

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado



1. Introducción y objetivos

2. Unidad de riego

3. Fases del riego localizado

4. Indicadores de calidad del riego

5. Conclusiones y recomendaciones



Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera
CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, PESCA Y DESARROLLO RURAL



Unión Europea
Fondo Europeo de Desarrollo Regional

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado. / [Lozano, D., Ruiz, N., Gavilán, P.]. - Córdoba. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 2018. 1-20 p. Formato digital (e-book) - (Área de Agronomía y Medio Ambiente)

Riego localizado - Uniformidad - Eficiencia - Pendiente



Este documento está bajo Licencia Creative Commons.
Reconocimiento-No comercial-Sin obra derivada.
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es>

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado.

Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural.

Córdoba, Abril de 2018.

Autoría:

David Lozano Pérez¹

Natividad Ruiz Baena¹

Pedro Gavilán Zafra¹

¹ IFAPA, Centro Alameda del Obispo

² IFAPA, Centro La Mojonera

Este trabajo ha sido cofinanciado por el proyecto de Transferencia de Tecnología al Regadío. SAR (PP.TRA.TRA201600.3) y por el proyecto “Gestión Sostenible del Regadío en la Agricultura Intensiva de Andalucía” (RTA2015-00029-C02)

Los autores agradecen la colaboración a la empresa Masia Ciscar S.A. y a los técnicos y encargados de la empresa que han colaborado en la realización de este trabajo.

El Dr. David Lozano agradece la financiación de su contrato al Subprograma de Incorporación del Programa Estatal de Promoción del Talento y su Empleabilidad del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016 (DOC-INIA), cofinanciado por INIA y por el Fondo Social Europeo (FSE).

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado

1.- Introducción y objetivos

Una programación óptima del riego se basa tanto en el conocimiento de las **Necesidades Hídricas del Cultivo** como en la **Eficiencia de Aplicación del Riego**. El cálculo de las necesidades de agua del cultivo ha tenido una atención prioritaria y un gran desarrollo teórico y práctico. A este desarrollo ha contribuido especialmente la metodología propuesta por la FAO (Manuales nº 24 y 56). Además, la Teledetección, los vuelos no tripulados con cámaras térmicas y, más recientemente, los algoritmos predictivos basados en Inteligencia Artificial han abierto nuevos caminos.

La eficiencia de aplicación del riego se asocia habitualmente al método de riego, asumiendo que los sistemas de **riego localizado** tienen valores de **eficiencia de aplicación superiores al 90%** (el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir asigna un 95% de eficiencia de aplicación al riego localizado). Por tanto, se suele asumir que en un sistema de riego localizado más del 90% del agua aplicada es utilizada por la planta.



Figura 1. Parcela de fresa en pendiente con cinta de riego localizado

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado

1.- Introducción y objetivos

Sin embargo, la eficiencia de aplicación no es un indicador estático, sino que depende, entre otros factores, de la **uniformidad de distribución del riego (UD)**, de la adecuada **estimación de las necesidades de agua del cultivo** y de la **estrategia de riego** (máxima producción o riego deficitario).

La **metodología estándar** para el cálculo de la UD de un sistema de riego localizado de un cultivo en línea, consiste en evaluar el caudal emitido por 16 emisores de una unidad de riego (Fig. 2). Para ello, se mide el volumen arrojado por los 16 emisores durante un **intervalo de 3 a 5 minutos**. Este intervalo de tiempo se selecciona durante la fase en la que el **sistema de riego tiene la presión estable** en todos sus puntos. Por ejemplo, en un riego de 15 minutos se esperarían 5 minutos desde el inicio del riego y a continuación se mediría el volumen arrojado por los 16 emisores en los siguientes 5 minutos.

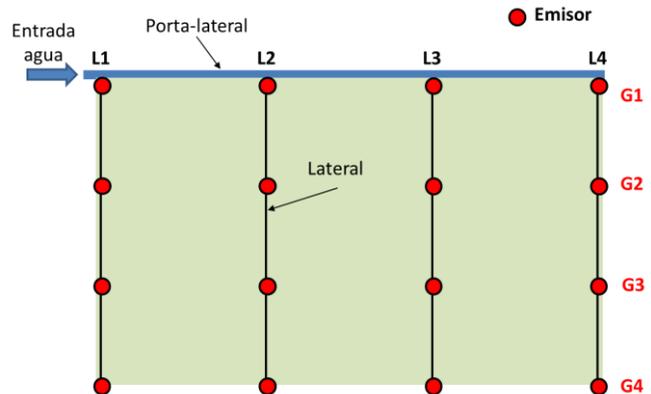


Figura 2. Esquema de evaluación de la Uniformidad de Distribución propuesto por Merriam y Keller, 1978⁽¹⁾

(1) Merriam, J. L., Keller, J. (1978). Farm irrigation system evaluation: A guide for management. *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*.

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado

1.- Introducción y objetivos

Esta metodología estándar se ha demostrado útil en muchas situaciones. Sin embargo, en el caso de **parcelas con pendiente**, cuando se usan cintas de riego estándar (no-antidrenantes) y estrategias de **riego de alta frecuencia** (pulsos de riego de corta duración) es necesario incluir los efectos de las fases de llenado y vaciado del sistema de riego en el cálculo de la UD real del sistema de riego. Además, el conocimiento de la variabilidad espacial en la aplicación del agua es imprescindible para poder realizar una riego de precisión.

Para abordar el análisis del volumen de agua arrojado por cada emisor del sistema en una parcela con pendiente, y su efecto sobre la UD, se ha generado un **modelo empírico** basado en una unidad estándar de riego localizado con pendientes ascendentes y descendentes.

OBJETIVO

Cuantificar el efecto de la pendiente sobre la calidad de un riego localizado, evaluando la uniformidad de distribución real y la eficiencia de aplicación potencial del riego en una parcela comercial de fresa con pendiente.



Figura 3. Midiendo volumen arrojado por gotero

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado

2.- Unidad de riego

2.1.- Descripción de la unidad de riego

La unidad de riego localizado utilizada para la generación del modelo está ubicada en la finca La Bota, cerca de La Redondela (Huelva). La unidad de riego se compone de 12 invernaderos de fresa. Cada invernadero tiene 6 lomos separados 1.1 m. La dimensión de la **unidad de riego es de 3485 m²** (79,2 m de ancho y 44 m de largo). La unidad de riego tiene una pendiente transversal ascendente media del 0.3% y una pendiente longitudinal descendente media del 3% (Fig. 4).

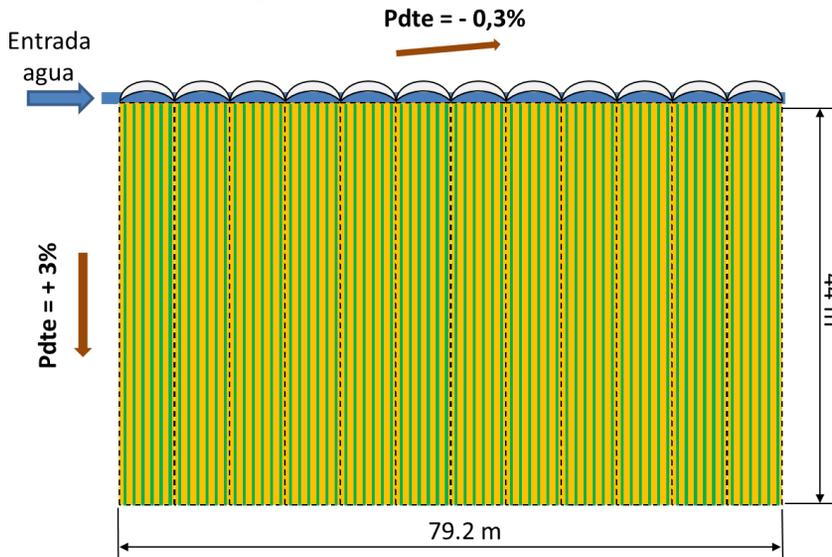


Figura 4. Esquema de la unidad de riego evaluada

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado

2.- Unidad de riego

2.2.- Descripción de la malla de puntos de medida

La tubería porta-laterales de la unidad de riego fue de polietileno de 63 mm de diámetro. En la tubería porta-laterales se insertaron **72 cintas de riego** de 16 mm de diámetro. La presión se reguló a la entrada de la unidad de riego. El volumen de riego aplicado se midió con un contador situado en cabeza de la unidad de riego. La cinta de riego usada aplicaba un **caudal de 5.25 l/h/m** a una presión nominal de **1 bar**. La separación de goteros fue de 0.2 m.

Además de los 16 emisores descritos en la metodología estándar (puntos rojos, Fig. 5), se seleccionaron otros 44 emisores para realizar medidas de caudal (puntos azules, Fig. 5). La posición de los emisores adicionales se eligió para **caracterizar mejor todas las fases del riego**. La presión se midió en los 16 puntos de la metodología estándar.

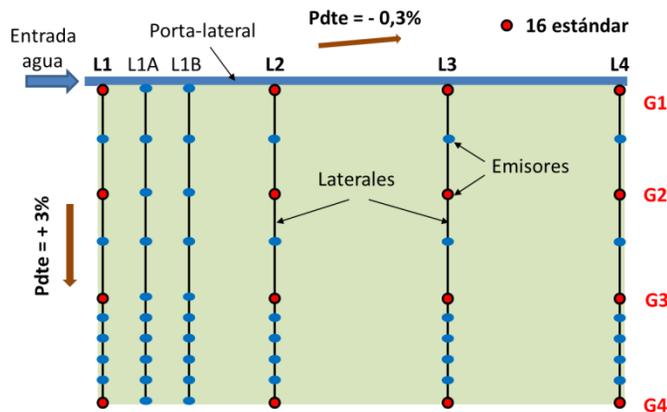


Figura 5. Esquema de medidas de volumen arrojado en 60 emisores

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado

3.- Fases del riego localizado

3.1.- Fase de llenado

La fase de llenado va desde el comienzo del riego hasta la estabilización de las presiones en todos los puntos del sistema de riego.

Para estimar el volumen arrojado por los emisores durante la fase de llenado, se midió la presión en continuo durante un pulso de riego de 5 minutos en los 16 puntos estándar (puntos rojos, Fig.5). Para ello se utilizaron un total de 16 manómetros de rango 0-2.5 bar de manera simultánea. La evolución de las presiones en los 16 manómetros se registró con cámaras de vídeo (Fig. 6). Visionando las grabaciones se anotó la presión que marcaban los 16 manómetros cada 10 segundos.

Los datos de presión en los 16 puntos medidos se transformaron en caudal a través de la ecuación de descarga del gotero suministrada por el fabricante. El volumen suministrado en cada uno de los 16 emisores durante la fase de llenado se calculó en intervalos de 10 segundos utilizando los valores de caudal mínimo y máximo en cada intervalo. A partir de estos 16 datos de volumen, se realizó una interpolación para asignar volúmenes de la fase de llenado a cada emisor de la unidad de riego en función del tiempo.



Figura 6. Grabación de la medida de presión en continuo con cámara deportiva

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado

3.- Fases del riego localizado

3.1.- Fase de llenado

La **fase de llenado** termina de forma simultánea en todos los puntos de la unidad de riego. En el caso de la unidad de riego analizada tuvo una duración de **160 segundos** (Fig.7).

En el **gotero más cercano** se produce un aumento progresivo de la presión hasta su estabilización (línea azul, Fig.7). El paso de presión cero a presión estable es más brusco conforme más alejado a la entrada del agua se encuentra el emisor. En el **gotero más alejado** (línea roja, Fig.7) **dura apenas unos pocos segundos**. Este fenómeno ocurre porque cuando el agua llega al último lateral la unidad de riego el resto de laterales ya está en carga (con la presión estable).

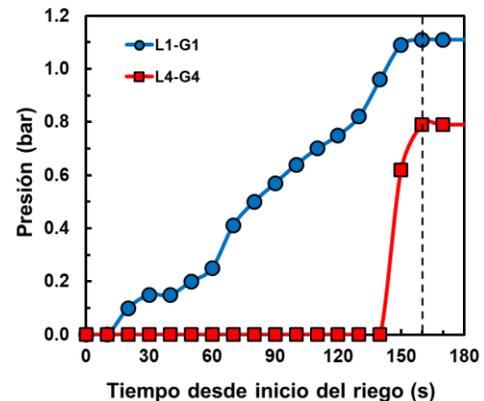
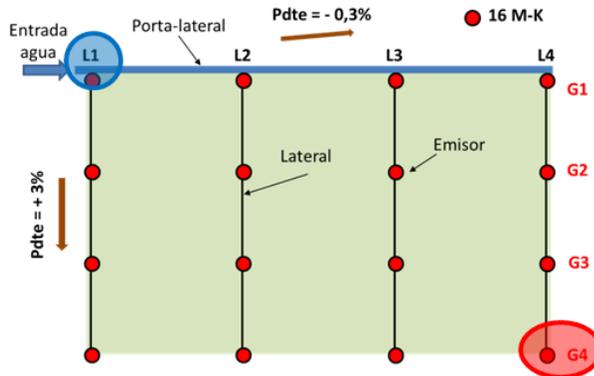


Figura 7. Evolución de la presión en la fase de llenado en el punto más cercano y más alejado de la entrada de agua en la unidad de riego

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado

3.- Fases del riego localizado

3.1.- Fase de llenado

La Figura 8 muestra los volúmenes estimados a partir de las medidas de presión en continuo en 16 puntos durante los 160 segundos de la fase de llenado. Para generar el modelo de análisis empírico se realizaron interpolaciones de estos 16 valores de volumen para asignar un volumen arrojado a cada emisor de la unidad de riego durante la fase de llenado.

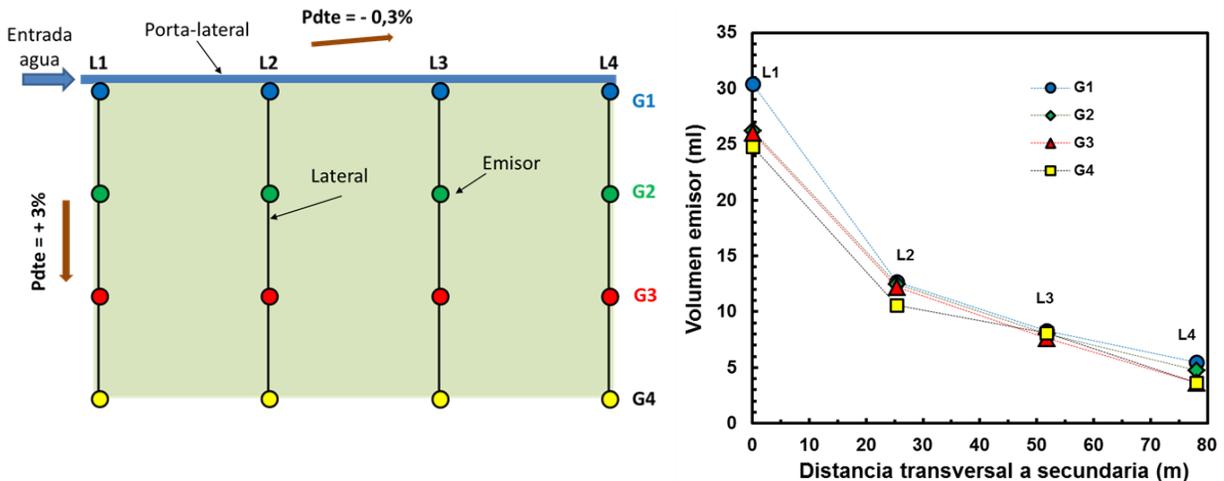


Figura 8. Volúmenes estimados en cada uno de los 16 emisores donde se midió evolución de la presión en al fase de llenado

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado

3.- Fases del riego localizado

3.2.- Fase de tubería en carga (presiones estables)

Durante la fase de tubería en carga se midieron las **presiones en los 16 puntos estándar** (Fig.9) en 4 cuatro riegos de diferente duración. Para medir la presión en los laterales se utilizaron tomas manométricas instaladas en los 16 puntos considerados en una evaluación estándar. La **presión a la entrada de la unidad de riego se estableció en 1 bar**. Los valores de presión asignado a cada uno de los 16 puntos durante esta fase son los valores medios de los cuatro riegos.

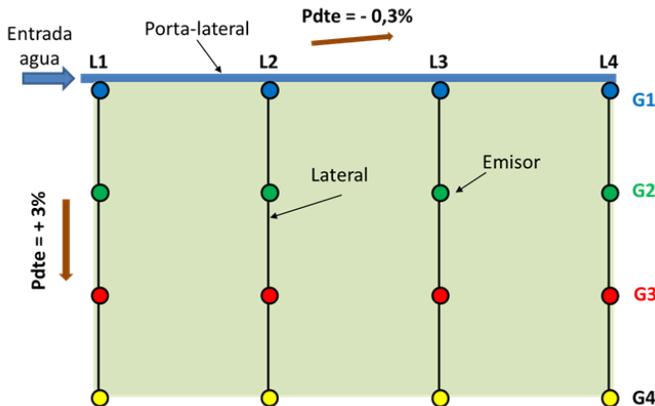


Figura 9. Puntos de medida de presión (a) y ejemplo de manómetro y medida de presión (b)

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado

3.- Fases del riego localizado

3.2.- Fase de tubería en carga (presiones estables)

Al objeto de generar el modelo empírico, se realizó una interpolación de los 16 valores de presión medidos en campo (Fig.9) para asignar a cada emisor de la red una presión de trabajo durante esta fase. Posteriormente la presión se transformó en caudal a través de la ecuación de descarga del gotero suministrada por el fabricante.

La Figura 10 muestra como la **pendiente descendente** de los laterales provoca una **mayor presión** al alejarnos de la entrada del agua en el lateral (Fig.10). La **pendiente ascendente** del porta-ramal tiene el **efecto contrario**, disminuyendo notablemente la presión conforme los laterales se alejan de la entrada de agua de la unidad de riego.

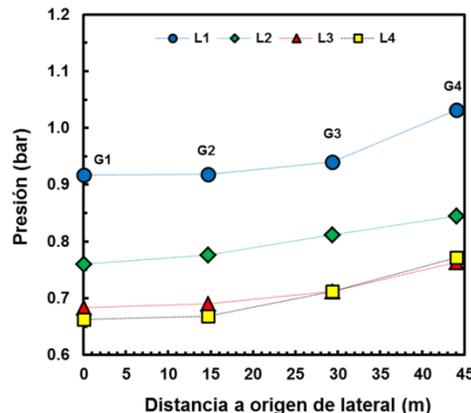


Figura 10. Medidas de presión en los 16 puntos estándar

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado

3.- Fases del riego localizado

3.3.- Fase de vaciado

La fase de vaciado **comienza una vez finalizado el riego y termina con el vaciado total de los laterales de riego**. La fase de vaciado de cintas individuales de riego localizado en pendiente ha sido descrita por Baeza y col. 2014⁽²⁾ en condiciones de laboratorio. En este estudio a nivel de parcela hemos considerado que la fase de vaciado termina dos horas después de finalizar el riego.

Basándonos en los resultados obtenidos en condiciones de laboratorio, incrementamos el número de puntos de medida en el último tercio de la cinta de riego al objeto de realizar una mejor caracterización. Finalmente, **se midió el volumen arrojado durante la fase de vaciado por 60 emisores** (Fig. 5). Los datos se tomaron en 4 cuatro riegos de diferente duración, con la tubería nueva y recién instalada. Los volúmenes se almacenaron en recipientes plásticos de 0.7 l situados bajo los goteros. Posteriormente, estos volúmenes se midieron con probetas de 0.5 l de capacidad y 0.05 l de resolución.



Figura 11. Dos recipientes de medida de volumen.
 Uno para el pulso de riego y otro para la fase de vaciado

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado

3.- Fases del riego localizado

3.3.- Fase de vaciado

Al objeto de generar el modelo empírico de la unidad de riego, se realizó un ajuste entre el volumen arrojado por cada uno de los 60 emisores seleccionados (Fig. 12a) y su distancia desde el origen del lateral (Fig. 12b). Las curvas de descarga de los 6 laterales evaluados se agruparon en 2 zonas. La zona roja de la Fig. 12a recibe la influencia del vaciado de la tubería porta-laterales, al estar ésta tubería en pendiente ascendente, mientras que la zona azul no se ve influenciada. Este conocimiento de la relación entre la posición del gotero en el lateral y el volumen arrojado durante la fase de vaciado, permitió la estimación del volumen arrojado por cada emisor de la unidad de riego utilizando un ajuste polinómico.

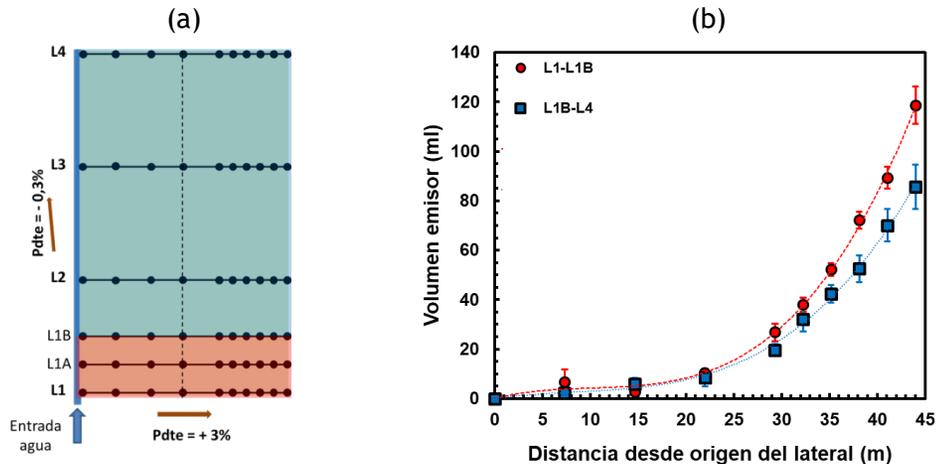


Figura 12. Esquema de puntos de medida de volumen (a) y curvas de volumen de vaciado para las zonas azul y roja del esquema (b)

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado

4.- Indicadores de calidad del riego

4.1.- Influencia de las fases del riego en el reparto del volumen aplicado por emisor

Generar un modelo empírico en una unidad de riego con pendiente permite realizar simulaciones con distintas duraciones del pulso de riego. En cada simulación se calculó el volumen arrojado por cada uno de los 15.840 emisores de la unidad de riego.

La Figura 13 muestra la **influencia de las fases** de llenado, de tubería en carga y de vaciado en función de la duración del pulso de riego. Para un pulso de riego de 5 minutos el volumen arrojado durante las fases transitorias del riego (llenado y vaciado) puede suponer la mitad del volumen total aplicado. Para pulsos superiores a 20 minutos estas fases transitorias tienen una menor influencia y representan menos de un 10% del volumen total arrojado por los goteros

Por tanto, para pulsos de riego de menos de 20 minutos en parcelas con pendiente, las fases de llenado y vaciado no pueden ser ignoradas en el cálculo de los indicadores de calidad del riego

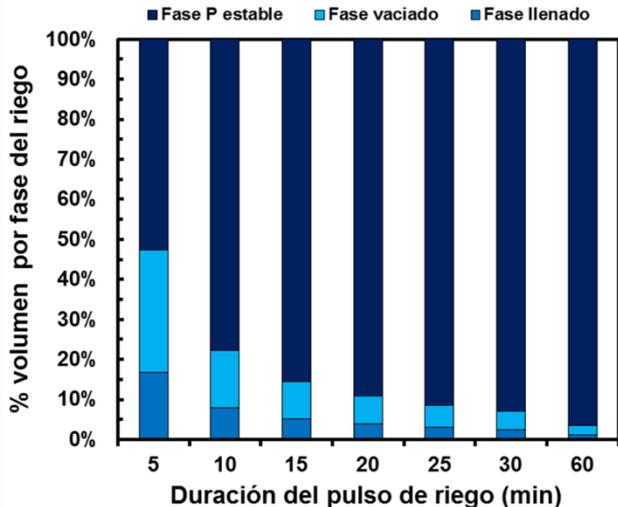


Figura 13. Distribución del volumen arrojado por cada emisor en función de la fase del riego y de la duración del pulso de riego

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado

4.- Indicadores de calidad del riego

4.2.- Uniformidad de Distribución del riego (UD)

Para la evaluación de la UD hemos seleccionado el indicador *Uniformidad de distribución del menor cuarto* ⁽³⁾, que es la relación entre el caudal medio del 25% de los emisores que arrojan un menor volumen de riego y el caudal medio de los emisores considerados.

En el presente trabajo hemos calculado la **Uniformidad de distribución** según:

1.- Metodología estándar (valores medidos en campo).
 Se considera el volumen arrojado por 16 emisores durante un periodo de tiempo de la *fase de tubería en carga* (presiones estables) para el cálculo de la *UD_estándar*.

2.- Modelo empírico de la Unidad de riego
 Se incluye el *efecto de todas las fases del riego* desde el inicio hasta dos horas después de haber terminado el riego. Para el cálculo de la *UD_real* se consideran los volúmenes arrojados por todos los emisores de la unidad.



Figura 14. Puntos de recogida de volumen al final del lateral de riego

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado

4.- Indicadores de calidad del riego

4.2.- Uniformidad de Distribución del riego (UD)

La Uniformidad de distribución del riego (UD) calculada según la **metodología estándar** (UD_Estándar) no contempla los efectos de las fases de llenado y vaciado, lo que provoca una **sobreestimación de la UD real del riego**. Esta sobreestimación es tanto mayor cuanto menor es la duración del pulso de riego (Fig.15).

La UD calculada a partir de los datos del modelo (UD_Real) muestra el efecto de las fases de llenado y vaciado sobre este indicador. Por ejemplo, en pulsos de riego de 5 minutos la UD calculada con la metodología estándar (UD_Estándar) sería del 93%, mientras que la UD calculada con el modelo empírico (UD_Real) sería del 65% (Fig.15). A medida que aumenta la duración del pulso de riego, la influencia de las fases de llenado y vaciado disminuye, por lo que el valor de la UD_Real se va estabilizando y acercando a la UD_Estándar, aunque sin llegar a alcanzarla (Fig.15).

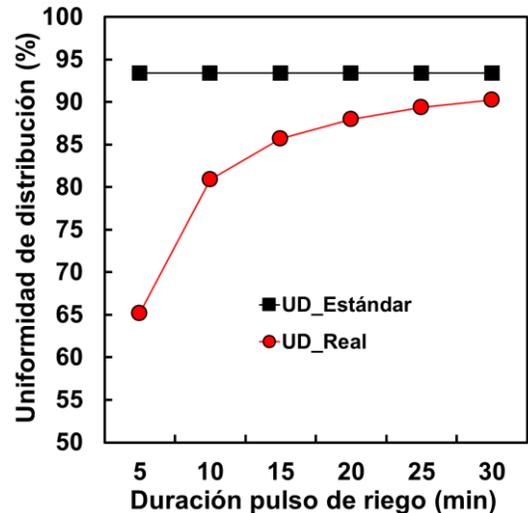


Figura 15. UD calculada con la metodología estándar (UD_Estándar) y a partir del modelo empírico (UD_Real)

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado

4.- Indicadores de calidad del riego

4.3.- Eficiencia de aplicación potencial del riego (Ea_{pot})

La Eficiencia de aplicación potencial del riego (Ea_{pot}) puede considerarse un indicador de eficiencia del uso del agua en una estrategia de riego déficit nulo. Este indicador es el **ratio entre el volumen aprovechado realmente por la planta frente al volumen total de riego suministrado**.

La **estrategia de déficit nulo** es la más habitual en la horticultura intensiva y su objetivo es alcanzar la **máxima producción** garantizando que la planta que recibe menos agua recibe la suficiente para cubrir todas sus necesidades.

La Eficiencia de aplicación potencial del riego (Ea_{pot}) evoluciona con la duración del pulso de riego (Fig.16). En el caso analizado, riegos inferiores a 20 minutos provocan eficiencias de aplicación potenciales inferiores al 80%. Incluso para riegos de 30 minutos la eficiencia de aplicación potencial se sitúa en torno al 85% (inferior al 90-95% que se suele asumir por defecto en este tipo de riego).

Por tanto, para una adecuada estimación de la eficiencia de aplicación en la **programación del riego** es imprescindible la consideración de **todas las fases del riego localizado**.

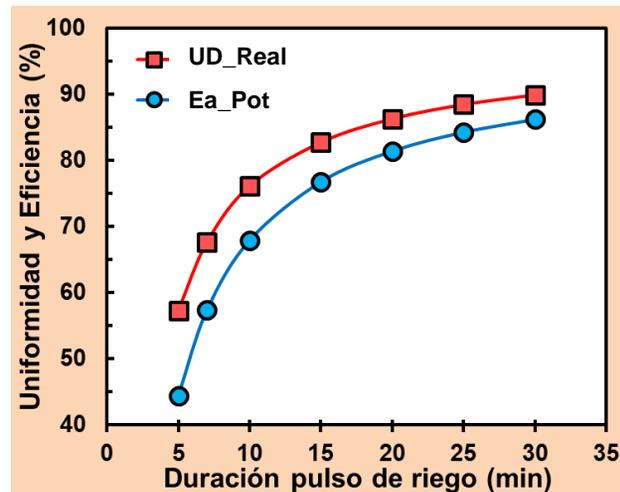


Figura 16. Evolución de la Uniformidad de distribución real (UD_{Real}) y la Eficiencia de aplicación potencial (Ea_{Pot}) en función de la duración del pulso de riego

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado

5.- Conclusiones y recomendaciones

- ❑ La uniformidad de distribución real del riego y la eficiencia de aplicación varían en función de la duración del pulso de riego. Esto ocurre como consecuencia de la influencia que tienen las fases de llenado y de vaciado del sistema de riego. Esta influencia es tanto mayor cuanto menor es la duración del pulso de riego y es especialmente relevante en parcelas con pendiente.

- ❑ La sobreestimación de la uniformidad de distribución y de la eficiencia de aplicación potencial del riego cuando se usa la metodología estándar de evaluación de los sistemas de riego, que sólo considera la fase de presiones estables, puede contribuir a diseñar o programar el riego de forma incorrecta.

- ❑ Nuestra recomendación es que en el caso de parcelas con pendiente, el protocolo estándar de evaluación de uniformidad de distribución en parcelas de riego localizado (16 emisores), debe considerar el total del volumen arrojado por cada emisor, lo que implica medir el agua aportada durante el tiempo de riego y el tiempo de vaciado de las tuberías.

Efecto de la Pendiente en la Calidad de un Riego Localizado

Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera

Avenida de Grecia s/n
41012 Sevilla (Sevilla) España
Teléfonos: 954 994 595 Fax: 955 519 107
e-mail: webmaster.ifapa@juntadeandalucia.es
www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa



www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa



Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera
CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, PESCA Y DESARROLLO RURAL



Unión Europea
Fondo Europeo de Desarrollo Regional