

**Nota Técnica****Análisis crítico del riego por gravedad en las condiciones del Uruguay**García Petillo, Mario<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Hidrología, Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Avda. E. Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay. Correo electrónico: mgarciap@fagro.edu.uy

Recibido: 13/10/10 Aceptado: 20/5/11

**Resumen**

No existe «el» mejor método de riego, sino que existe «un» método de riego que es el más apropiado para cada situación. Los métodos de riego por gravedad tienen claras ventajas respecto a los métodos presurizados en cuanto a los costos de inversión y operativos. Sin embargo, es muy frecuente que los productores y sus técnicos asesores descarten a priori la elección de este método.

Los argumentos más frecuentemente utilizados para ello son: i. el riego por superficie es poco uniforme, ii. es muy ineficiente y por lo tanto desperdicia mucha agua, y iii. es muy difícil de instrumentar y por ello es necesario tener mano de obra muy calificada.

En este trabajo se intentará discutir y poner en perspectiva esas afirmaciones. Respecto a las dos primeras se demostrará que son generalizaciones y preconceptos que no necesariamente deben ocurrir en un riego bien diseñado y operado. Respecto a la tercera, se discutirán las condiciones por las cuales regar por superficie en nuestro país es difícil. Éstas son las que se relacionan con las altas pendientes predominantes, y que los suelos agrícolas tienen un horizonte superficial de muy escaso espesor, por lo que no es posible realizar nivelación del terreno. Para superar lo anterior propondremos metodologías de riego por superficie adaptadas a las condiciones del Uruguay, en diferentes situaciones de cultivos y topografía. Además de los menores costos ya señalados, dichas metodologías, permiten un manejo eficiente del agua y la conservación del recurso suelo, y son fáciles de operar por los productores.

**Palabras clave:** coeficiente de uniformidad, eficiencia de riego, riego por melgas, riego por superficie, sistematización

**Summary****Critical Analysis of the Surface Irrigation Method Under the Conditions of Uruguay**

We cannot talk about «the» best method but «a» best method; that is, the most appropriate method for a given situation. Surface irrigation has clear advantages over pressurized irrigation in terms of investment and operational costs. However, it is common that farmers and their technical advisers to, a priori, rule out this method. The most frequent reasons in support of this argument are: i. Surface irrigation is not uniform; ii. It is very inefficient and there is too much water waste; iii. It is very difficult to implement and, therefore, it requires a highly qualified workforce. This paper aims to assess these claims and put them into perspective. In relation to the first two arguments, we will demonstrate that these are generalizations and preconceptions that need not occur in a well designed and operated irrigation system. As regards the third claim, we will examine the conditions that make surface irrigation in our country difficult. These conditions are associated with steep slopes where agricultural soils have a very thin upper horizon and, therefore, levelling becomes difficult to achieve. In order to

overcome those difficulties, we will put forward methods for surface irrigation adapted to the conditions of Uruguay in different crop situations and topography. Apart from the previously mentioned lower cost, these methods allow an efficient water management and the conservation of soil resources, and they are easy to operate by the farmers.

**Key words:** uniformity coefficient, irrigation efficiency, border irrigation, surface irrigation, systematization

## Introducción

Cuando se planifica la introducción del riego en un sistema de producción, la elección del método a utilizar es una decisión crucial, que puede significar por sí misma el éxito o el fracaso futuro del emprendimiento.

En el Uruguay, este tipo de decisiones se suele tomar sin tener toda la información objetiva necesaria para poder optar por la mejor alternativa.

No existe «el» mejor método de riego, sino que existe «un» método de riego que es el más apropiado para una situación particular dada.

El análisis de cada situación debe tomar en consideración aspectos relativos a i. el suelo, fundamentalmente textura y profundidad, ii. la topografía, grado de la pendiente y microtopografía del terreno, iii. la fuente de agua, caudal o volumen, disponibilidad, calidad y precio, iv. el cultivo, sensibilidad al déficit hídrico, valor de la producción, manejo (en hileras o denso, siembra directa, etc.), v. la mano de obra, disponibilidad, costo, capacitación, vi. la energía, costo y vii. el productor, disponibilidad financiera, idiosincrasia, capacidad de gestión.

Pereira y Trout (1999) presentan un cuadro que resume una serie de factores que favorecen la elección entre los diferentes métodos de riego. Estos autores sostienen que el riego por superficie es el más adecuado cuando se dan los siguientes factores: bajo precio del agua, abundante disponibilidad de agua sin importar mayormente su calidad, baja a media velocidad de infiltración del suelo, alta capacidad de almacenamiento de agua del suelo, topografía plana y uniforme, cultivos de bajo valor y poco sensibles al déficit hídrico, bajo valor de la mano de obra, alto valor de la energía, baja disponibilidad de capital y limitada exigencia en tecnología.

Las políticas públicas del Uruguay, así como los trabajos actuales de los diferentes investigadores

buscan que el riego se desarrolle fundamentalmente en sistemas agrícolas, agrícola-ganaderos y agrícola-lecheros. Es decir, que el riego se destinará a cultivos poco sensibles y de bajo valor. También parece claro que en cada sistema de producción se destinarán los mejores suelos para los cultivos regados, y que cualquier política de desarrollo del riego debe incluir necesariamente un plan de construcción de fuentes de agua.

O sea que, con la única excepción de que nuestras topografías no son planas y uniformes, se estarían dando todos los factores que Pereira y Trout (1999) consideran que favorecen la adopción del riego por superficie.

Sin embargo, y a pesar de lo anterior, es muy frecuente que los productores y sus técnicos asesores descarten a priori la elección de este método.

Los argumentos más frecuentemente utilizados para tomar dicha decisión son que el riego por superficie es poco uniforme, que es muy ineficiente y por lo tanto es mucha el agua que se desperdicia, que es muy difícil de instrumentar y que por ello la condición necesaria es tener mano de obra con un muy importante entrenamiento previo.

En este trabajo se intentará discutir y poner en perspectiva esas afirmaciones.

## Metodología

El riego por superficie hace una aplicación poco uniforme del agua

Los dos indicadores de uniformidad del riego más utilizados son la Uniformidad de Distribución (DU) y el Coeficiente de Uniformidad (CU).

La uniformidad de distribución (%) se calcula como:

$$DU = 100 (Z_{25} / Z_{media}) \quad (1)$$

donde:

$Z_{25}$  es la lámina media infiltrada (mm) en la cuarta parte del área que recibe menos agua y

$Z_{media}$  es la lámina media infiltrada en toda la parcela.

El coeficiente de uniformidad (%) se calcula como:

$$CU = 100 \left( \frac{1 - \sum_{i=1}^n |Z_i - Z_{media}|}{n * Z_{media}} \right) \quad (2)$$

donde:

$Z_i$  es la lámina infiltrada en cada punto (mm),  $Z_{media}$  es la lámina media infiltrada en toda la parcela (mm) y  $n$  es el número de puntos de medida.

En los riegos a presión no se acostumbra a medir láminas infiltradas; en riego por aspersión son sustituidas por las pluviometrías medidas y en riego localizado por los caudales erogados por los goteros.

En el que quizás sea el estudio más ambicioso en cuanto a evaluación a campo de sistemas de riego (Hanson *et al.*, 1995) realizado en California, encontraron los resultados que se presentan parcialmente en el Cuadro 1.

En sus conclusiones los autores señalan que «en contra de la creencia común» la uniformidad de distribución de los riegos localizados fue similar a la de los otros métodos. Más sorprendente aún es comprobar que los dos métodos de riego por superficie evaluados (surcos y melgas) son los que tienen mayor DU.

En Uruguay aún no disponemos de suficientes determinaciones de DU en diferentes sistemas de riego, como para estar en condiciones de hacer una comparación similar con datos nacionales.

El riego por superficie desperdicia mucha agua

La eficiencia de aplicación ( $ea$ ) es un concepto que fue y es ampliamente utilizado y que puede definirse como la relación entre la lámina de agua que queda almacenada en el suelo y que está disponible para el cultivo y la lámina total aplicada en el riego.

La tendencia más moderna (Pereira *et al.*, 2010) tiende a definir la eficiencia para el cuarto menos regado de la parcela, según la relación:

$$ea = 100 \left( \frac{Z_{r,lq}}{D} \right) \quad (3)$$

donde:

$ea$  es la eficiencia de aplicación (%),

$Z_{r,lq}$  es la cantidad media añadida a la reserva de agua del suelo en la zona radicular (mm) en el cuarto menor de la parcela y

$D$  es la dosis bruta (mm) aplicada.

Estos mismos autores, operando con las ecuaciones (1) y (3) llegan a la relación:

$$ea \leq DU \quad (4)$$

Lo que indica que la uniformidad de distribución (DU) es el valor límite al que puede tender la eficiencia de aplicación ( $ea$ ).

Pereira (1999) concluye que la uniformidad de distribución (DU) funciona como el indicador que caracteriza al sistema, mientras que la eficiencia de aplicación ( $ea$ ) caracteriza la gestión del mismo en dependencia de las limitaciones impuestas por el sistema.

Todos los métodos de riego implican ciertas pérdidas de agua, que no queda disponible para las

**Cuadro 1.** Tipo de equipo, número de equipos evaluados (N°), uniformidad de distribución promedio (DU, %) y desvío estándar (Dest, %).

Tipo	N°	DU (%)	Dest (%)
Aspersión portátil	164	62	15
Aspersión de movimiento continuo	57	75	10
Riego localizado	458	73	15
Surcos	157	81	14
Melgas	72	84	14

plantas en la zona radicular. Estas pérdidas son por percolación profunda por debajo de la zona radicular, por escurrimiento al pie de la parcela, por evaporación antes de llegar al suelo, o desde la superficie del suelo o de la cubierta vegetal, y por deriva por efecto del viento fuera de la parcela.

Se suele asumir que en los riegos por superficie las pérdidas más importantes se dan por percolación profunda y escurrimiento al pie, en los riegos por aspersión las mayores pérdidas son por evaporación directa y deriva por el viento, y que en los riegos por goteo -en caso que no sea necesario aplicar una lámina para la lixiviación de sales- las pérdidas son insignificantes.

A continuación examinaremos rápidamente las pérdidas de agua en los diferentes métodos de riego.

#### En riego por superficie

A nadie se le ocurriría generalizar que «el rendimiento de los automóviles es de tantos kilómetros por litro de combustible», ya que es sabido que el mismo depende de muchísimos factores como cilindrada del motor, marca y modelo del coche, estado de conservación, velocidad, carga, estado de los caminos, fluidez del tránsito, habilidad del conductor, etc.

De la misma forma, no se puede hablar de la eficiencia de aplicación de determinado método de riego, y mucho menos si nos referimos a los riegos por superficie, que son los más dependientes de su operación.

A modo de ejemplo Durán y García (datos no publicados) hicieron un ensayo en Bella Unión, en una parcela de caña de azúcar regada por surcos.

El método tradicional de riego de la misma consistía en abrir la acequia con la azada frente a cada surco, aducir un caudal muy reducido a los mismos (que demoraba más de 24 horas en recorrer toda su longitud) y manejar simultáneamente un número muy grande de surcos (200). Con esta operación la eficiencia de aplicación (ea) medida fue del 16%.

Se regó luego otra parcela similar, pero aduciendo el agua a los surcos mediante una tubería con salidas regulables frente a cada uno, utilizando dos caudales: primero se mojaba el surco con el máximo caudal que no generara erosión, y cuando éste

llegaba al final del surco se reducía a un caudal apenas superior al infiltrado. Con esta operación la eficiencia de aplicación aumentó al 78%.

En resumen, no se puede decir que la eficiencia de aplicación de un método de riego es baja si el mismo no fue diseñado u operado correctamente.

#### En riego por aspersión

Como ya fue dicho, en los riegos por aspersión se asume que las mayores pérdidas se dan por evaporación directa y por deriva por el viento.

También se asume que no deberían existir pérdidas por escurrimiento. Esto es efectivamente cierto en los equipos de aspersión estacionarios, los cuales son diseñados con el criterio que la intensidad de precipitación no debe superar la velocidad de infiltración del suelo al final del riego. Sin embargo, en los equipos de aspersión de movimiento continuo el equipo no aplica una intensidad de precipitación media durante todo el tiempo de riego, sino que aplica una altísima intensidad durante un corto período de tiempo.

La pluviometría máxima descargada por un pivote central será mayor cuanto mayor sea la longitud de la tubería, cuando mayor sea la velocidad de giro, y cuanto menor sea el diámetro mojado por los emisores. En los pivotes modernos, cuya longitud generalmente no es inferior a los 400 m, que utilizan como emisores toberas pulverizadoras que mojan diámetros de 6 a 12 m, la precipitación instantánea en el extremo suele ser mayor a los 150 mm hora<sup>-1</sup>.

Por supuesto que en estos casos siempre se supera la velocidad de infiltración del suelo, por lo que la existencia o no de escurrimiento estará relacionada fundamentalmente con la capacidad de almacenar agua en la superficie del mismo.

Esta capacidad dependerá fundamentalmente de la pendiente general de la parcela a regar, de la microtopografía o rugosidad de la superficie y de la textura del suelo.

Para estimar la dosis máxima de riego para diferentes situaciones, se presenta a continuación el cuadro 2, adaptado de Tarjuelo (2005).

Como se desprende del cuadro anterior, en las condiciones predominantes del Uruguay, con pendientes mayores al 3% y suelos francos a arcillosos,

**Cuadro 2.** Valores orientativos de dosis máximas de riego (mm) según el tipo de suelo y el grado de pendiente.

		Pendiente en %		
		> 5	3 – 5	1 – 3
Suelo	> 5	3 – 5	1 – 3	0 – 1
Arcilloso	< 3	< 3 – 8	13 – 18	20 – 25
Franco	< 3	8 – 13	18 – 20	23 – 33
Arenoso	10 - 18	20 – 28	36 – 43	48 – 56

la dosis máxima de riego posible de ser aplicada sin que se produzca escurrimiento es muy limitada. Esto se agrava aún más si consideramos que con la técnica de la siembra directa, ampliamente difundida, la rugosidad del suelo es mucho menor.

Estas son las razones principales por las que en el Uruguay se observa muy frecuentemente escurrimiento en los tramos finales del pivote.

Otro factor a tener en cuenta es que con este método de riego se recomiendan aumentar las necesidades netas del cultivo para tener en cuenta la alta frecuencia del riego, las mayores pérdidas por evaporación y arrastre y el mayor consumo del cultivo por la fácil disponibilidad del agua. Keller y Bliesner (1990) proponen aumentar la ETC estacional en un 2, un 9 o un 20% para cereales de grano, forrajes y pastos, respectivamente.

#### En riego por goteo

En Uruguay es casi inexistente el uso del riego por goteo para cultivos extensivos y forrajes. Sin embargo, en Europa y algunos países de América Latina se están llevando adelante políticas de «modernización» de los regadíos, que buscan incentivar la sustitución de los riegos por gravedad por riegos por goteo.

Sin abundar demasiado, sí se puede afirmar que en las condiciones del Uruguay el volumen total de agua utilizado por el riego localizado en alta frecuencia en una temporada es significativamente mayor que el utilizado por un método «tradicional» que recargan el suelo (aspersión o gravedad), ello se debe al mejor aprovechamiento de las lluvias que hacen estos últimos (García Petillo, 2010).

También se ha detectado en diferentes suelos del Uruguay, que sistemáticamente se producen pérdidas de agua por percolación profunda, muy superio-

res a las citadas en la bibliografía (García Petillo *et al.*, 2005)

El riego por superficie es muy difícil de instrumentar y requiere mano de obra muy calificada

Así como se discutió en los puntos I. y II. que esas afirmaciones eran en realidad pre conceptos en contra del riego por gravedad y que tenían poca validación en la práctica, este punto III contiene las principales limitantes reales para aplicar este método.

En el Uruguay, por la abundancia y la distribución de sus precipitaciones, nunca fue necesario el riego como práctica imprescindible para producir. Por lo tanto, nunca existió una cultura ancestral del riego, que como en todas las culturas ancestrales manejara el riego por gravedad. Las únicas excepciones fueron los cultivos del arroz y la caña de azúcar, y justamente ambos se desarrollaron bajo riegos por gravedad (inundación en el arroz, surcos en la caña).

Posteriormente, y debido a la necesidad de aumentar y estabilizar la producción, y sobre todo, la calidad de los productos, se desarrolló el riego en las producciones más intensivas (horticultura, fruticultura, citricultura). Debido al alto valor de la producción de estos sistemas, se desarrollaron directamente con los riegos a presión (aspersión y goteo) sin pasar por la etapa histórica previa del riego por gravedad.

Por todo lo anterior, el agricultor, el ganadero, el tambero, no incluyen el riego dentro de su cultura; por lo tanto tendrán a desechar toda práctica que visualicen como «complicada» y elegirán la que les resulte «fácil».

El país se enfrenta al desafío de desarrollar el riego en los cultivos de verano y en los forrajes, es decir, productos de menor valor. El método de gravedad es el que tiene los menores costos de inver-

sión, es el que tiene los menores costos operativos, y como ya se discutió, no es significativamente peor que los métodos presurizados en cuanto al aprovechamiento del agua. Por lo tanto parecería una clarísima opción tecnológica si se lograra transformar lo «complicado» en «fácil».

El punto ahora es tratar de discernir porqué, en las condiciones de nuestro país regar por superficie es complicado.

En primer lugar, un terreno ideal para ser regado por superficie es aquel que tiene pendiente en un solo sentido, y de aproximadamente 0,5%. En nuestro país, un terreno con tales características probablemente tendría problemas de excesos de agua y no son los generalmente utilizados por la agricultura que tradicionalmente es de secano. Es decir, que los suelos agrícolas regables, tienen casi siempre pendientes significativamente superiores a las generalmente utilizadas en los países con gran desarrollo de éstos métodos de riego.

En segundo lugar, la práctica habitual en el mundo es realizar la nivelación de los terrenos, modificando la topografía natural del terreno y llevándolo, mediante grandes movimientos de tierra a terrenos con pendientes fijas y superficies perfectamente regulares. En el caso de Uruguay, los suelos agrícolas tienen un horizonte superficial de muy escaso espesor, por lo que no es posible realizar grandes cortes sin dejar expuestos los horizontes sub-superficiales, de menor fertilidad natural y sobre todo, de muy malas condiciones físicas para el desarrollo de los cultivos.

Por lo tanto, es necesario adaptar el diseño de los riegos por gravedad a las condiciones topográficas y edáficas del Uruguay.

## Discusión

### Adaptación del riego por superficie a las condiciones del Uruguay

En primer lugar, se deberá eliminar la micro rugosidad del terreno, como condición previa e imprescindible para regar por superficie.

Como ya fue señalado, en nuestras condiciones no se pueden hacer grandes movimientos de tierra, pero sí se deben hacer tareas de «conformación»

del terreno, emparejando su superficie. Para ello se pueden utilizar tanto las herramientas especialmente diseñadas para ello (*land plane*) como rastras adaptadas a tales efectos.

Así como es impensable para un productor arrocero no realizar el emparejamiento del terreno, también es impensable para la mayoría de los productores agrícolas y sus técnicos la realización de esta práctica. Por lo tanto, el primer paso para tener éxito con el riego por superficie es generar un cambio cultural que incorpore la práctica del emparejamiento del terreno, siempre que sea necesario.

En segundo lugar, se deberán sistematizar los terrenos de forma que se pueda manejar el agua eficientemente. Durán y García Petillo (2007) proponen un modelo de sistematización cuando la pendiente del terreno supera el 2,5%.

En líneas generales, para las situaciones de pendientes menores se deberán instalar las cabeceras de los cuadros con sus conducciones de agua con una pendiente mínima (0,1%) y los surcos o las melgas rectangulares con bordos irán en el sentido de la máxima pendiente.

En este caso, la forma más conveniente de aducir agua a los surcos es mediante tuberías de gran diámetro y con salidas regulables frente a cada surco. Por motivos de costos generalmente se utilizarán tuberías de polietileno colapsables, de poco espesor de pared, por lo tanto de bajo costo de inversión y corta vida útil.

La aducción de agua a las melgas se podrá hacer utilizando estas mismas tuberías, o simplemente cortando la acequia conductora frente a cada melga.

Cuando las pendientes superan ese límite del 2 – 2,5%, entonces las cabeceras de los cuadros y las conducciones irán en el sentido de la máxima pendiente, y los surcos tendrán una pendiente controlada y variable entre 0,5 y 1,75%. En este caso, no se podrán hacer melgas con bordos, sino que se harán canales desbordables, con una pendiente del 0,1%.

La conducción en la cabecera y la aducción de agua a los surcos en este caso deberá hacerse con tuberías también con salidas regulables, pero de diámetros menores, de forma de compensar la ganancia de carga por la topografía con las pérdidas de carga por fricción.



Durán y García Petillo (2007) analizan este tema y proponen tuberías de PVC, con DN 63 mm, funcionando en unidades de 24 m (cuatro tubos de 6 m) cada una.

En el caso de melgas en contorno, la conducción de agua en la máxima pendiente y la aducción de agua a los canales desbordables se debería hacer utilizando tuberías de polietileno de bajo valor.

Dado que se trata de desarrollar el riego de cultivos densos (forrajeros) o de cultivos en que cada vez está más extendida la siembra directa (maíz, soja, sorgo, etc.), en la mayoría de los casos no se podrá utilizar el método de riego por surcos, que es en el que se ha hecho más investigación.

En los próximos años, se deberá investigar en la tecnología del riego por melgas, para poder generar un paquete utilizable en las diferentes condiciones del Uruguay.

## Conclusiones

Parece clara la tendencia de los sectores agrícolas, ganaderos intensivos y lecheros a intensificar sus sistemas de producción. También es clara la demanda política, social y comercial (certificación de procesos) de que dicha intensificación se realice con una visión sostenible en el uso de los recursos naturales, principalmente suelo y agua.

Dicha intensificación deberá contar con el riego como una de las prácticas a incorporar.

Cada método o sistema de riego podrá contar con ventajas comparativas sobre los demás para determinada situación particular.

Los métodos de riego por superficie en general, y el riego por melgas en particular, es el que tiene los menores costos de inversión y los menores costos operativos, por lo que podría ser una opción importante para desarrollar el riego en los cultivos extensivos.

Para que esto se concrete, se deberán desarrollar y validar modelos de riego (sistematización, conformación, aducción), que a los menores costos ya señalados agreguen un manejo eficiente del agua, el cuidado del recurso suelo, y que sean fáciles de operar por los productores.

## Bibliografía

- Durán P, García Petillo M. 2007. Desarrollo de tecnologías apropiadas para riego por surcos en terrazas paralelas y tierras con pendiente. *Ingeniería del Agua*, 14(3): 187-198.
- García Petillo M. 2010. Análisis crítico del método de riego por goteo en las condiciones del Uruguay. *Agrociencia*, 14(1): 36-43.
- García Petillo M, Hayashi R, Puppo L, Morales P. 2005. Desarrollo del bulbo húmedo bajo riego localizado en suelos estratificados del Uruguay (CD-ROM). En: II Congreso Internacional de Riego y Drenaje Cuba-Riego, 25-28 de octubre de 2005, La Habana, Cuba.
- Hanson B, Bowers W, Davidoff B, Kasapligil D, Carvajal A, Bendixen W. 1995. Field performance of microirrigation systems. En: *Microirrigation for a changing world: conserving resources/preserving the environment*. Proc. 5th. Int. Microirrigation Congress. Orlando, Florida. St. Joseph, MI: ASAE pp. 769-774.
- Keller J, Bliesner RD. 1990. *Sprinkle and trickle irrigation*. New York: The Blackburn Press. 652p.
- Pereira LS, de Juan JA, Picornell MR, Tarjuelo JM. 2010. El riego y sus tecnologías. Albacete: CREA-UCLM. 296p.
- Pereira LS, Trout TJ. 1999. Irrigation methods. En: van Lier HN, Pereira LS, Steiner FR (Eds.). *CIGR Handbook of agricultural engineering*. vol. I: Land and water engineering. Michigan: ASABE. pp. 297-379.
- Pereira LS. 1999. Higher performances through combined improvements in irrigation methods and scheduling: a discussion. *Agricultural Water Management*, 40: 153-169.
- Tarjuelo JM. 2005. *El riego por aspersión y su tecnología*. Madrid: Mundi-Prensa. 581p.