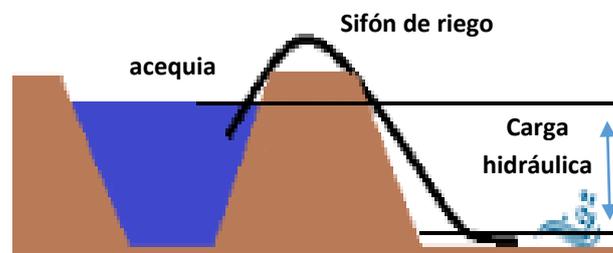


Figura 16. Esquema de un sifón en una acequia y su carga hidráulica. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, para asociar esos dos datos al caudal que entrega el sifón, el encargado de riego podrá emplear una tabla, en su formato físico, elaborada en el INTA Hilario Ascasubi junto a CORFO Río Colorado a partir de ensayos volumétricos realizados de los sifones de 1, 2 y 3 pulgadas que se utilizan en la zona (Figura 17). La tabla contiene los distintos caudales que entrega cada diámetro de sifón en función de la carga hidráulica. Esa misma tabla se puede utilizar de regla colocándola al costado de la manguera de nivel (figura 18). También se puede medir la carga con cinta métrica y luego ingresar a la tabla y ver qué caudal corresponde.



Figura 17. Tabla de aforo de los sifones utilizados en el valle bonaerense del río Colorado.

agua no detectado, la descarga de algún sifón, el agregado de más sifones, etc.

Aunque en la zona está ampliamente difundido el uso de sifones de riego, en ciertos casos puntuales se realiza un boquete sobre la acequia para entregar el agua a la parcela (figura 19). Es común su uso en aquellos casos en los que prácticamente no existe carga en la acequia de riego, por lo cual los sifones se descargan o entregan muy poca agua.



Figura 19. Uso de boquetes sobre la acequia de riego, cebolla regada en melgas, Hilario Ascasubi.



Figura 18. Aforo de sifones de riego de PVC de 3 pulgadas, mediante manguera de nivel y la tabla de aforo.

Sin embargo, el uso de boquetes no permite un buen control de los caudales de manejo. Por otro lado, demanda romper la acequia en varios puntos que luego suelen ser tapados con bolsas con tierra. Si el riego es por surco el caudal del boquete posiblemente se distribuya de manera desigual entre surcos.

Cuando toda el agua que circula por la acequia de riego se esté entregando por un solo boquete a la parcela, será suficiente con el aforo de la acequia para estimar el caudal que esté circulando por el boquete. De lo contrario, para su aforo se deberán utilizar aforadores.

Los aforadores son dispositivos de chapa o fibra de vidrio que sirven para determinar el caudal de una corriente de agua. Existen varios tipos,

aunque los más utilizados son los aforadores sin cuello y los de cresta ancha. Existen normas de instalación para su correcto funcionamiento, según el tipo de aforador.

3.3 ¿Surco o melga?

En el valle bonaerense del río Colorado se utiliza tanto el riego por surco como por inundación de melgas en diversos cultivos, entre ellos, cultivos hortícolas como la cebolla y otros como maíz, girasol, pasturas y cereales.

Estos métodos de riego comparten semejanzas, pero también algunas diferencias. La elección de uno u otro será función de la preferencia del agricultor y/u operario sobre el método de riego, sistema de plantación, del manejo del cultivo y enfermedades y demás aspectos agronómicos.

Si bien ambos métodos poseen un desempeño similar si son bien manejados, el riego por inundación en melgas permite aplicar mayores caudales unitarios si el establecimiento cuenta con buen caudal en compuerta y de manejo en acequia. Ya sea porque está dentro de un turno o porque posee una importante concesión de riego. Esto permite hacer riegos más ligeros con respecto al surco, en especial en los primeros estadios. Así, en cebolla se han registrado tiempos de aplicación en surco 3 veces mayores con respecto a melga. Lo inverso se ha registrado en los caudales unitarios empleados.

Esta ventaja del riego por inundación por melgas resultará en una mayor uniformidad entre cabecera y pie de la unidad de riego, en especial si los suelos son de texturas gruesas (arenosos).

A su vez, el riego por inundación moja rápidamente los primeros centímetros de suelo a la hora de iniciar un cultivo de semilla que se siembra en plano como la cebolla, siempre y cuando se manejen adecuados caudales unitarios.

Hay que observar que el caudal de manejo no genere erosión (Figura 20), en especial en suelos

arenosos, porque además se perderán las plantas en los primeros metros, en el caso de los cultivos que si inician de semilla y riegan en melgas.



Figura 20. Arrastre de partículas de suelo y pérdidas de plantas en los primeros metros de melgas de cebolla en suelos de textura arenosa franco, Hilario Ascasubi.

De todas formas, gran parte de los lotes en la zona están nivelados con muy poca pendiente o nivelados a cero, por lo que comúnmente no se alcanza un caudal erosivo.

Por su parte, el riego por surco es más versátil a la hora de manejar pequeños caudales de manejo. Es decir, si el campo tiene poca concesión de agua y recibe un bajo caudal en compuerta es posible manejar el frente de riego a través del número de surcos regados simultáneamente. Por tal motivo muchas veces es elegido en aquellos establecimientos con pequeña concesión de agua. Así, aun teniendo un bajo caudal de manejo en acequia éste puede ser repartido en surco con un adecuado caudal unitario. Por el contrario, un bajo caudal en acequia no puede ser aplicado con eficiencia en una o varias melgas simultáneamente.

Por otro lado, el riego por surco no expone a la planta al agua de manera directa al agua, ya que la línea de siembra estará sobre el bordo, donde no circula el agua. En ciertos casos la exposición

directa al agua por periodos prolongados predispone enfermedades.

Sin embargo, durante los primeros riegos se deja circular un bajo caudal de agua a través del surco para que el agua ascienda lentamente por capilaridad hasta el lomo del bordo, donde se encuentra la semilla o plántula (Figura 21). Esto significa un avance lento y una lámina final excesiva con alta percolación en cabecera.



Figura 21. Tercer riego por surcos en un cultivo de cebolla de días largos, Hilario Ascasubi.

Elegido uno y otro método, se recomienda siempre realizar riegos ligeros con pequeños tiempos de aplicación, lo que significará mayor agilidad en la operación del riego y manejo del agua, permitiendo aprovechar mejor un turno de riego o completar el riego de todos los cuadros del campo.

3.4 Técnicas para reducir el tiempo de avance y mejorar la uniformidad de riego

En ciertos casos el avance del agua es extremadamente lento, en especial durante los primeros riegos o luego de un aporque en surcos, ya que el agua debe avanzar sobre terrones y mayor rugosidad (Figura 22).



Figura 22. Cebolla en surcos luego de la fertilización y aporque, Hilario Ascasubi. Se destaca la rugosidad del surco.

En esos casos, aunque se use más sifones o se aumente el caudal unitario no se alcanza a obtener una mejora significativa en el avance del agua, con impacto en la uniformidad del riego (Figura 23).

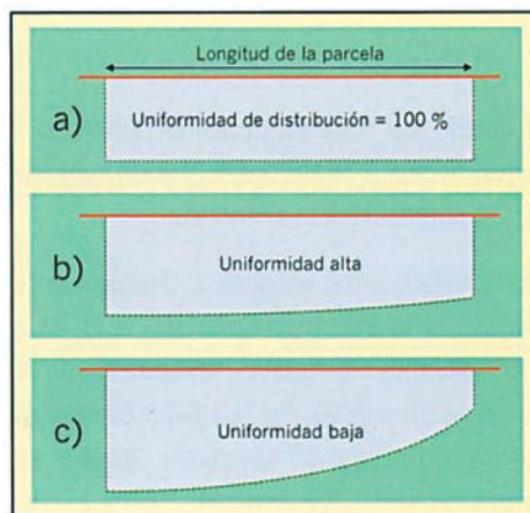


Figura 23. Uniformidad en la distribución del agua infiltrada a) situación ideal; b) alta uniformidad; e) baja uniformidad. Fuente: Fernández Gómez *et. al.*, (2010). Manual de riego para Agricultores: módulo 2.

En surcos, una posibilidad es arrastrar, con un tractor, un elemento pesado de metal o madera, o un tubo de PVC con cemento (bala le llaman) que vaya rompiendo los terrones grandes que

dificultan el avance del agua y compactando levemente el surco (Figura 24). De igual modo, se puede recorrer las líneas con el tractor. Además, la rotura de cascotes remanentes en el fondo de los surcos, mejora la uniformidad de avance del agua en los surcos, muchas veces despajeo (Figura 25).



Figura 24. Balas de cemento compactadoras de fondo de surco en cultivo de papa. Fuente: Roqué, C. *et. al.*, *s.f.*



Figura 25. Avance desigual del agua en surcos durante los primeros riegos de cebolla, Hilario Ascasubi.

Otra técnica para reducir el tiempo de avance y lámina aplicada, es el riego con dos caudales: uno mayor hasta que el agua avanza 2/3 de la longitud de la unidad de riego y otro menor para

completar el avance y la lámina de reposición. En surcos, por ejemplo, se puede iniciar el riego con dos sifones por surco y cuando el agua alcanza 2/3 de la longitud, se quita un sifón y con el restante se completa el riego (Figura 26). El éxito de esta práctica dependerá de las particularidades del caso, textura, longitud, pendiente, etc. Ensayos realizados en el INTA Hilario Ascasubi han demostrado buenos resultados de esta práctica en surcos de cebolla sobre suelos de textura media.



Figura 26. Riego con dos caudales de cebolla en surcos: dos sifones hasta alcanzar 2/3 de la longitud y luego se finaliza el riego con 1 sifón, Hilario Ascasubi.

Otra variante, es el riego por pulsos o caudal discontinuo. Esta técnica consiste en aplicar un caudal determinado de agua de manera intermitente a surcos o melgas, a través de una sucesión de entregas y cortes de agua llamados ciclos (Figura 27).

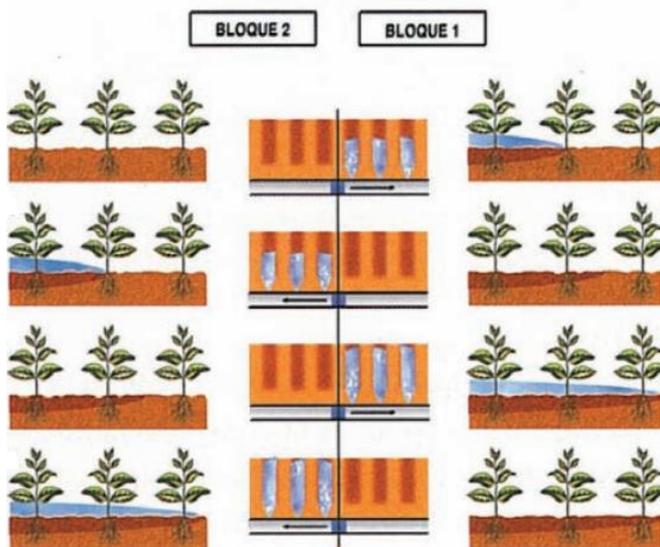


Figura 27. Representación esquemática de la secuencia de un riego por pulsos. Fernández Gómez et. al., 2010). Manual de riego para Agricultores: módulo 2. Riego por superficie. Consejería de Agricultura y Pesca. Servicio de Publicaciones y Divulgación, DL Sevilla.

Existen dos alternativas para establecer la secuencia de las pulsaciones: por tiempos o por distancias fijas, es decir, según distancias de avance del agua con cada pulsación, por ejemplo, a la cuarta parte, la mitad, tres cuartas partes y toda la longitud de la parcela.

Los pasos para aplicar los pulsos según tiempos fijos son:

- Se realiza el primer pulso, es decir se aplica agua por primera vez durante un tiempo determinado.
- Se suspende la aplicación y se espera hasta que toda el agua haya desaparecido de la superficie
- Comienza una nueva aplicación de agua, es decir, un nuevo pulso. El agua avanza en principio sobre el suelo mojado, continúa avanzando sobre el suelo seco y cierto tiempo después se vuelve a cortar el suministro.
- Se repiten los pulsos hasta que el agua alcanza el pie de la parcela, pudiendo

continuar o no la aplicación de agua según el criterio del agricultor.

Los tiempos de los ciclos varían desde pocos minutos a varias horas. Cada ciclo corresponde a la suma del tiempo con agua (pulso con agua) y tiempo de interrupción o descanso (pulso sin agua).

En la primera aplicación o pulso el agua avanza de la misma forma que en un riego convencional, mientras que en los pulsos siguientes el agua avanzará más rápidamente. Por esto, los tiempos de infiltración en los puntos de la parcela pueden ser más parecidos, y en consecuencia se puede lograr un desarrollo del cultivo más homogéneo y una mejora en la uniformidad de la lámina de agua infiltrada.

El riego por pulsos puede realizarse manualmente, aunque hace algunos años la fabricación de válvulas comerciales con computadoras programables automatizó este sistema.

De esta manera la distribución del agua se realiza a través de una válvula mariposa o "T" provista de una computadora, alimentada de un panel solar (Figura 28).



Figura 28. válvulas comerciales con computadoras programables. Fuente: Romay et. al. (2014).

Los pulsos se realizan con tiempos fijos usando el programador de la válvula, la operación de apertura y cierre es completamente automática y las alas regadoras están constituidas por mangas de polietileno con compuertas regulables derivadoras del agua, a veces con calcetines anti erosivos (Figura 29).



Figura 29. válvulas comerciales de riego por pulsos con alas regadoras de polietileno (mangas) con compuertas derivadoras y calcetines de polietileno Fuente: Roqué *et. al. s.f.*

Esta válvula contiene un algoritmo interno, el cual requiere únicamente el valor del tiempo que demora el frente de agua en llegar al pie de la parcela bajo condiciones de riego tradicional, determinado por experiencias pasadas. A partir de este dato, el controlador a través de su programación sugiere el número de pulsos y el tiempo de los mismos para completar la etapa de avance. Esta válvula está diseñada para estar ubicada entre dos largos frentes de riego o bloques con número igual de surcos o melgas. El ciclo de agua va de un lado al otro de la válvula y el tiempo del pulso con agua es igual al tiempo del pulso sin agua.

El riego por pulsos ha sido muy estudiado en el país y existen en el valle algunas experiencias con caudal discontinuo o pulsos realizados por el mismo operario del riego, con buenos resultados.

Sin embargo, no es una técnica que se encuentre en uso. Si bien la práctica del riego por pulsos es más compleja que la práctica del riego convencional por superficie, puede mejorar significativamente la eficiencia de riego. El INTA Hilario Ascasubi ha adquirido una válvula para riego por pulsos para generar información y poner a punto la técnica, por lo que a mediano plazo se tendrán resultados de esta práctica.

3.5 Tecnificación del riego por superficie: mangas y compuertas de riego

Otra alternativa para la aplicación del agua a la parcela, son las compuertas de riego de 40 o 50 mm de diámetro que se instalan fácilmente sobre las mangas de riego y permiten derivar el agua en reemplazo de los sifones (Figura 30 y 31). Estas compuertas permiten un buen manejo del caudal entregado, una distribución más uniforme del agua en la cabecera y una disminución de la mano de obra. La distancia entre ellas sobre la manga dependerá del ancho de las melgas o la distancia entre surcos.



Figura 30. Instalación de compuertas de riego sobre una manga de polietileno para el riego por surcos, Pedro Luro.



Figura 31. Riego de cultivo de zapallo por surcos con compuertas y mangas de riego, Pedro Luro.



Figura 33. Colocación de tambor plástico en un manga de riego de 12 pulgadas y 200 micrones, Pedro Luro.

Las conexiones a la fuente de agua o para derivación se realiza con tambores metálicos (Figura 32) o plásticos (Figura 33) a los que se les suelda tramos de tubos del diámetro necesario. Los tambores cumplen la función de derivadores y a su vez sirven para disminuir la presión en el interior de la manga cuando la pendiente es excesiva. La derivación puede ser en T o en codo y la unión entre mangas se puede realizar con cuplas del mismo diámetro. La fijación de la manga a la unión se realiza con flejes flexibles de caucho o cámara vieja (Figura 34).



Figura 34. fijación de la manga a una cupla plástica con un trozo de cámara vieja, Pedro Luro.



Figura 32. Tambor metálico para una derivación en T.EEA Valle Inferior de río Negro.

Las compuertas de riego que derivan el agua están construidas de tal forma que pueden ser reguladas. Las que se encuentran más próximas a la fuente de agua cuentan con mayor presión y entonces entregarán más agua que las que se ubican al final, por lo que es necesario regularlas para obtener un caudal uniforme en todas las aberturas. A su vez, como son regulables, permiten el manejo de dos caudales distintos, si es necesario o conveniente.

Las compuertas de riego tienen la ventaja en relación a los sifones, que no es necesario cebarlos sino simplemente abrir o cerrar cada compuerta. Además, el operario se evita el traslado de caños a lo largo de la acequia en cada cambio de agua. También se evitan posibles roturas de bordos en la acequia regadora. A veces las compuertas de derivación de agua a los surcos, se encuentran insertas en calcetines anti erosivos de manga de polietileno blanco, esto reduce el impacto del agua sobre el suelo y la erosión.

3.5 Prácticas no recomendadas en el riego por superficie o gravedad

- *Atender el riego y otras actividades de manera simultánea.*
- *Permitir que el agua desborde de la acequia o canal y fluya por caminos u otros sectores del campo.*
- *Cultivar bajo riego en lotes desparejos no nivelados, lotes excesivamente largos o lotes elevados con poca carga hidráulica.*
- *Distribuir el agua en muchos surcos o melgas a la vez.*
- *Excesivos tiempos de aplicación o corte.*
- *Utilizar sifones de pequeño diámetro.*
- *Riegos con avances lentos del agua sobre el suelo.*
- *Regar con bajos caudales unitarios.*
- *Embalsar el agua en exceso en el pie.*
- *Decidir el momento del riego solo con la observación visual de la superficie del suelo.*

4. Sistemas de riego presurizado: goteo y aspersión

Optar por sistemas de riego presurizados, como goteo o aspersión, es una buena alternativa para aprovechar el agua, ya que, si son bien diseñados y manejados, utilizan menor volumen de agua en relación a los sistemas convencionales por gravedad, permitiendo mantener o aumentar la

superficie bajo riego. También es una buena alternativa para poner en uso lotes que no se encuentran nivelados o están fuera de cota y además aumentar la superficie útil, ya que no necesitan la acequias y canales.

Los sistemas de riego presurizado también tienen la ventaja de poder automatizarse mediante programadores de riego y válvulas solenoides. Automatizar el equipo de riego significa un ahorro en la mano de obra y mejor control de la frecuencia y duración del riego, en especial cuando se cuenta con muchos sectores o son varios los operarios del sistema. A su vez, permite obtener datos sobre el desarrollo del riego, estadísticas o control sobre gastos de agua, electricidad o fertilizantes.

En el valle existen productores que ha adoptado tecnologías presurizadas de riego. En el caso del riego por goteo, se trata de productores hortícolas diversificados, en muchos casos con producción bajo cubierta y con reservorios de agua. Se utiliza tanto en cultivos a campo (Figura 35, 36, 37, 38 y 39) como bajo cubierta (Figura 41 y 42). Un número pequeño de productores capitalizados ha adoptado el goteo para el cultivo de cebolla, al igual que la aspersión fija (Figura 43). En cuanto a pivotes de riego, existen algunas pocas experiencias en la zona para el riego de cultivos extensivos, como maíz.



Figura 35. Riego por goteo de cultivos de hoja a campo, Pedro Luro.



Figura 36. Riego por goteo de tomate perita a campo con mulching plástico, Juan A Pradere.



Figura 37. Riego por goteo de repollo a campo, Pedro Luro.



Figura 38. Frutilla con riego por goteo y mulching plástico, Hilario Ascasubi.



Figura 39. Zapallo con riego por goteo y mulching plástico, Pedro Luro.



Figura 40. Tomate con riego por goteo y mulching plástico en invernadero, Pedro Luro.



Figura 41. Riego por goteo de lechuga en invernadero, Juan A. Pradere.



Figura 42. Riego por aspersión de cebolla tardía, Juan A. Pradere.

por goteo y de aspersión fija, con nuevos aspersores rotatorios de alto impacto disponibles en el mercado (Figura 43).



Figura 43. Primeros riegos por aspersión en zanahoria, Pedro Luro.

4.1 ¿Qué hay que considerar antes de iniciarse en un proyecto de riego presurizado?

Antes de iniciar un proyecto de riego presurizado, es importante considerar los siguientes puntos:

- ❖ *No existe una mejor tecnología de riego sino una tecnología que mejor se adapta a cada caso.* Ojo, los sistemas presurizados no siempre son la mejor alternativa. Se debe analizar con criterio qué tecnología de riego se adapta mejor a nuestro sistema de producción. Esto incluye aspectos técnicos, agronómicas, económicos, sociales, propiedad de la tierra, etc.
- ❖ *el riego no debe ser considerado un fin en sí mismo.* El riego debe ser enfocado como un factor de producción más dentro del conjunto, donde otros factores como la semilla, la nutrición, el manejo del cultivo, la cosecha y la comercialización, interaccionan entre sí. Si esta visión integral no se considera, otros factores pasan a ser el “cuello de botella” para el potencial productivo y las ventajas del riego quedan por debajo de lo esperado o ni siquiera se manifiestan.
- ❖ *Disponibilidad y propiedad de la tierra.* En ciertos casos la tenencia de la tierra es una condición para avanzar en un proyecto de riego

Actualmente el INTA Hilario Ascasubi lleva a cabo experiencias en campo de productores de riego

Manejo del agua y los sistemas de riego en el valle bonaerense del río Colorado. Recomendaciones en tiempos de crisis hídrica
| Julio 2020 | Cantidad de páginas: 63 | ISSN 0328-3380 Boletín de divulgación N° 32

presurizado, ya sea porque demanda de la construcción de un reservorio excavado o alguna obra que el propietario no quiere incluir en su establecimiento. En otros casos, si el productor arrienda años tras año en un campo distinto, el proyecto de riego debe adaptarse para poder ser instalado, desinstalado y trasladado cada campaña.

- ❖ *Los sistemas presurizados requieren energía.* A diferencia de los sistemas de riego por superficie, en los cuales el agua se mueve por el suelo a través de la gravedad, los equipos de riego por goteo o aspersión requieren energía. Por este motivo, es necesario considerar si el establecimiento cuenta con energía eléctrica, de preferencia con instalación trifásica, ya que existe un rango más amplio de bombas trifásicas para trabajar en el posterior diseño del proyecto de riego. Esto es una condición aún más excluyente si el proyecto de riego es por aspersión, ya que demandará de bombas de mayor caudal y presión. En caso de no disponer de energía eléctrica, podrá analizarse el uso de motobombas o generadores eléctricos (Figura 44).



Figura 44. Uso de generadores eléctricos para el riego con electrobombas centrífugas, Juan A. Pradere.

- ❖ *Costo de inversión y de la energía.* Los sistemas de riego tienen un costo de inversión y de operación que debe ser considerado y evaluado en conjunto con la actividad que se planea

realizar, el costo del milímetro aplicado, los milímetros de agua que demanda el o los cultivos durante su ciclo, si el riego será complementario o integral, el retorno económico, etc.

- ❖ *El establecimiento deberá contar con agua de manera permanente.* Tanto el riego por goteo como aspersión son riegos de alta frecuencia, a través de los cuales se aplica una lámina de reposición pequeña, en relación al riego por gravedad (Figura 45). Es muy importante considerar esto a la hora del manejo ya que el establecimiento deberá contar con agua de manera permanente, en especial durante los meses de verano.

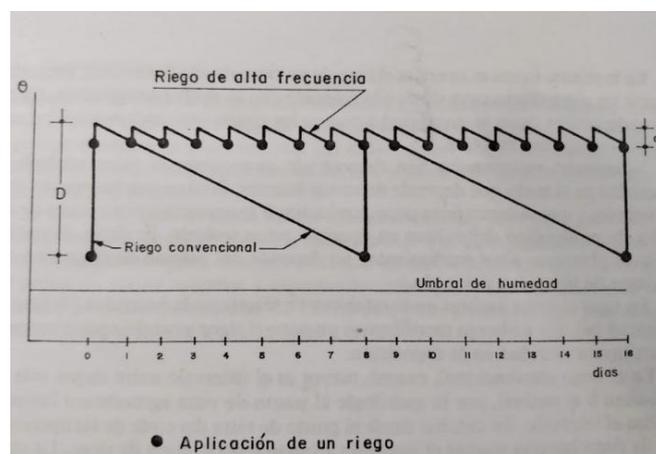


Figura 45. Variación de la humedad (θ) en un riego de alta de frecuencia (goteo) y en el riego convencional (por gravedad).

- ❖ *Cuando se compra y adquiere un equipo de riego por goteo o aspersión no se compra eficiencia de riego.* Los sistemas de riego presurizado pueden alcanzar valores muy altos de eficiencias de aplicación y uniformidad de riego ($\geq 90\%$), pero para lograrlo hace falta un buen diseño hidráulico (cálculo de pérdida de carga y requerimiento de presiones y caudales, diámetros de cañerías, características de la bomba, sectores de riego adecuados, etc.) un diseño agronómico (demanda de agua y particularidades del cultivo, porcentaje de suelo mojado y número de emisores por superficie, frecuencias de riego y láminas de reposición óptimas, tipo de suelo etc.)

y una correcta operación y mantenimiento (lavado de cintas, aplicación de ácidos, monitoreo de presiones y caudales etc.).

4.2 Fuente de agua

Como dijimos, los sistemas de riego presurizado demandan agua de manera permanente, en especial durante el verano.

4.2.1 Agua superficial: reservorios

Si el campo se encuentra dentro de un turno de riego, será necesario la construcción de un reservorio de agua.

Los reservorios de agua son pozos excavados revestidos para almacenar el agua necesaria entre turnos de riego y durante el receso invernal. Las medidas, el diseño, y el volumen que deberá almacenar el reservorio dependerá de las particularidades del caso. Es muy importante en su diseño considerar cuántos días entre turnados no ingresará agua el establecimiento y la demanda de los cultivos en ese periodo. Lo mismo para el receso invernal. Para su construcción se utilizan retroexcavadoras y para el revestimiento se recomienda utilizar geomembranas de, al menos, 500 micrones (Figura 46 y 47).



Figura 46. Reservorio de agua para riego por goteo, Pedro Luro.



Figura 47. Reservorio de agua para riego por goteo, Pedro Luro.

Si el campo cuenta con invernaderos o importantes superficies techadas, el reservorio servirá también de espacio para almacenar el agua de lluvia, aumentando la disponibilidad y mejorando la calidad final del agua de riego. A su vez, es una solución a los problemas de anegamiento y tránsito en el perímetro de los invernaderos debido a la descarga de agua de lluvia sobre el suelo (Figura 48). Si se construyen nuevos invernaderos en el campo, la pendiente de las canaletas debe ser en dirección al

reservorio, para facilitar la tarea de cosecha y almacenamiento del agua de lluvia (Figura 49).



Figura 48. Acumulación de agua de lluvia en el perímetro de los invernaderos, Hilario Ascasubi.



Figura 49. Canaletas y descarga de agua de lluvia en el interior del reservorio, Pedro Luro.

En la región se cuenta con experiencia en la construcción y uso de reservorios para riego presurizado. En la actualidad existen varias obras realizadas y en funcionamiento en el valle bonaerense del río Colorado. Para profundizar sobre el diseño y construcción de los reservorios excavados se puede consultar el siguiente manual:

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_reservorios.pdf.

4.2.2 Agua subterránea

Si se utiliza o utilizará agua subterránea de manera complementaria, porque aún no se dispone de un reservorio o las reservas de agua no alcanzaron, se debe tener en cuenta que la calidad del agua extraída y el rendimiento de la perforación dependerá del tipo de obra, el diámetro de la perforación y caño camisa, la ubicación dentro del campo, de la profundidad de extracción, las particularidades hidrogeológicas y de la calidad del trabajo realizado.

Si aún no existe una perforación en el campo, o existe, pero es de mala calidad o bajo caudal, como primera medida se recomienda realizar un estudio geoelectrico con un profesional capacitado (Figura 50).



Figura 50. Estudio geoelectrico en una chacra de Pedro Luro.

De esta manera se tendrá alguna referencia respecto a la profundidad a perforar para obtener un mayor caudal y mejor calidad de agua para riego, lo que resultará en un ahorro importante de dinero a la hora de perforar. De esta manera se reduce la probabilidad de realizar una perforación que luego no pueda ser utilizada, ya sea por bajo caudal o por su alto tenor salino. Ambas situaciones son comunes de encontrar en perforaciones realizadas al azar. Una vez realizado el estudio se sugiere contratar perforistas o poceros capacitados, que realicen un buen trabajo (diámetro correcto, con caño camisa, filtro de ranura, prefiltro de grava para evitar levantar arena con el agua, etc).

A modo de referencia en la zona bajo riego el agua de perforación utilizada para riego se toma entre los 6 y 8 metros mediante bombas centrífugas que funcionan fuera del agua. Es importante recordar que la distancia entre la bomba en la superficie y el pelo de agua de la perforación no debe ser mayor a 6 u 8 metros, por debajo de esa profundidad los rendimientos de la bomba serán muy bajos, siendo necesario recurrir a una bomba sumergible.

Es común en el valle encontrar cabezales de riego que poseen dos tomas de agua, una al reservorio o acequia y otra a una perforación (Figura 51 y 52).



Foto 51. Toma de agua de perforación con motobomba para riego por goteo, Mayor Buratovich.



Figura 52. Toma de agua de perforación y del río para riego por goteo en invernaderos, Hilario Ascasubi.

Si comparamos la salinidad del agua subterránea utilizada para riego con la salinidad del agua del río, vemos que prácticamente la duplica, con valores (en los mejores casos) entre 2 y 3 dS/m. Las perforaciones realizadas a más profundidad suelen ser más salinas y demandan del uso de bombas sumergibles. De todas formas, siempre se aconseja realizar un estudio geoelectrico y aprovechar al máximo la obra que se realizará.

Con respecto al caudal de la perforación, en la zona de riego del VBRC, las perforaciones no entregan grandes caudales de agua. Por ese motivo, si lo que se busca es mayor caudal se recomienda realizar varias perforaciones.

Debido a la calidad del agua y a la limitante de caudal, su uso para riego se debe efectuar con ciertos recaudos. El uso intensivo de agua con alto contenido salino en la producción bajo

cubierta (invernaderos) provoca, al cabo de algunos años, acumulación de sales en el suelo, produciendo una degradación de las propiedades físicas y químicas de la misma. Esta degradación trae como consecuencia mermas en el rendimiento y hasta la pérdida de plantas. Una vez ocurrida la salinización, los suelos pueden ser tratados con yeso agrícola y lavados, pero la remediación es un proceso lento y difícil.

Por otro lado, el bajo caudal de las perforaciones, lleva a tener que dividir la superficie bajo riego en muchos sectores. Así, el operario deberá abrir y cerrar sectores durante gran parte del día, restando tiempo a otras actividades. En el mismo sentido, la bomba estará encendida varias horas al día. En un caso extremo, el número de sectores puede llegar a ser superior a las horas del día, de modo de no alcanzar a regar toda la superficie cultivada. Sobre todo, en la época de máxima demanda

También se ha observado perforaciones que levantan arena con el agua, colapsando rápidamente el sistema de filtrado con anillas. En esos casos será necesario un filtro hidrociclón. Posiblemente el problema de la arena en el agua se pueda evitar al momento de realizar la perforación, colocándoles un filtro de ranura continua y prefiltro de grava.

Las particularidades mencionadas sobre el agua subterránea no impiden su uso para riego, sin embargo, deben ser consideradas para adecuar el manejo y evitar inconvenientes, tanto en el recurso suelo como durante la operación del equipo.

4.3 Recomendaciones de diseño

Para un buen desempeño de los sistemas de riego presurizado es esencial partir de un correcto diseño agronómico e hidráulico, del cabezal de riego, filtrado y red de distribución.

4.3.1 Diseño agronómico

El diseño agronómico es el componente fundamental en todo proyecto de riego. De nada sirve un correcto diseño hidráulico si se parte de un diseño agronómico equivocado, se saliniza el suelo o el volumen de suelo humedecido es insuficiente porque se ha colocado un número de emisores menor al indicado. Por otro lado, es la parte más compleja porque interviene la biología en el diseño. Por eso es una fase de trabajo en la que hay que extremar el sentido común y la observación de la realidad.

El diseño agronómico consta de dos fases: a) cálculo de las necesidades de agua b) determinación de la dosis, frecuencia, tiempo de riego, número de emisores por planta y caudal del emisor.

En cuanto a la fase a) se aconseja tener en cuenta algunos puntos:

- La demanda de agua del cultivo y su variación durante el ciclo se puede estimar a partir de la evapotranspiración de referencia. Esta es obtenida a partir de ecuaciones que integran datos que provienen de estaciones meteorológicas o a partir un tanque evaporímetro “tipo A”. El tanque “A” permite medir diariamente la evaporación de la superficie libre de agua e indirectamente la evapotranspiración de referencia mediante un coeficiente de tanque o K_p . Obtenido ese valor de referencia se puede estimar la demanda del cultivo mediante el K_c o coeficiente de cultivo. FAO en su publicación 56 detalla la metodología para la estimación del K_c durante el ciclo del cultivo. Toda esta información se puede consultar en el INTA Hilario Ascasubi.

Para el diseño agronómico del equipo se debe utilizar La evapotranspiración o demanda de agua diaria máxima de referencia, que en la zona ocurre entre finales de diciembre y enero. Según datos obtenidos de la estación meteorológica

Hilario Ascasubi del INTA, la evapotranspiración de referencia máxima es de aproximadamente 7 mm/día. Ese valor hay que ajustarlo por el coeficiente máximo de cultivo, por el requerimiento de lavado y la eficiencia del equipo. Las precipitaciones no se consideran en este diseño.

La lámina máxima de agua diaria que será necesaria aplicar mediante riego, se podrá calcular de la siguiente manera:

$$Nt \text{ (mm/día)} = \frac{ET_{omax} \times Kc \text{ máx}}{(1 - LR) \text{ ó } \left(\frac{EAP}{100}\right)}$$

Siendo $Nt \text{ (mm/día)}$ las necesidades máximas diarias de riego, ET_{omax} la evapotranspiración máxima de referencia y $Kc \text{ máx}$ el coeficiente máximo de cultivo. Por su parte, EAP es la eficiencia de aplicación del sistema de riego, que a efectos de diseño se puede utilizar los siguientes valores de referencia: aspersión 75%, goteo 85 - 90% y gravedad 50% y LR corresponde al requerimiento de lavado (lámina de agua extra que se agrega a las necesidades netas para mantener la salinidad del suelo a un nivel no perjudicial u objetivo).

En la ecuación se elijará como denominador el menor de ambos factores, $(1 - LR)$ ó EAP .

LR se puede calcular de manera simplificada y para el riego por goteo, cómo:

$$LR = \frac{CEi}{2 \times CEe}$$

Dónde, CEi es la conductividad eléctrica del agua de riego y CEe es la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo, valor que se

impone como objetivo a conseguir con el lavado y depende del cultivo a implantar.

Por ejemplo:

- Evapotranspiración máxima de referencia (dic – ene): 7 mm/día
- Cultivo: cebolla
- Kc máximo: 1,15
- $CEi = 1.3 \text{ dS/m}$
- $CEe \text{ objetivo} = 2 \text{ dS/m}$
- Sistema de riego: goteo (cintas)
- EAP: 85%

Entonces, LR se calcula cómo:

$$LR = \frac{1,3}{2 \times 2} \approx 0.3$$

$$(1 - LR) = 0.7$$

$$\frac{EAP}{100} = 0,85$$

Como $0,7 < 0,85$, se usará $(1 - LR)$ en la ecuación de las necesidades máximas diarias de riego.

$$Nt \text{ (mm/día)} = \frac{ET_{\text{max}} \times Kc \text{ máx}}{(1 - LR)}$$

$$Nt = \frac{7 \text{ mm/día} \times 1,15}{(1 - 0,3)}$$

$$Nt = \frac{8,05 \text{ mm/día}}{0,7} \cong 12 \text{ mm/día}$$

En cuanto a la fase b) se aconseja tener en cuenta los siguientes puntos:

- El riego localizado provoca un pequeño charco en forma de disco llamado bulbo húmedo, cuyo radio se va extendiendo durante el riego (Figura 53 y 54).

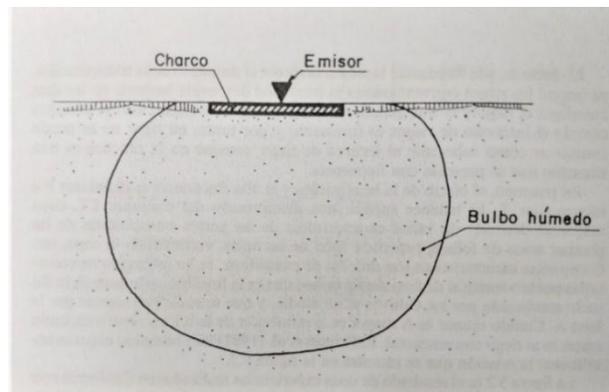


Figura 53. Bulbo húmedo.



Figura 54. Desarrollo del bulbo húmedo en cintas de riego con emisores integrados cada 20 cm, en un suelo Franco Arenoso, Hilario Ascasubi.

El desarrollo horizontal y vertical del bulbo húmedo será función de las particularidades del suelo (textura principalmente) y del caudal del emisor. Tendrá más desarrollo horizontal en texturas más finas con menor tasa de infiltración (franco arcilloso, por ejemplo) que en suelo de textura más gruesa (franco arenoso, por ejemplo), como lo indica la Figura 55. Por otro lado, en la medida que el caudal del emisor sea

mayor y a medida que aumenta el tiempo de riego, más alcance horizontal tendrá. Sin embargo, la extensión horizontal del bulbo no se puede aumentar indefinidamente incrementando el caudal del emisor o el tiempo de riego, por cual es necesario aumentar el número de emisores por superficie regada. Para ello, en los equipos de goteo es importante analizar el distanciamiento entre goteros o emisores en cintas de riego y el número de cintas por bordo o tablón que se colocarán.

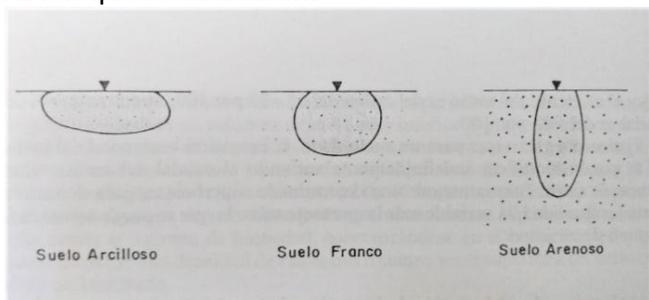


Figura 55. Efecto de la textura en la forma del bulbo húmedo.

Con respecto a la distancia entre goteros y el caudal, se sugiere poner goteros o emisores más juntos y de menor caudal si el sistema radicular es superficial, como sucede en los cultivos hortícolas. A medida que el sistema radicular sea más profundo se podrán utilizar goteros de mayor caudal y a mayor distancia.

Las cintas de riego que se utilizan en horticultura, poseen emisores integrados que por lo general erogan un caudal de 1 litro/hora. En cultivos hortícolas de alta densidad de siembra (cebolla, por ejemplo) se busca con el riego por goteo alcanzar el solapamiento de los bulbos, formando una franja húmeda. Así, se evita que muchas de las plantas se encuentren en zonas de mayor salinidad o menor humedad.

Si bien existen referencias de diámetro mojado en función del caudal y la textura de suelo (Tabla 2) Se recomienda realizar pruebas a campo antes de definir el número de emisores por superficie y por supuesto, observar una vez instalado el equipo el tipo de bulbo que se forma con el riego

(Figura 56). Por ejemplo, experiencias realizadas en INTA para tablones de cebolla de 1,20 metros y para suelos franco arenosos, indican que para alcanzar una franja húmeda es conveniente 3 cintas de riego por platabanda de 1,20 y 12 hileras, con goteros cada 20 cm de 1 l/h.

Tabla 2. Diámetro mojado para goteros de diferente caudal y textura de suelo (Keller & Karmelli, 1975).

Caudal (l/h)	Diámetro de mojado (m)		
	Textura arenosa	Textura media	Textura arcillosa
<1,5	0,2	0,5	0,9
2	0,3	0,7	1
4	0,6	1	1,3
8	1	1,3	1,7
12	1,3	1,6	2



Figura 56. Observación a campo del bulbo húmedo luego del riego por goteo en invernadero, Juan A. Pradere.

- Precipitación o pluviometría del equipo. Hay que recordar que, al definir o modificar el número de emisores por superficie para modificar el porcentaje de suelo mojado también se modifica el diseño hidráulico, el trabajo del equipo y su pluviometría o precipitación.

Es común observar en la producción bajo cubierta el uso de cintas por bordo con goteros cada 10 cm. En especial en el cultivo de hoja y para que, si se tapara algún gotero, la planta siga recibiendo agua del gotero más cercano. En aquellos casos en los que además se utilice dos cintas por bordo, como puede ser en tomate, el equipo estará entregando cuatro veces más de agua que un diseño más conservador de una sola cinta por bordo con goteros cada 20 cm, debiendo variar el tiempo de riego para no aplicar agua en exceso.

Ejemplo:

- Cultivo: tomate
- Bordos de 0,80 con 2 cintas de riego con goteros cada 20 cm.
- Caudal del gotero: 1 litro/hora

Entonces, según el diseño realizado, en 1 metro de bordo habrá 10 goteros, que durante una hora de riego habrán aplicado 10 litros de agua en dicha superficie. Como la "lámina de agua" equivale a "litros/m²" tendremos:

$$\text{Pluviometría (mm/h)} = \frac{10 \text{ litros/hora}}{0.8m \times 1m}$$

$$\text{Pluviometría} = 12,5 \text{ mm/hora}$$

Entonces nuestro diseño estará entregando 12,5 mm/hora y habrá que ajustar el tiempo de riego (*Tr*) en función de las necesidades de riego en cada etapa de cultivo. Por ejemplo, si la necesidad de riego diaria (*Nt*) en diciembre, en el cultivo de tomate (calculadas como se hizo para el cultivo de cebolla en el ejemplo anterior) fuesen 10 mm/día, el tiempo de riego se calcularía como:

$$\text{Tr (horas)} = \frac{Nt}{\text{Pluviometría}}$$

$$\text{Tr (horas)} = \frac{10 \text{ mm/día}}{12,5 \text{ mm/día}} = 0,8 \text{ horas}$$

Si transformamos el tiempo de riego (*Tr*) en minutos, tendremos:

$$0,88 \text{ horas} \times 60 \text{ min} \cong 48 \text{ minutos}$$

Entonces, bajo el diseño planteado el tiempo de riego en diciembre para el cultivo de tomate del ejemplo planteado deberá ser de 48 minutos diarios, que será entregado en función del intervalo de riego establecido.

Sin embargo, si en el diseño se colocara 1 cinta de riego en vez de dos, el número de goteros por metro lineal sería 5 y la pluviometría del equipo se reduciría también a la mitad, debiendo aumentar el doble el tiempo de riego:

- Cultivo: tomate
- Bordos de 0,80 con 1 cintas de riego con goteros cada 20 cm
- Caudal del gotero: 1 litro/hora

$$\text{Pluviometría (mm/h)} = \frac{5 \text{ litros/hora}}{0.8m \times 1m}$$

$$\text{Pluviometría} = 6,25 \text{ mm/hora}$$

$$\text{Tr (horas)} = \frac{10 \text{ mm}}{6,25} = 1,6 \text{ horas}$$

$$1,6 \text{ horas} \times 60 \text{ min} \approx 96 \text{ minutos}$$

En otros casos lo que se modifica es la distancia entre goteros, por ejemplo:

- Cultivo: tomate
- Bordos de 0,80 con 1 cintas de riego con goteros cada 10 cm.
- Caudal del gotero: 1 litro/hora

Entonces, si bien en el diseño se ha colocado una sola cinta de riego, la distancia entre goteros es de 10 cm, por lo cual nuevamente tendremos 10 goteros por metro lineal, la pluviometría del equipo será de 12,5 mm/hora y el tiempo de riego de 48 minutos.

- El intervalo entre riegos en los sistemas de riego presurizado y contando con una fuente de agua permanente, se establece a voluntad, y su elección será función del cultivo, su etapa de desarrollo, del suelo y de la calidad del agua.

En suelos marginales, pocos profundos o con baja capacidad de retener agua (como los de textura arenosa) el riego deberá ser más frecuente. Por el contrario, los suelos pesados o finos (francos arcillosos, por ejemplo) con buena capacidad de almacenamiento de agua pueden soportar intervalos mayores de riego, aunque si la dosis aplicada es muy elevada podrán presentarse problemas de falta de aireación (dependiendo de la sensibilidad del cultivo), debiendo aplicarse en esos casos menores dosis y más frecuentes.

También es importante considerar la textura del suelo cuando se esté diseñando un equipo de riego por aspersión. Los suelos de textura más fina (denominados suelos pesados, arcillosos) tienen muy bajas tasas de infiltración. Si la pluviometría del equipo supera la tasa de infiltración del suelo, el agua escurrirá o se encharcará sobre en el lote, pudiendo generar también erosión.

Cuanto mayor sea la evapotranspiración del cultivo y peor sea la calidad del agua (agua de perforación en la zona bajo riego, por ejemplo) menor deberá ser el intervalo entre riego.

En cultivos con raíces más superficiales se deberá aplicar láminas más chicas en intervalos más cortos, con respecto a cultivos de raíces profundas.

- Sectorización. A la hora de definir los sectores de riego se debe considerar el tiempo de riego máximo en la época más demanda, para poder regar todos los sectores en un día. Además, el equipo de riego no puede estar 24 hs funcionando, ya que hay que contemplar las operaciones de mantenimiento y reparaciones.

Por ejemplo,

- *Pluviometría = 12,5 mm/hora*
- *Nt = 10 mm/día*
- *Tr = 96 min*
- *Nº sectores: 8*

$$Tr\ total = N^\circ\ de\ sectores \times Tr$$

$$Tr\ total = 8 \times 96\ min$$

$$Tr\ total = 768\ min \approx 12,8\ horas$$

Si ya se dispone de una bomba los sectores de riego se definirán en función de las prestaciones de caudal y presión de la misma y del resto de diseño del equipo, siempre y cuando la bomba sea funcional al proyecto. En ciertos casos el número de sectores máximo que se desea manejar con el riego se establece por cuestiones prácticas de mano de obra o por particularidades de los lotes dentro del establecimiento. Los sectores de riego deben ser lo más homogéneo posible en cuanto a tamaño y propiedades del suelo, por ejemplo.

4.3.2 Diseño hidráulico

- *Selección de diámetros de cañería*

Los criterios para definir el diámetro de la cañería pueden ser varios y se detallan a continuación:

✓ Velocidades mínimas y máximas

La velocidad máxima pretende contribuir a evitar los fenómenos de golpe de ariete (suba abrupta en la carga del sistema debido a la interrupción del flujo de forma repentina) y cavitación (formación e implosión de burbujas de vapor), mientras que la velocidad mínima se establece para impedir la deposición en la tubería o manguera de cualquier tipo de partícula o impureza que pudiera ser acarreada por el agua. Existen varias velocidades mínimas y máximas en la bibliografía. A modo de referencia para el diseño, como velocidad mínima se puede considerar 0,5 m/s y como máxima 1,5 m/s.

Para el cálculo de la velocidad en cañerías se considera el diámetro interno, que además dependerá de la "clase" o resistencia a la presión, ya que un número mayor de clase significará un mayor espesor de pared. Existen tablas de los fabricantes que indican el diámetro interno según el diámetro externo y la clase.

Ejemplo de cálculo de velocidad:

- Cañería: PVC 63 mm, clase 4
- Diámetro interno: 60,4 mm
- Caudal de diseño: 14000 l/h

Entonces, la velocidad se calculará cómo:

$$V \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{\text{caudal} \left(\frac{m^3}{\text{hora}} \right)}{(\text{diámetro} (mm))^2} \times 354$$

$$V \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{14 \frac{m^3}{\text{hora}}}{60.4 \text{ mm} \times 60.4 \text{ mm}} \times 354$$

$$V \approx 1,36 \frac{m}{s}$$

En la ecuación anterior de cálculo de velocidad de circulación del agua en la cañería, "354" integra el ajuste de unidades, la conversión de diámetro de cañería a sección o área y la constante matemática Pi (Π).

✓ Pérdida de carga o presión, diámetro de cañería y costo.

Para un mismo caudal, un diámetro mayor de cañería reducirá la velocidad del fluido, la fricción y la pérdida de carga o presión. Existen tablas que indican para distintos caudales y diámetros de cañerías la pérdida de carga en *mca* cada 100 de longitud. A su vez, los diferentes materiales tendrán también diferentes rugosidades y diferentes pérdidas de presión por unidad de longitud.

Sin embargo, el costo de la cañería aumenta con su diámetro, por lo que, en muchos casos es una variable que se considera además de la pérdida de carga y la velocidad máxima, siempre y cuando no se supere la velocidad máxima y se ajuste el tipo de bomba a las pérdidas de carga.

Respetando el valor máximo de diseño de velocidad (1,5 m/s) en la cañería, las pérdidas de carga según el diámetro seleccionado serán razonables para un correcto diseño.

➤ Presión y pérdida de carga

Por muy lisas que puedan parecer las paredes de cualquier tubo o manguera, siempre existe una rugosidad que va provocar fricción y, por lo tanto, pérdidas de energía.

A esa pérdida de presión por fricción o rozamiento en la conducción se la llama "pérdidas de carga continuas (*hf*)" y se expresan

como *mca* cada 100 metros de longitud de tubería. Lógicamente, en una tubería más larga se acumularán más pérdidas por rozamiento.

Por otro lado, a lo largo de una conducción es necesario instalar también uniones, curvas, codos, llaves, válvulas, reducciones, derivaciones, filtros, llaves, etc. Estas piezas (denominados en su conjunto singularidades) ocasionan cambios bruscos en la velocidad y la dirección del agua y turbulencias que provocan pérdidas de energía adicionales a las causadas por el rozamiento.

La pérdida de presión que provocan por turbulencia las “singularidades”, se la denomina “pérdidas de carga accidentales o localizadas (*hs*)”. Estas últimas suele ser muy inferiores a las primeras y suelen despreciarse cuando la distancia entre dos puntos singulares es mayor a 1000 veces su diámetro. Por ejemplo, para una tubería de 50 mm, se descartaría la pérdida de carga de dos singularidades que se encuentran a más de 50 metros. La suma de ambas constituye las pérdidas de carga totales (*ht*).

➤ *Presión requerida en la bomba*

Como ya vimos, la presión con que la bomba impulsará el agua se irá perdiendo en la medida que el agua avance por el cabezal de riego y se dirija por la conducción hacia los emisores de riego o aspersores.

Para determinar la presión con que deberá impulsar el agua la bomba, en función de las particularidades del diseño se deberá sumar las pérdidas de carga por conducción o continuas (*hf*) y la que generan las singularidades o accesorios (*hs*) para el sector de riego más alejado.

Se deberá sumar a esa pérdida de carga total (*ht*) la presión de trabajo o servicio (*pt*) de los emisores o aspersores. En el caso de las cintas de riego o mangueras de pared delgada será menor a 10 *mca* o 1 kg/cm^2 y en el caso de los aspersores

de riego las presiones de funcionamiento serán mayores, al menos de 20 *mca* o 2 kg/cm^2 .

Las cintas de riego o mangueras de pared delgada (150 o 200 micrones) con emisores integrados entregan un caudal nominal (el que informa el fabricante) a 10 *mca* o 1 kg/cm^2 de presión. En la práctica, para extender la vida útil de la cinta se sugiere trabajar por debajo de dicha presión, por ejemplo, a 0,5 kg/cm^2 . En consecuencia, el caudal que entregarán los emisores será menor que informado por el fabricante (o nominal). Por tal motivo, es necesario solicitar la curva caudal presión de los goteros o emisores al proveedor y trabajar en el diseño con el caudal real a dicha presión (por ejemplo, 0,7 litros/hora en vez de 1 litro/hora).

Así, llegaremos a la presión con que debe impulsar la bomba el agua. Para esto se utilizan tablas de referencias que tienen en cuenta el caudal, diámetro y material de conducción y las distintas piezas del sistema. La presión se suele indicar en *mca* (metros de columna de agua) siendo 10 *mca* equivalente a 1 kg/cm^2 .

Las pérdidas de presión serán tanto en la aspiración como en la impulsión. Las pérdidas por aspiración serán de mayor importancia cuando se esté elevando agua desde una perforación.

A modo de ejemplo:

- Sistema de riego: goteo
- Caudal de diseño: 18000 litros/hora
- Distancia hasta el sector más lejano: 150 metros
- Cañería de PVC. Diámetro: 63 mm.
- Aspiración: 3 m de profundidad
- Accesorios: 3 curvas, 1 llave exclusiva y 1 filtro de anillas.

Si buscamos en las tablas de referencias para pérdidas de carga, que pueden encontrarse en la

web o manuales de riego, una cañería de 63 mm que conduce 18000 litros/hora pierde 5,9 mca cada 100 m.

Entonces,

$$\text{pérdidas de carga (hf)} = 5,9 \text{ mca} \times \frac{150}{100}$$

$$\text{pérdidas de carga (hf)} = 8,8 \text{ mca}$$

Luego buscamos las singularidades en las tablas de referencia y encontramos que:

Pérdidas de carga por unidad:

- curvas: 0,70 mca
- Válvula exclusiva: 0,18 mca
- Filtro de anillas: 1.5 mca

$$hs = 0,7 \times 3 + 0,18 + 1.5$$

$$\text{pérdidas singulares (hs)} = 3,78 \text{ mca}$$

$$\text{pérdidas totales (ht)} = 8,8 \text{ mca} + 3,78 \text{ mca}$$

Por último, se contempló la pérdida de carga en aspiración (ha)

$$ha = 3 \text{ mca (elevación)} + 1,93 \text{ mca (hf)}$$

$$ha = 4,93 \text{ mca}$$

$$\text{Presión requerida} = hf + hs + ha + pt$$

$$\text{Presión de trabajo cinta (pt)} = 8 \text{ mca}$$

$$\text{Pres. requerida} = 4,93 + 8,8 + 3,78 + 8$$

$$\text{Pres. requerida} = 25,6 \text{ mca} + 15\%*$$

*se suma un 15% como seguridad.

$$\text{Presión requerida en bomba} \approx 29,4 \text{ mca}$$

En el ejemplo anterior será necesaria una bomba que entregue un caudal de 1800 litros/hora a una presión de 29,6 mca.

➤ Elección de la bomba

Cuando se habla de bombas es común escuchar diámetro de entrada y salida y/o los HP de potencia. Sin embargo, para elegir una bomba que sea de utilidad en nuestro diseño, hay que comenzar por analizar la tabla de rendimiento o curva de caudal y presión propia de la bomba, que es confeccionada por el fabricante. Esto se detalla en su manual o bien en catálogos en la web. También se puede tomar de referencia los valores máximos y mínimos de estas dos variables que comúnmente se detallan en la chapa que generalmente trae el cuerpo de la bomba.

Todas las bombas tienen valores máxima y mínima de presión (o altura) y caudal de trabajo. Ambos datos son inversamente proporcionales, esto quiere decir que cuando hagamos trabajar a la bomba en su presión máxima, va a entregar el mínimo caudal. Lo contrario sucede si la hacemos trabajar a la altura o presión mínima, la bomba va a entregar el máximo caudal. Entre ambos puntos se forma la curva de rendimiento. Todas las bombas deben trabajar dentro de esta curva de rendimiento o dentro de este rango de caudales y presiones. Y la presión y caudal que requiere nuestro proyecto debe encontrarse en un punto medio de la curva caudal y presión característica de la bomba que estemos eligiendo.

En la Figura 57 podemos ver la información que trae una bomba centrífuga monofásica en su cuerpo. Allí vemos que la bomba del ejemplo trabaja un rango de 1,5 a 13 m³/hora y de 31 a 10 mca de presión.

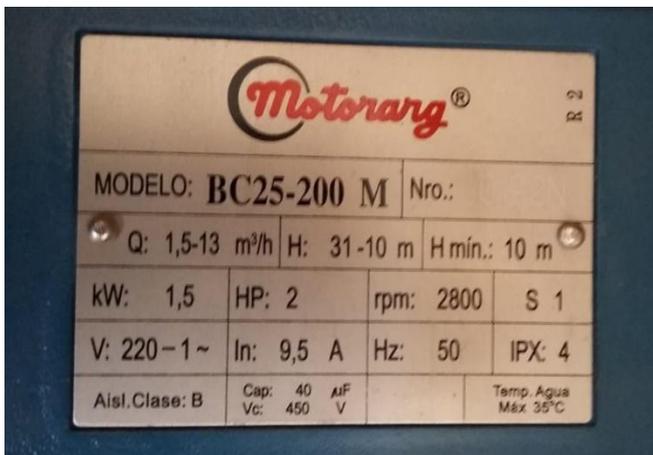


Figura 57. Detalle en el cuerpo de la bomba del caudal y presión (*mca*) mínimos y máximos de una bomba centrífuga.

Es decir, la bomba del ejemplo será capaz de entregar en sus extremos 1500 litros/hora a 31 *mca* o 13000 litros/hora a 10 *mca*.

Si comparamos la prestación de la bomba con el caudal de diseño y presión de diseño del ejemplo del punto anterior, el cual necesitaba entregar 18000 litros/hora a 29,4 *mca* de altura o de presión, esta bomba alcanzará esos valores de presión, pero será capaz de entregar un caudal muy por debajo del caudal de diseño o de operación. Posiblemente no encontremos en el mercado una bomba monofásica con esas prestaciones (en general con energía eléctrica monofásica no podremos manejar más de 10000 litros/hora).

Veamos las prestaciones de la bomba de la Figura 58. Se trata de una bomba centrífuga trifásica que trabaja un rango de 300 litros/min a 32 m³/hora y de 1100 litros/min a 21 *mca* de presión. Es decir, será capaz de entregar en sus extremos de trabajo 18000 litros/hora a 32 *mca* y 66000 litros/hora a 22 *mca*.

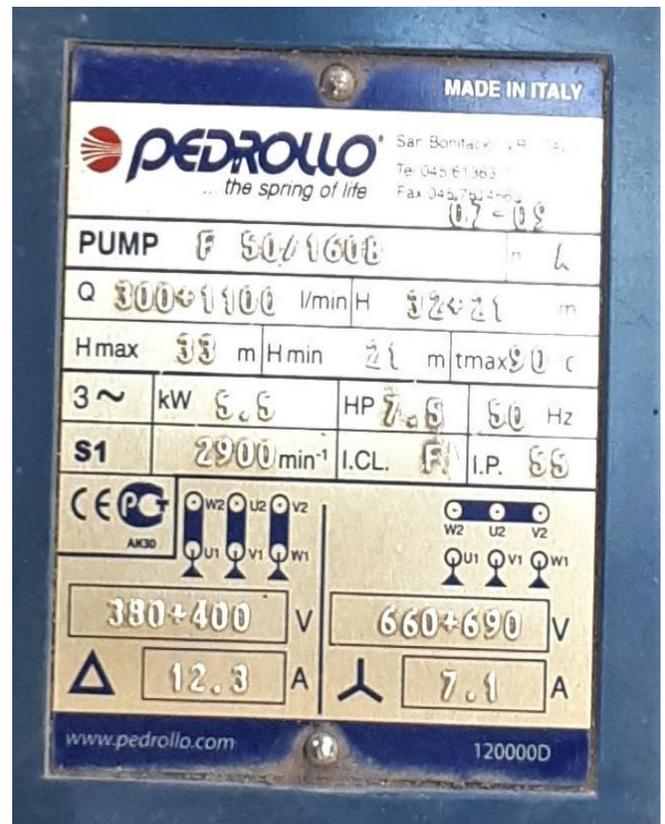


Figura 58. Detalle en el cuerpo de la bomba del caudal y presión (*mca*) mínimos y máximos de una bomba centrífuga trifásica utilizada en un cabezal de riego por goteo, Pedro Luro.

Se trata de una bomba con un rango de caudal mayor. En este caso la bomba será capaz de entregar 18000 litros/hora a la presión requerida del ejemplo anterior o incluso mayor, pero estará trabajando en un extremo de su curva de rendimiento. Será una bomba sobredimensionada en caudal y el punto de operación o trabajo real posiblemente no coincida con el punto de máxima eficiencia hidráulica. A la hora de definir la bomba, será necesario buscar por catálogo una bomba que mejor se adecue a nuestro caudal y presión de diseño (Figura 59).

MODELO	POTENCIA	Caudal Q													
		kW		HP		0	6	9	12	15	18	24	30	36	42
Fm 40/160C	F 40/160C	2.2	3			27	27	26.5	26	25.5	25	22.5	19	14	
	F 40/160B	3	4	H metros		32	32	31.5	31	30.5	30	27.5	24	20	
	F 40/160A	4	5.5			38	38	37.8	37	36.5	36	33.5	30	26	20

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grade 3.

Q	m ³ /h							
	0	6	9	12	15	18	24	30
	0	100	150	200	250	300	400	500
H metros	27	27	26.5	26	25.5	25	22.5	19
	32	32	31.5	31	30.5	30	27.5	24
	38	38	37.8	37	36.5	36	33.5	30

Figura 59. Tabla de prestaciones de bombas centrífugas.

Generalmente se utilizan para riego en el VBRC electrobombas centrífugas de superficie, monofásicas o trifásicas en función del proyecto o de la disponibilidad de energía (Figura 60).



Figura 60. Electrobomba centrífuga trifásica en cabezal de riego por goteo, Pedro Luro.

Si el campo o el lote donde se realizará el cultivo bajo riego no dispone de energía eléctrica y se utilizarán motobombas en vez de electrobombas, éstas deben ser de presión, no de caudal. Como ya dijimos, hay que prestar atención a la curva de rendimiento que posee la bomba y comprar en función de esa variable.

Otras veces las motobombas son elegidas por su practicidad para poder ser trasladadas de un lugar a otro (Figura 61 y 62). Sin embargo, éstas requieren más mantenimiento y pueden tener más complicaciones para ser cebadas. Es común ver en los campos motobombas para desagüe u otras funciones que implican caudal y no prestan la presión requerida para un sistema de riego por goteo o aspersión.



Figura 61. Motobomba utilizada para riego presurizado en producción bajo cubierta, Mayor Buratovich.



Figura 62. Motobomba utilizada para riego presurizado a campo, Pedro Luro.



Figura 64. Cabezal de riego bajo techo, Juan A. Pradere.



Figura 65. Cabezal de riego en el interior de una casilla construida para tal fin, Pedro Luro.

4.3.3 Cabezal de riego, filtrado y red de distribución.

El cabezal de riego estará compuesto en general por la bomba, el o los filtros, el sistema de inyección de fertilizantes, llaves, válvulas y el equipo de control si se trata de un equipo automatizado (Figura 63).

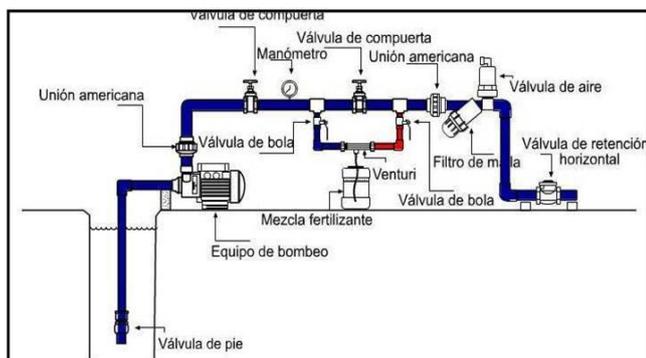


Figura 63. Esquema de un cabezal de riego estándar.

Es importante que el cabezal de riego esté al resguardo del sol y del agua. En general se recomienda que se construya un habitáculo o casilla especial para esto (Figura 64 y 65).

➤ Equipo de Filtrado

En los sistemas presurizados y en especial en el goteo, el filtrado será la parte esencial para prevenir la obturación de los emisores.

El filtrado debe comenzar en la toma de agua. La válvula de retención de la toma de agua debe protegerse con un canasto construido con una malla fina que impida el ingreso de algas, hojas o elementos sólidos que puedan ser succionados y deteriorar la turbina de la bomba, entre otras cosas (Figura 66 y 67).



Figura 66. Canasto de filtrado en la toma de agua, Juan A. Pradere.



Figura 67. Canasto de filtrado en la toma de agua, Hilario Ascasubi.

Con respecto a los filtros del cabezal de riego, es bien conocido en la zona el uso de filtros de anillas en el riego por goteo (Figura 68), constituido por una serie de discos con ranuras en ambas caras, que superpuestos forman los conductos de paso del agua. Hay casos en los cuales los filtros de anilla no son suficientes o no resultan prácticos ya que colapsan rápidamente con sedimentos y obturan el paso del agua si no se limpian periódicamente, incluso durante el mismo riego.



Figura 68. Cabezales de riego por goteo con filtro de anillas, Pedro Luro.

Si la fuente de agua es subterránea, dependiendo de las características de la perforación, probablemente lleve también partículas de arena o limo en suspensión, por lo que es recomendable un filtro hidrociclón.

El hidrociclón es un filtro diseñado para separar la arena y otras partículas más pesadas que el agua. La separación se produce gracias a la

velocidad de rotación que se genera al ser inyectada el agua de forma tangencial en el interior del cuerpo del hidrociclón. Las partículas sólidas se desplazan hacia la pared del cono y descienden a la parte inferior debido a la fuerza de gravedad, donde se almacenan en un depósito colector (Figura 69).

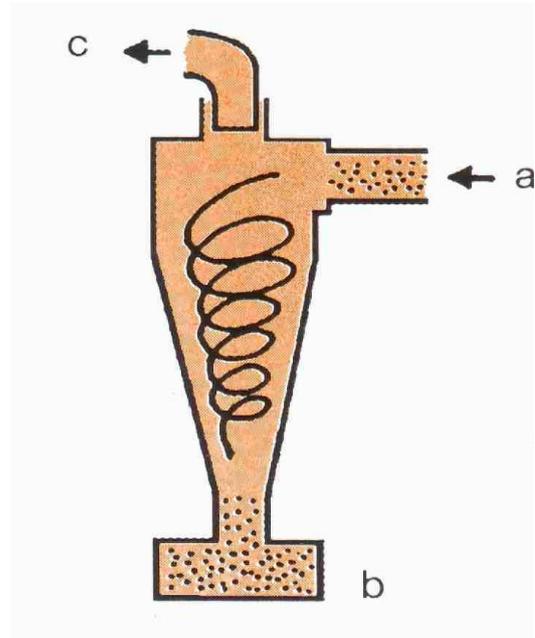


Figura 69. Esquema de un filtro hidrociclón.

Hoy en día se consiguen en el mercado filtros hidrociclón de material plástico, más económicos que los metálicos (Figura 70).



Figura 70. Filtro hidrociclón de plástico y de metal disponible en el mercado.

Si la fuente de agua proviene de un reservorio o una fuente superficial posiblemente lleve algas y partículas orgánicas, siendo conveniente utilizar en este caso un filtro de grava.

Los filtros de grava son tanques metálicos que contienen arena de un determinado tamaño (Figura 71). El agua se filtra al pasar por dicho estrato de arena. El material retenido en la arena debe ser extraído del filtro mediante lavado o retro lavado, práctica que consiste en invertir el flujo del agua y eliminar el agua con los sedimentos (Figura 72).



Figura 71. Armado de cabezal de riego por goteo con filtro de grava en Juan A. Pradere.

En ambos casos (hidrociclón y filtro de grava) se utiliza de manera complementaria y de seguridad un filtro de anillas, con mesh 120 (anillas color rojo).

En todos los casos los filtros deben ser capaces de filtrar el caudal de diseño. En general el tamaño de filtro se ajustará al caudal de agua que deberá filtrar.

➤ *Tipo de cañería*

Para la conducción de agua en sistemas de riego presurizado se puede utilizar materiales de PEAD (tubo de polietileno de alta densidad), PVC o las más recientes tuberías o mangueras flexible de polietileno reforzado.

El PVC hidráulico (gris o azul para presurizar, no el blanco que es cloacal) es el que más se utiliza, por la diversidad de diámetros y accesorios (curvas, codos, tes, uniones dobles etc). El PVC se degrada con el sol, por lo cual deberá ir enterrado o bien pintados, en preferencia lo primero. Los tubos y conexiones de PVC van unidos con pegamento adhesivo para PVC. Por tal motivo el uso de PVC demanda de un diseño más permanente del equipo. Los caños de PVC vienen en tubos de 6 metros de largo (Figura 74).

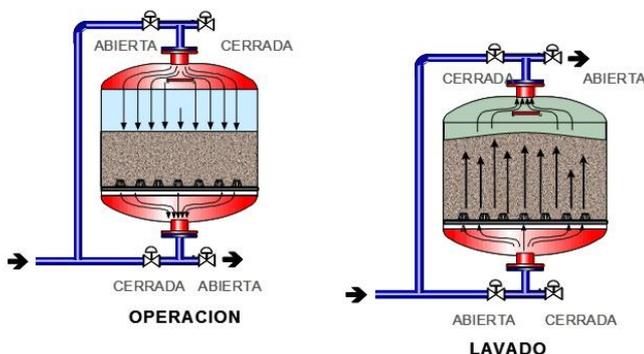


Figura 72. Esquema de funcionamiento de un filtro de arena o grava y retro lavado.



Figura 73. Tubo de polietileno de alta densidad (PEAD) utilizado para conducción de agua en riego por goteo, Pedro Luro.

Con respecto al uso de tubo de polietileno de alta densidad (PEAD) suele tener cierta resistencia a la radiación del sol (UV). Por tal motivo es común que se elija este material para diseños en los cuales no se quiere enterrar cañería o se desea modificar o trasladar el equipo de riego finalizada la campaña. También por su flexibilidad. Las uniones de PEAD se hacen con uniones tipo espiga o bien uniones raccord, de más reciente incorporación en el mercado. Los PEAD son rollos de 50 o 100 metros de largo (Figura 73). Se recomienda usar tuberías normalizadas y fabricadas con material virgen.



Figura 74. Conducción de agua a través de tuberías de PVC en equipo de riego por goteo, Pedro Luro.

Más recientemente se encuentra en el mercado tuberías o mangueras flexible de polietileno reforzado de 2, 3, 4 y 6 pulgadas. Se trata de mangueras ligeras, flexibles y fáciles de trasladar de una instalación a otra. Permiten el tránsito de maquinaria cuando no se encuentran con agua y son enrolladas en bobinas o rollos compactos finalizada la campaña. Vienen ciegas para

conducción o con conectores integrados para la conexión de aspersores, por ejemplo. Si bien presentan numerosas ventajas su costo es significativamente mayor, por lo que se sugiere ser analizado (Figura 75).



Figura 75. Conducción y laterales de riego con mangueras flexible de polietileno, Pedro Luro.

Independientemente del material utilizado en la tubería deberá soportar la presión máxima de trabajo del equipo más un porcentaje de seguridad. Por ejemplo, en PVC hidráulico existen tres clases de tuberías, según el grado de presurización que soportan: 40 *mca* (clase 4 o K4) 60 *mca* (clase 6 o K6) y 100 *mca* (clase 10 o K10).

➤ Otras piezas importantes

En el cabezal de riego existen accesorios que mejoran el funcionamiento del equipo o previenen roturas, entre ellas se destacan:

- ✓ Válvulas de aire: cuando una tubería o manguera se llena de agua al abrir una llave, el aire que contiene queda atrapado en los puntos altos del sistema. Estas bolsas de aire se comprimen conforme entra más agua a la tubería, pudiéndose llegar a un punto en el cual el flujo de agua se detiene totalmente o se generen roturas por aumento de la presión. Para evitarlo, se colocan válvulas de aire en los puntos altos del sistema (Figura 76). También se utilizan válvulas de aire para el ingreso de aire al sistema.



Figura 76. Válvula de aire en cabezal de riego, Pedro Luro.

- ✓ Válvulas de retención: también llamadas válvulas anti retorno, tienen por objetivo cerrar por completo el paso de un fluido en circulación en un sentido (Figura 77). Esta válvula se coloca en el extremo de succión del agua, para evitar que la bomba se descargue. También puede ser de utilidad en otros puntos del sistema.



Figura 77. Válvula de retención con canasto.

- ✓ Uniones dobles: las uniones dobles se recomiendan colocar en el cabezal de riego y en puntos que luego necesiten ser desarmados. Estas piezas permiten desmontar un sector del cabezal y realizar una reparación, cambio o limpieza (Figura 78).
- ✓ Curvas o codos: debido a la pérdida de carga que generan las singularidades, se sugieren evitar los codos en el equipo y en lo posible utilizar curvas, que provocan menor turbulencia y pérdida de carga (Figura 78).



Figura 78. Curvas y uniones dobles en el armado de un equipo de riego, Juan A. Pradere.

- ✓ Manómetros: los manómetros son instrumentos de medición de la presión de fluidos. Es importante que el cabezal de riego cuente con un manómetro para conocer la presión de trabajo del equipo en tiempo real. También se suelen colocar dos manómetros, uno antes y otro luego del filtro. De esta manera, si la presión cae debajo de cierto umbral en el manómetro de salida de los filtros, posiblemente se encuentren sucios y deban ser limpiados. También se puede colocar un manómetro en cada sector para conocer la presión que está llegando a la unidad riego.

Existen también tomas manométricas que se colocan en distintos puntos del equipo para medir mediante un manómetro con aguja, la presión de funcionamiento. Las tomas manométricas son pequeñas piezas que vienen con espiga o rosca y la aguja es un accesorio con rosca que se acopla al manómetro (Figura 79). Esto es práctico a la hora de recorrer el equipo de riego y revisar la presión en varios puntos sin necesidad de colocar numerosa cantidad de manómetros. También se puede evaluar en el final de línea en cintas de riego mediante un conector cinta a manguera de media pulgada y ésta al manómetro (Figura 80).



Figura 79. Manómetro con aguja y toma manométrica.



Figura 80. Control de la presión con manómetro en el final de línea.



Figura 81a. Cajas hechas con baldes de 20 litros para las llaves de paso o válvulas de los sectores de riego, Juan A. Pradere.

- ✓ Llaves de paso: las llaves de apertura y cierre de los sectores de riego, ya sean manuales o automatizadas deben estar al resguardo, en especial si son de PVC, ya que si quedan al sol el material se draga con el tiempo. Si bien se consiguen en el mercado cajas con esa función, también pueden construirse con baldes para que no estén expuestas ni al sol ni a la intemperie, como muestra la Figura 81a y 81b.



Figura 81b. Caja rectangular de polipropileno para válvulas de riego o cualquier elemento que requiera inspección, Pedro Luro.

- ✓ Conectores cinta con llave de paso (Figura 82): es común en horticultura el uso de conectores de cinta de riego con llave de paso individual. Si bien se recomienda manejar el riego en sectores ya definidos, poder abrir o cerrar cada lateral de riego da flexibilidad en el diseño y operación del equipo, en especial en planteos hortícolas bajo cubierta, donde en un mismo lugar se realiza un cultivo de tomate o pimiento en el verano con un marco de plantación más amplio y lechuga en el invierno, con otro marco de plantación.



Figura 82. Conectores cinta de riego con llave individual y orrin de goma.

- ✓ Monturas: las monturas son útiles a la hora de instalar una pieza sobre la cañería de forma rápida y práctica, ya sea el venturi, manómetros o válvulas de aire, por ejemplo. Están compuestas por dos partes que abrazan la cañería. Una de las partes tiene un orrin de goma y un buje con rosca hembra. Mediante una mecha se perfora la cañería y sobre la rosca se instala el elemento (Figura 83).



Figura 83. Montura sobre caño de PVC, para colocar una válvula de aire en un equipo de riego por goteo, Pedro Luro.

- ✓ Venturi: el método comúnmente utilizado para la inyección de fertilizantes es el Venturi. Usualmente es elegido por ser un método económico y sencillo. Suele verse en los equipos de riego por goteo del valle (Figura 84, 85 y 86). Si bien es adoptado por los productores, el equipo debe estar bien diseñado para evitar que al cerrar la llave de paso para generar el ingreso de la solución mediante el venturi la presión no caiga a valores tan bajos que impida una correcta distribución del fertilizante en los laterales de riego.



Figura 84. Venturi para la inyección de fertilizantes en cabezal de riego por goteo, Pedro Luro.



Figura 85. Armado de cabezal de riego con sistema de fertilización Venturi, Juan A. Pradere.



Figura 86. Fertilización con equipo Venturi en riego de melón a campo, mediante motobomba de riego, Pedro Luro.

4.4 Recomendaciones para un manejo eficiente de los sistemas de riego presurizado

El desempeño y la eficiencia de uso del agua alcanzada con el equipo de riego presurizado dependerá también del manejo. A continuación, algunas recomendaciones al respecto:

- *Programación del riego.* Se recomienda el monitoreo de la humedad de suelo y el desarrollo de raíces mediante calicatas. De esta forma se puede comprobar el volumen de suelo que se moja, la distribución de la humedad y su relación con las raíces. Existen pruebas al tacto moldeando la tierra para estimar la humedad del suelo. Sin embargo, esta técnica demanda de mucha experiencia, por lo que no suele ser información suficiente para ajustar los tiempos

de riego y decidir respecto a la frecuencia de aplicación del agua.

Se sugiere que, para la programación del riego durante el ciclo del cultivo, la demanda de agua sea estimada para cada etapa de cultivo mediante la evapotranspiración de referencia y el K_c o coeficiente de cultivo. El primer valor, como ya dijimos se puede obtener a partir de la información obtenida en una estación meteorológica o a partir un tanque evaporímetro "tipo A" (figura 87) el cual se instala en el campo, se mide las lecturas diarias de evaporación y el valor se ajusta por un coeficiente de tanque o K_p . Por su parte, el K_c o coeficiente de cultivo se calcula siguiendo la metodología de FAO en su publicación 56. Toda esta información puede consultarse en el INTA y es fundamental para un correcto calendario de riego.



Figura 87. Tanque evaporímetro tipo A.

A su vez, actualmente se están realizando estudios en campos de productores de la zona acerca del manejo óptimo del riego por goteo en invernaderos, a través de sensores de humedad FDR con datalogger (Figura 88).



Figura 88. Monitoreo de la humedad del suelo a distintas profundidades mediante sensores de humedad en cultivo de tomate bajo cubierta, Pedro Luro.

- *Control de caudal y presiones.* Durante el riego es importante el monitoreo de la presión el equipo, tanto en el cabezal como en el campo. Para ello se utilizan manómetros. El equipo debe tener varios puntos de control de presión. Conocer la presión durante el riego nos dará cuenta de roturas, llaves cerradas o abiertas, filtros sucios o cualquier error que esté dejando al equipo en un mal funcionamiento.

Es común en la zona encontrar equipos de riego trabajando a muy bajas presiones. Si el equipo trabaja a menor presión que con la que se diseñó el equipo y se diseñó el resto de las variables, el caudal entregado por los emisores será menor al

planificado y la lámina aplicada también lo será. Si una vez en marcha el equipo se trabaja por algún motivo a menor presión, deberá considerarse al menos ese aspecto a la hora de ajustar la lámina de riego.

Si la presión es muy baja, también será menor la uniformidad en el caudal de los emisores y algunas plantas recibirán menos agua de la que realmente necesitan y otras estarán recibiendo más. Asociado a lo anterior y en igual proporción se cometen errores en la uniformidad de aplicación de los fertilizantes por fertirriego con las respectivas pérdidas de productividad.

Lo mismo sucede con los equipos de aspersión, en la medida que la presión disminuye con respecto a la presión de trabajo recomendada, también lo hace la uniformidad de riego y la lámina aplicada.

Ensayos realizados en campos de productores con aspersores de alto impacto al reducir la presión recomendada en un 50% la uniformidad de riego pasó de 80% a 65%.

Sin embargo, cuando se trata de cintas o mangueras de pared delgada, en la práctica se recomienda trabajar por debajo de las presiones nominales (10 mca o kg/cm²) para aumentar su vida útil. Pero, deberá ser corregido en el diseño los caudales, ya que, como dijimos, estarán entregando un menor caudal que el informado de fábrica. Para eso se debe solicitar al proveedor o fabricante la curva de caudales y presiones de los goteros. Obtenido el caudal real de trabajo, podrá ser corregida la lámina aplicada mediante el tiempo de riego.

Del mismo modo que con las presiones habrá que controlar el agua entregada. El tiempo de riego se debe tomar como una aproximación, lo que realmente interesa es el volumen de agua aplicado y debe ser chequeado. Esto es a través de un caudalímetro o bien mediante pruebas a campo sobre los emisores.

- **Control de la uniformidad de riego.** Para evaluar la uniformidad del sistema se debe medir el coeficiente de uniformidad (índice de homogeneidad de la descarga) en cada unidad de riego. Para medir este coeficiente en cada sector de riego, se deben tomar cuatro líneas y dentro de cada línea, cuatro emisores (Figura 89). Es recomendable dejar marcas y medir siempre los mismos emisores.

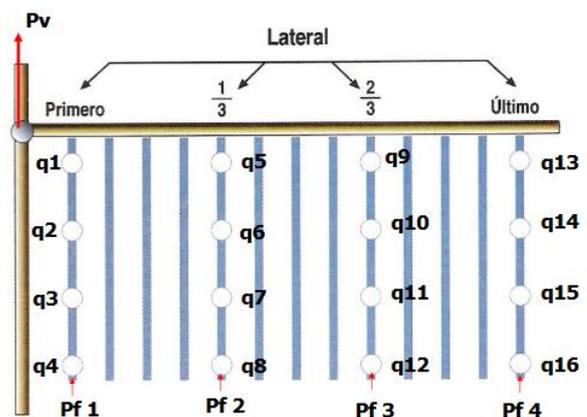


Figura 89. Esquema de toma de caudales en las líneas de riego.

Para medir el volumen que entregan los emisores se usa un recipiente y para medir el tiempo, un cronómetro.

Luego el coeficiente de uniformidad se calcula según la siguiente expresión:

$$CU = 100 \times \frac{q_{25\%}}{qa}$$

Donde:

CU = Coeficiente de Uniformidad

*q*_{25%}: promedio del 25% de las observaciones de los valores más bajos de caudal

qa: promedio todos los valores de caudal

Por ejemplo:

Para evaluar la uniformidad de riego en un equipo de goteo que riega varios invernaderos, se eligieron 4 líneas dentro de un sector de riego y en cada una se midió el volumen recolectado con un recipiente durante 10 minutos. Se recolectaron los 16 recipientes y se midió el volumen recolectado con probeta. Los datos se observan en la tabla 3.

Tabla 3. Volumen recolectado en cada recipiente durante una evaluación de uniformidad de riego.

	Volumen recolectado (ml)			
	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4
Gotero 1	160	152	150	153
Gotero 2	155	152	152	142
Gotero 3	148	150	142	142
Gotero 4	150	148	148	130

Si los valores de volumen de agua recolectados, los transformamos en caudal en función del tiempo, como:

$$Caudal \left(\frac{l}{h} \right) = \frac{Volumen (ml)}{Tiempo (min)} \times 0,06$$

Dónde 0,06 en la ecuación corresponde a un ajuste de unidades.

Así obtendremos una tabla de caudales (tabla 4).

Tabla 4. Caudales de los emisores evaluados.

	Caudal emisor (litro/hora)			
	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4
Gotero 1	0,96	0,91	0,90	0,92
Gotero 2	0,93	0,91	0,91	0,85
Gotero 3	0,89	0,90	0,85	0,85
Gotero 4	0,90	0,89	0,89	0,78

En la tabla 5 se pueden observar, ordenamos de mayor a menor, los caudales de los emisores evaluados y el promedio:

Tabla 5. Caudales de los emisores evaluados ordenados de mayor a menor y valor medio.

gotero	Caudal (litros/hora)
1	0,96
2	0,93
3	0,92
4	0,91
5	0,91
6	0,91
7	0,90
8	0,90
9	0,90
10	0,89
11	0,89
12	0,89
13	0,85
14	0,85
15	0,85
16	0,78
Promedio	0,89

Entonces, tomando los 4 valores más bajos y promediándolos obtenemos $q_{25\%}$

$$q_{25\%} = \frac{0,85 + 0,85 + 0,85 + 0,78}{4} = 0,83 \text{ l/h}$$

Así, el Coeficiente de uniformidad será:

$$CU = 100 \times \frac{0,83}{0,89} = 93 \%$$

Si el Coeficiente de uniformidad obtenido es inferior al 85%, hay que buscar las causas de la pérdida de uniformidad para resolverlas. La pérdida de uniformidad puede estar asociada a que el equipo está trabajando en un rango de presiones no recomendado, o bien que los emisores sufren algún grado de obstrucción.

- *Riegos cortos y frecuentes.* Para conseguir una alta eficiencia de riego se sugiere aportar el agua en riegos cortos y frecuentes. Los riegos frecuentes permiten mantener la humedad del suelo y reducir la concentración de sales, evitando daños por salinidad, menores rendimientos o pérdida de plántulas.

Sin embargo, el manejo de la frecuencia o intervalo de riego, como ya dijimos, dependerá del cultivo y del suelo. En suelos marginales la frecuencia necesariamente deberá ser mayor y en suelos con mayor capacidad de almacenamiento de agua, la frecuencia podrá ser menor, teniendo cuidado de no aplicar dosis exageradas que generen percolación o anegamiento.

De todas formas, los sistemas de riego presurizado en general son de alta frecuencia por lo que nunca debe manejarse con intervalos prolongados entre riegos, como comúnmente se manejan los sistemas convencionales por gravedad.

En términos generales la frecuencia de riego aumenta a medida que el cultivo se acerca a cosecha. Es decir, a comienzos de la temporada de riego podremos regar cada 3 días y cerca de cosecha 1 o más veces por día, de acuerdo al suelo y al clima. Durante el verano comúnmente el riego por goteo suele ser diario y hasta dos veces al día.

- *Manejo de las sales.* Las sales en el suelo siguen el movimiento del agua, por lo que es común

observar alrededor del bulbo húmedo una zona blanquecina de acumulación de sales que lleva consigo el agua que se evapora (Figura 90). En especial en invernaderos, en los que además no existe el lavado por lluvias (Figura 91, 92 y 93). En caso de disponer agua suficiente es conveniente realizar lavados de sales con abundante agua previo a la campaña. Para esto es fundamental el mantenimiento de los desagües en el campo y el drenaje del suelo. Durante el cultivo se recomienda mantener una alta frecuencia de riego para evitar acumulación de sales en la zona de las raíces.

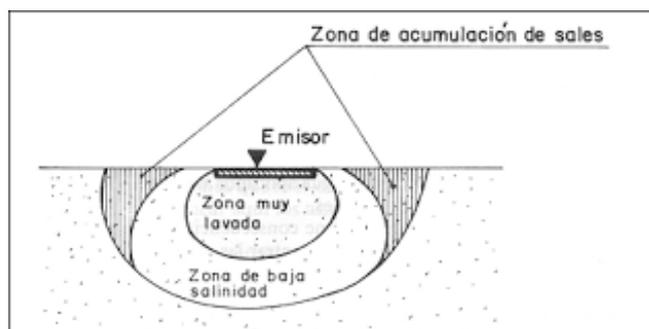


Figura 90. Distribución común de las sales en el bulbo húmedo.



Figura 91. Sales en los camellones al final del ciclo de cultivo de tomate bajo cubierta, Juan A. Pradere



Figura 92. Sales en las líneas de riego por goteo en cultivo de lechuga en invernadero, Pedro Luro.



Figura 93. Sales en las líneas de riego por goteo en cultivo de tomate bajo cubierta, Juan A. Pradere.

- *Deriva en riego por aspersión.* En los equipos de riego por aspersión se debe tener cuidado con pérdidas por evaporación o arrastre y efecto del viento sobre la uniformidad de reparto del agua, en especial en nuestra zona. Esto afecta en gran medida la uniformidad de riego y por ende la uniformidad del cultivo. Se debe evitar el riego en días u horarios ventosos, corroborar que esté trabajando a la presión correcta y evaluar la uniformidad, en lo posible mediante pruebas a campo con recipientes o pluviómetros que reciban la descarga del aspersor en un determinado tiempo. El mismo procedimiento explicado para obtener el coeficiente de

uniformidad en equipos de goteo se puede aplicar con la aspersión, colocando los recipientes en cuadrícula entre 4 aspersores (Figura 94).



Figura 94. Evaluación a campo de la uniformidad de riego en aspersores rotatorios de alto impacto con recipientes plásticos, Pedro Luro.

- *Golpe de ariete.* El golpe de ariete es una suba abrupta en la carga del sistema debido a la interrupción del flujo de forma repentina, que genera una onda que viaja a altísima velocidad en sentido contrario a la dirección de flujo. El problema con el golpe de ariete es entre la bomba y la válvula solenoide o llave del sector de riego, allí se mueve la onda y puede romper la tubería. El golpe de ariete será mayor entre mayor sea la longitud de la tubería y mayor en materiales de PVC, por ser más rígido y menos capaz de absorber las sobrepresiones. Para evitar un golpe de ariete:

- Cerrar lentamente las válvulas o llaves de paso.
- Utilizar válvulas de alivio: válvulas que se abren cuando se supera una cierta presión.
- Utilizar válvulas de retención: no previene el efecto de golpe de ariete, pero impide

que se dañe el cabezal de riego y se reviente la tubería.

- Escoger el diámetro de la tubería grande, para que la velocidad en la tubería sea pequeña y “clase” o resistencia a la presión correcta.

4.5 Automatización

La automatización es una ventaja que poseen los sistemas de riego presurizado, al reducir el tiempo destinado al riego y permitir ejecutar un calendario de riego ordenado, en especial cuando se cuenta con muchos sectores o son varios los encargados de manejar el equipo de riego. A su vez, mejora la gestión del establecimiento, al obtener datos y estadísticas de gastos de agua, electricidad o fertilizantes.

Los controladores se instalan en el cabezal de riego y manejan las operaciones de riego en forma secuencial (Figura 95). Funcionan con válvulas solenoides conectadas al controlador (Figura 96 y 97). De esta manera cada válvula inicia y finaliza el riego en función de la orden enviada por el controlador.



Figura 95. Programador o controlador de riego de seis zonas en un equipo de riego por goteo, Pedro Luro.



Figura 96. Válvulas solenoides o electroválvulas de riego.



Figura 97. Válvula solenoide de apertura y cierre de un sector de riego instalada en un sistema de riego en invernadero, Pedro Luro.

Si se automatiza el equipo de riego, es importante diseñar los sectores de riego de manera homogénea y acorde al diseño hidráulico del equipo, ya que cada válvula solenoide estará abriendo y cerrando un sector a la vez. Es común en la horticultura el uso de llaves individuales en

cada lateral de riego. Si cada sector de riego está automatizado y diseñado no es recomendable manejar los sectores con la apertura y cierre de las llaves de cada lateral de riego de manera individual. En ese sentido hay que ajustar ambos planteos de manejo, en especial en los planteos hortícolas que año a año van modificando sus diseños.

4.6 Mantenimiento

Los equipos de riego presurizado requieren mantenimiento y es tan importante como su diseño y manejo.

- ❖ *Limpieza de filtros.* En el caso de los filtros de anillas, para su limpieza manual se tiene que desenroscar la tapa y separar los anillos aplicando un chorro de agua a presión ayudando con un cepillo (Figura 98). Una vez al año es recomendable lavarlos con ácido para evitar incrustaciones cálcicas.



Figura 98. Anillas del filtro de anilla, con sedimentos de agua de perforación, Juan A. Pradere.

Con respecto a los filtros de arena, se debe realizar un retro lavado en forma periódica para extraer la suciedad almacenada (Figura 99).

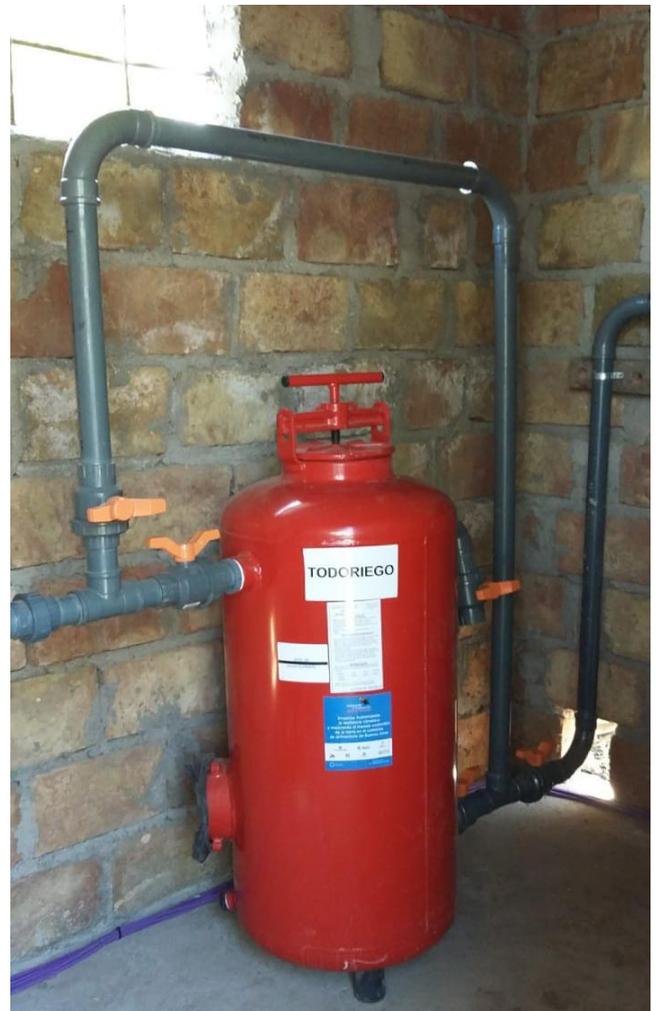


Figura 99. Cabezal de riego con filtro de grava y su instalación para el retro lavado, Pedro Luro.

Los manómetros, ubicados antes y después de los filtros, indicarán cuando debe realizarse esta labor (Figura 100). En general, la diferencia de presión normal antes y después de los filtros de grava es de 1 a 3 *mca*. Cuando la diferencia sobrepasa los 6 *mca* resulta imprescindible hacer un retro lavado. Si luego del retro lavado, el manómetro que se encuentra a la salida de los filtros no indica un aumento de presión, posiblemente se trate de una obturación severa, lo que obliga a mover la arena y realizar sucesivos retro lavados.



Figura 100. Manómetros en el ingreso y salida de agua del filtro de anilla, Juan A. Pradere.

- ❖ *Algas en los reservorios.* Con el paso del tiempo, pueden depositarse sedimentos, y en algunos casos proliferar algas, que al acumularse en la toma dificultan el paso del agua. También provocan una rápida obturación de los filtros de arena que obliga a retro lavados frecuentes. A su vez, los residuos de algas muertas que atraviesan los filtros de arena constituyen un alimento para las bacterias que crecen en ausencia de la luz dentro del sistema.

Un tratamiento sin costos que ha dado resultado en la zona es la introducción de carpas que naturalmente se encuentra en los canales o desagües. Otra posibilidad es el tratamiento con sulfato de cobre en dosis comprendidas entre 0,5 a 1,5 g/m³ de agua. El sulfato de cobre se puede colocar en sacos con flotadores anclados en el fondo, o extenderlo sobre la superficie del agua. No se debe utilizar material de aluminio para su preparación, porque se forman compuestos tóxicos para los peces.

- *Obturaciones biológicas en los emisores de riego.* Las obturaciones biológicas en los equipos de riego por goteo, pueden ser ocasionadas por algas transportadas por el agua de riego, o desarrolladas en los filtros o en las salidas de los emisores. También pueden ocasionarse por

sustancias mucilaginosas producidas por microorganismos, fundamentalmente bacterias. Para su tratamiento se aplica hipoclorito de sodio al 10 % en los laterales de riego (tres veces por ciclo de cultivo). La inyección debe hacerse antes de los filtros de grava para evitar crecimientos bacterianos en la arena.

Para realizar un tratamiento de prevención de la sedimentación o de limpieza, se sugiere una concentración de al menos 10 ppm (10 g/m³) de hipoclorito de sodio al 10%. Esto equivale a 0,1 litro de hipoclorito por m³ de agua. Los metros cúbicos a tratar se obtiene multiplicando al caudal de un emisor por el número de emisores del sector de riego y por el tiempo de aplicación que debe ser de al menos 45 minutos. Si se requiere tratar 20 m³ de agua se necesitan 2 litros de hipoclorito de sodio disuelto en 100 litros de agua que se inyectan a la red en el tiempo requerido.

Dado que el cloro es un fuerte oxidante, es muy útil para prevenir taponamiento y sedimentación de sustancias orgánicas; destruir y descomponer las bacterias o limo bacterial en el sistema; mejorar la performance de los sistemas de filtrado y limpiar el sistema de sedimentos orgánicos

- *Obturaciones químicas en los emisores de riego.* Las obturaciones químicas son provocadas por la precipitación de sustancias que vienen en el agua de riego. Las más frecuentes son las de carbonato de calcio. Algunos de los fertilizantes que se agregan al agua de riego pueden reaccionar con otros materiales disueltos, para crear sedimentos adicionales. En ese sentido existen tres normas prácticas: 1º debe situarse un filtro de anillas aguas abajo del punto de inyección de fertilizantes; 2º la primera fase de cada riego y sobre todo la última, debe realizarse con agua sin fertilizantes para evitar precipitados; 3º antes de aplicar por primera vez un fertilizante, mezclarlo

en un vaso con el agua de riego y observar si se forman precipitados o turbidez.

Para el tratamiento de obturaciones ocasionadas por carbonatos se recurre a la aplicación de ácido fosfórico al 85% a razón de 0,6 litros por m³/h para disolver las sales incrustadas en los emisores. Si el sistema bombea 20 m³/h, habrá que inyectar sobre el periodo medio del riego ácido a razón de 12 litros/hora. Habrá que ver cuánto tiempo va a estar operando cada sector de riego, considerando que en el momento inicial se riega sin ácido y en el final hay que lavar el ácido de la tubería. Se mantiene al sistema en reposo 1 a 2 horas y luego se procede a la purga a la máxima presión posible, para lo cual convendrá cerrar algunas válvulas de la secuencia e ir intercambiando las mismas hasta purgar todo. Luego se debe continuar erogando agua sin ácido en el sistema para completar el tratamiento, por lo menos una hora luego del tratamiento.

Cuando se trabaja con ácidos, se deben utilizar las protecciones correspondientes, tales como guantes, máscaras y ropa apropiada.

➤ *limpieza con altas presiones* (conocida como “flushing”). Si bien es tarea de los filtros retener las partículas que entran al sistema, hay partículas finas que de igual modo pasan y se depositan en las tuberías matrices, laterales y goteros. Estas deben ser eliminadas de la red para evitar obturaciones de los emisores. La mejor manera de evitar obturaciones es mediante la prevención, pero muchas veces, detectar anticipadamente este tipo de fallas no es fácil. En la mayoría de los casos el problema se descubre cuando el grado de obturación es avanzado, resultando de un costo elevado la limpieza.

El lavado con presión se realiza por etapas, comenzando por el cabezal y conducción principal. Para hacerlo se abren las tapas con

rosca o llaves que suelen dejarse al final de la tubería de conducción, manteniendo cerradas las válvulas de las unidades de riego. Terminado el lavado de la conducción se realiza el lavado de los laterales o cintas de riego. Este tipo de limpieza es aconsejable realizarlo cada 2 meses, dependiendo de la calidad del agua o al comienzo, durante y al final de la temporada de riego.

4.7 Prácticas no recomendadas en riego presurizado.

- *Manejar el riego por goteo o aspersión con misma frecuencia o dinámica que el riego por gravedad.*
- *Aplicar agua en exceso por incertidumbre de cuánto regar.*
- *Trabajar a una presión muy inferior a la presión de trabajo de los emisores o aspersores o de diseño y no considerar la reducción del caudal entregado y en consecuencia la lámina aplicada y su uniformidad.*
- *Comprar una bomba por el diámetro de entrada y salida, por los HP de potencia o por su costo, sin considerar la curva de rendimiento.*
- *Regar varios sectores a la vez o abrir más llaves que las que el equipo es capaz de regar (según el diseño realizado).*
- *Tener el cabezal de riego a la intemperie.*
- *No dar importancia al mantenimiento y limpieza del equipo.*

5. Bibliografía

Allen, R. G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D & SMITH D.M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (Vol. 56). Food & Agriculture Org.

Alocén, J. C. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación (FAO), 218.

Anze, R., Bongiovanni M. (2018). Reservorios excavados de agua para riego en producciones familiares hortícolas del valle bonaerense del río Colorado. I Jornadas Patagónicas de Acceso y Gestión del Agua en la Agricultura Familiar, Plottier, Neuquén.

Anze, R., Bongiovanni M. (2018). Reservorios excavados de agua para riego en producciones familiares hortícolas del valle bonaerense del río Colorado. I Jornadas Patagónicas de Acceso y Gestión del Agua en la Agricultura Familiar, Plottier, Neuquén.

Auge, M. (2005). Perforaciones hidrogeológicas. Curso para perforistas.

Bongiovanni M. (2019). Desempeño del riego por superficie de cebolla en el valle bonaerense del río Colorado. Tesis posgrado en corrección. Universidad Nacional de Cuyo.

Bongiovanni, M.; Anze, R. (2018). Cambios en la gestión y uso del agua de riego en sistemas productivos hortícolas del valle bonaerense del río Colorado: trabajo participativo para la transformación tecnológica. XIX Jornadas nacionales de Extensión Rural y XI del Mercosur, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo.

Bongiovanni, M.; Anze, R.; Martínez, R.; Besano, A.; Echegaray, D. (2018). Evaluación del riego por gravedad de cebolla en el sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Revista de la 6ta Reunión Internacional de Riego realizadas en la EEA Manfredi del INTA (Córdoba).

Bongiovanni, Marcos.; Anze, Rolando (2019) Construcción de reservorios excavados de agua para riego presurizado en el VBRC. Manual. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) EEA Hilario Ascasubi.

Ciancaglini, N., Liotta, M. A., Estevez, A., Carrión, R. A., Paz, M. L., & Graffigna, M. L. (2015). Riego superficial. PROSAP; INTA.

Demin, P. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego. Métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones.

Fernández Gómez, R. F. Milla M., Ávila Alabarces R., Berengena Herrera J., Gavilán Zafra P., Oyonarte Gutiérrez Nicolás A. (2010). Manual de riego para Agricultores: módulo 2. Riego por superficie. Consejería de Agricultura y Pesca. Servicio de Publicaciones y Divulgación, DL Sevilla.

Ferreyra E., Raúl; Sellés V., Gabriel; Ahumada B., Rodrigo; Maldonado B., Patricio; Gil M., Pilar. (2005). Manejo del riego localizado y fertirrigación. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 126. 56.

Liotta, M., Carrión, R., Ciancaglini, N., & Olgúin, A. (2015). Manual de capacitación: Riego por goteo. PROSAP; INTA.

Paoli H. (2018). Mejoras en el Manejo de Riego por Superficie. ¿Es posible? Revista de la 6ta Reunión Internacional de Riego realizadas en la EEA Manfredi del INTA (Córdoba).

Pereira, L. S., De Juan, J. A., Picornell, M. R., & Tarjuelo, J. M. (2010). El riego y sus tecnologías. Albacete: CREA-UCLM, 296.

Pizarro Cabello, F. (1987). Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación (No. 631.7 P5).

Requena M. (2014) Riego localizado en Frutales. Boletín de divulgación técnica N° 48. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Romay, C., Génova, L., Salgado, H., & Zabala, S. M. (2014). Recomendaciones para mejorar la eficiencia en el riego discontinuo programando la válvula automática. Riego y drenaje, Facultad de agronomía de Buenos Aires, Av. San Martín, 4453.

Roqué, C., Heredia, S., Del Franco, M. E., Benedetto, N., Mastromauro, M., & Boveda, M. (s.f.) Experiencias prácticas sobre manejo de riego por pulsos con enfoque en fertirriego.

Varela, P; Bongiovanni, M; Arbizu, S; Sánchez, R. 2014. Evaluación de la eficiencia del riego gravitacional en el cultivo de cebolla. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca. 5 al 9 de mayo de 2014.

Villafáfila, E., & Wyss, F. (2009). Riego en horticultura. Guía para la instalación de Pequeños Sistemas de Riego, (1), 1.

Durante los últimos diez años, varios ríos de la Argentina de régimen nival han sufrido un descenso en su escurrimiento como consecuencia de la escasa acumulación de nieve. Esto incluye al río Colorado que nace en la cordillera de los Andes y desemboca en el mar argentino. Así, el agua disponible en el valle bonaerense ha sido cada vez más escasa, demandando un trabajo participativo entre productores e instituciones locales para la mejora en el manejo del recurso y la transformación tecnológica del riego.

Si bien este material incluye conceptos técnicos que pueden encontrarse en otros manuales de riego, reúne principalmente la experiencia de técnicos del INTA Hilario Ascasubi junto a los productores en el manejo y diseño de los sistemas de riego durante la década pasada, sobre la base de experiencias locales.

La publicación se divide en dos grandes secciones, la primera referida al manejo del agua en los sistemas de riego por gravedad o superficie y la segunda a los sistemas presurizados, en especial al riego por goteo.

Destinado a técnicos y productores, este trabajo pretende brindar información para el mejor aprovechamiento del agua de riego en tiempos de crisis hídrica.

ISSN 0328-3380 Boletín de divulgación N° 32 - E.E.A. Hilario Ascasubi



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina