

[FERTIRRIGACIÓN COLECTIVA EN COMUNIDAD DE REGANTES]

Estudio, evaluación y mejora de la distribución de fertilizantes en redes de riego a presión

M.A. Jimenez Bello

Dr. Ing. Agrónomo. Instituto Ing. Agua y Medio Ambiente (IIAMA)

F. Martínez Alzamora

Dr. Ing. Industrial. Instituto Ing. Agua y Medio Ambiente (IIAMA)

J. Arviz

Dr Ing. Agrónomo, Grupo. Centro Valenciano de Estudios para el Riego (CVER)

J. Manzano

Dr. Ing. Agrónomo. Centro Valenciano de Estudios para el Riego (CVER)

La modernización de los sistemas tradicionales de riego en redes colectivas a presión, permite la opción de realizar la fertirrigación de forma colectiva dentro de una comunidad de regantes, aportando las ventajas que conlleva esta práctica. No obstante, para llevar a cabo una gestión eficiente de la fertirrigación se requiere alcanzar cierto grado de uniformidad en la distribución del fertilizante. Para alcanzar este objetivo es necesario reproducir como se distribuye el fertilizante en la red para evaluar y proponer estrategias que permitan mejorar la distribución del fertilizante.



Conducciones de bombas

En este artículo se describe la evaluación sobre un caso de estudio real y las mejoras propuestas. Los resultados muestran la posibilidad de mejorar la distribución de fertilizante por medio de una programación adecuada del riego. A su vez se pone de manifiesto las dificultades que entraña conseguir una distribución uniforme del fertilizante debido a los varios condicionantes existentes en la gestión.

La implantación de sistemas de distribución de agua a presión, como técnica habitual en la modernización de regadíos, permite un uso más eficiente de los recursos disponibles, en tanto en cuanto que se puede tener un control exhaustivo sobre las dotaciones aplicadas, adecuándolas a las demandas reales siempre que se lleve a cabo una gestión adecuada. En particular, el riego localizado permite la aplicación de nutrientes en el agua de riego (fertirrigación), de tal forma que se puedan cubrir los requerimientos hídricos y nutritivos utilizando pa-

ra ello un mismo sistema de distribución, y alcanzando altas eficiencias globales de aplicación. Si bien la fertirrigación ha sido práctica habitual en sistemas individuales dotados de su propio sistema de inyección, en los últimos años la proliferación de obras comunitarias de riego a presión ha permitido incorporar en primera instancia la filtración colectiva, y cuando las características de los cultivos y de la red hidráulica lo permiten, la fertirrigación comunitaria. Esta práctica, que hace pocos años podía resultar una utopía, es hoy una realidad, habiendo sido incorporada a numerosas comunidades de regantes cuyas infraestructuras hidráulicas cubren superficies discretas (200 -1000 ha) y donde impera el monocultivo.

[Distribución de fertilizante

Ha sido estudiada a nivel de subunidad en el riego localizado, evaluando como afecta el tipo de inyector

(Bracy *et al*2003), y éste y el tipo de emisor (Jiusheng *et al* 2007).

Sin embargo la distribución de fertilizante en la red de transporte no ha sido estudiada, ni desde la perspectiva del diseño, ni de la perspectiva de la gestión. Las únicas contribuciones a este tema se limitan a las de Arviza y col (2002), en las que se pone de manifiesto la necesidad de estudiar la distribución de fertilizante en la red y el potencial que tienen para este fin herramientas de simulación hidráulica como EPANET (Rossman 2000).

Sectorización

En el caso de la fertirrigación colectiva, la sectorización es la única manera lógica de aplicar los fertilizantes, ya que el desconocimiento de cuándo se van a producir las aperturas de tomas y de que parcelas se van a regar, impide la preparación de las soluciones y su distribución de una manera racional. Un sector de riego se puede definir como el grupo de tomas que funcionan al mismo tiempo. Este periodo de tiempo recibe el nombre de turno de riego.

El grado de sectorización que se puede llevar a cabo en la red, dependerá del grado de automatización existente en ella. De esta manera, en una red que disponga de válvulas automáticas hasta el nivel de subunidad, se dispondrá de libertad total a la hora de asignar una toma a un sector u otro. En el caso extremo de que no exista ninguna válvula automática, todas las parcelas formarían parte del mismo sector. En aquellas redes en que las válvulas estén instaladas a nivel de ramal, todas las tomas situadas aguas abajo, formarán obligatoriamente parte del mismo sector.

Puesto que el fertilizante necesita un tiempo de viaje desde el punto de inyección hasta los puntos de consumo, los sectores de riego deben organizarse de tal manera que el fertilizante alcance las tomas de manera uniforme. La gestión se complica en el caso de que existan regantes que no desean fertilizar de manera colectiva, bien porque prefieren hacerlo de manera individual o porque llevan a cabo agricultura ecológica. Este hecho conlleva que existan periodos de riego en los que no se inyecta fertilizante en la red, lo que supone



Batería filtros anillas

que ésta se vacíe y el fertilizante tenga que viajar de nuevo hasta las tomas, cuando se vuelve a inyectar.

Para mejorar la eficiencia del sistema se buscó combinar el orden de los sectores que son eficientemente energéticos y que supusieran una mejora de la Uniformidad de Distribución del fertilizante (DUF)

Localización y metodología del estudio

En este trabajo se analiza la Comunidad de Regantes (CR) de Senyera que se encuentra localizada en el municipio del mismo nombre en la provincia de Valencia (España). Está compuesta por 387 parcelas. La totalidad de la superficie es de 116 ha de las cuales se regaron 77.5 ha (283 parcelas) en la campaña en la que se realizó el estudio (2006). El tamaño medio de las parcelas es de 3093 m². La red de riego tiene 52 hidrantes multiusuarios con 331 tomas en total, de las que 224 funcionaron aquel año. La topología de la red es ramificada.

El suministro se realiza a través de un canal que alimenta una balsa de riego con una entrada y salida, para asegurar que esté siempre llena sin llegar a rebosar. La regulación se lleva a cabo por dos grupos de bombeo de iguales características que funcionan de forma escalonada. Uno de ellas es

de velocidad fija, mientras que el otro es de velocidad variable. La potencia de los grupos es de 37 kW.

Un Sistema de Control Central vía cable se encarga de la apertura y el cierre de las electroválvulas de las tomas, asignándoles un determinado volumen o tiempo de riego. Es posible la lectura automática de los consumos de cada toma para un periodo determinado de tiempo.

La CR está gestionada por una empresa, que se encarga del control del sistema. El personal empleado es un técnico con la tarea de planificar y llevar a cargo el control del sistema, y un operario cuya labor es la de comprobar el perfecto funcionamiento de la instalación durante el riego, realizar operaciones de mantenimiento y la lectura manual de los contadores. Cada uno de los regantes se encarga de la gestión de su propia subunidad de riego. El primer día de cada mes se realiza la lectura de los contadores y se factura a los usuarios, cargando una cantidad mayor a los que fertirrigan respecto a los que no lo hacen.

La organización del riego se realiza por turnos, organizando las tomas en seis sectores de riego (S1, S2, S3, S4, S5, S6). La estrategia utilizada por la dirección técnica es agrupar las tomas en sectores de superficie lo más homogénea posible. Cada sector se riega en uno de los turnos programados.

Antes de cada mes, el técnico encargado decide los días que se riegan y los que se fertiliza. En la temporada estudiada la fertirrigación se programó dos días por semana, con días intermedios sin fertilización. Cada tur-

Figura 1:

Distribución del fertilizante a lo largo de una jornada de riego. Muestra la distribución del fertilizante a través de la red para una jornada programada de riego en el caso de estudio. Las líneas más oscuras indican que el fertilizante ha alcanzado esas tuberías. Los nudos más oscuros representan a los hidrantes multiusuario que en ese momento tienen alguna toma funcionando.



Instantánea 1: Red vacía de fertilizante

Instantánea 2: La bomba de inyección deja de funcionar

Instantánea 3: Final del riego. Fertilizante remanente en red

no de riego dura dos horas. Estos se programan de forma secuencial a lo largo de la jornada del riego. El último turno (S6) corresponde al sector que no desea realizar fertilizante. El riego comienza a las 6:00 y finaliza a las 18:00. La bomba inyectora de fertilizantes comienza a funcionar a las 6:00 y finaliza a las 15:30, 30 minutos antes que el turno sin fertilizante comience a funcionar (S6).

Evaluación de la gestión de la fertirrigación

Para evaluar cómo se distribuye el fertilizante a través de la red, la CR se ha implementado en un Sistema Soporte a la Toma de Decisiones (DSS) llamado HuraGIS (Jimenez *et al* 2006). Este DSS está implementado en un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS 9.x). HuraGIS almacena la información requerida para simular los procesos agronómicos e hidráulicos implicados en la gestión de redes de riego a presión. La simulación hidráulica se efectúa por medio de la conexión con EPANET (Rossman 2000). Este software realiza simulaciones del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes a presión. HuraGIS conecta con este software para reproducir las jornadas de riego y analiza los resultados de la simulación de la jornada de riego. Se ha llevado a cabo la confección del modelo matemático de la red. En él se han representado todos los elementos que

Tabla 1:

DUF a nivel de sector de riego. Muestra DUF_{avg} y DUF_{Std} para todos los sectores que fertilizan después de analizar el modelo hidráulico mediante EPANET y HuraGIS

Sector	DUF_{avg} (%)	DUF_{Std} (%)
S1	55.00	33.68
S2	96.57	14.64
S3	96.02	3.35
S4	92.97	20.61
S5	91.97	27.76

La rotación de sectores en distintos turnos de riego se presenta como una posible solución para evitar que después de un riego sin fertilizante sea siempre el mismo sector el perjudicado

componen la red hasta el nivel de hidrante multiusuario. El modelo se calibró utilizando sensores de presión situados en varios hidrantes y en el cabezal de riego. Los contadores instalados en cada toma se utilizaron para medir los caudales. El error relativo de las presiones simuladas por el modelo fue de un 2.78%.

Al mismo tiempo se verificó el módulo de calidad de EPANET. El tiempo de viaje del fertilizante fue medido en varias tomas bajo condiciones de trabajo conocidas. Para este fin, se

inyectó ácido fosfórico en la red por medio de la bomba inyectora de fertilizante. Cuando el fertilizante alcanzaba la toma, un operador registraba el tiempo de llegada, detectando la variación del pH mediante papel indicador. Las diferencias entre los tiempos de riego medidos y los producidos por el modelo fueron menos de un minuto. Esta diferencia es insignificante desde el punto de vista de la gestión de la fertirrigación.

Una vez realizada la simulación, se calcula para cada toma el momento de llegada de fertilizante (T_{Travel}). A su vez se calcula el tiempo de fertilización (T_{Fert}), definido como el tiempo durante el cual la toma está realmente tomando fertilizante. Finalmente se calcula el ratio entre T_{Fert} y el tiempo programado para cada toma T_{Irri} expresado como (T_{Fert}/T_{Irri}) . A este último término se la ha dado el nombre de Tiempo Efectivo de Fertilización (EFT).

De un modo global, el valor medio

de EFT se calcula para cada sector de riego y todas las tomas en funcionamiento de la red. A este último concepto se le ha dado el nombre de Uniformidad de Distribución del Fertilizante (DUF_{avg}). Del mismo modo se puede expresar como la desviación estándar de EFT (DUF_{Std}). (Ver **Figura 1** y **Tabla 1**).

SOFTWARE DE GESTIÓN

- **HuraGIS en entorno ArcGIS: Herramientas para el Uso Racional del Agua con el soporte de un GIS.**
- **EPANET: Realiza simulaciones del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes a presión.**

El primer sector que funciona (S1) tiene menor DUF_{avg} y mayor DUF_{Std} que el resto de los sectores. Esto se debe a que el fertilizante necesita un tiempo de viaje desde el punto de inyección hasta los puntos de consumo. Los otros sectores tienen la ventaja de que cuando comienza a funcionar, el fertilizante ya se encuentra viajando por la red. (**Figura 2** y **Figura 3**).

Los resultados para todas las tomas de la red son $DUF_{avg} = 86.67\%$ y $DUF_{Std} = 24.21\%$.

Mejora de la uniformidad de la distribución de fertilizante

Con el objetivo de mejorar la Uniformidad de Distribución de Fertilizante (DUF), se utilizaron técnicas de optimización (algoritmos genéticos, Goldberg 1989) para agrupar las tomas en sectores donde las tomas estuvieran recibiendo fertilizante la mayor parte de su tiempo de funcionamiento. Se consiguieron sectorizaciones que mejoraban la DUF en un 11%. Pero sin embargo estas sectorizaciones no tienen porque corresponder con la sectorización de la red que menos energía consume. En caso de que se trate de una red con impulsión directa por grupos de bombeo, los grupos para una presión de consigna dada en la cabecera de la red trabajan de manera más eficiente para un determinado rango de caudales. Fuera de este rango, las bombas trabajan con rendimientos no deseables que aumentan en gran me-

Figura 2:

EFT para el primer sector. Muestra en el gráfico la desigual distribución de fertilizante en S1. Existen incluso tomas que no reciben fertilizante.

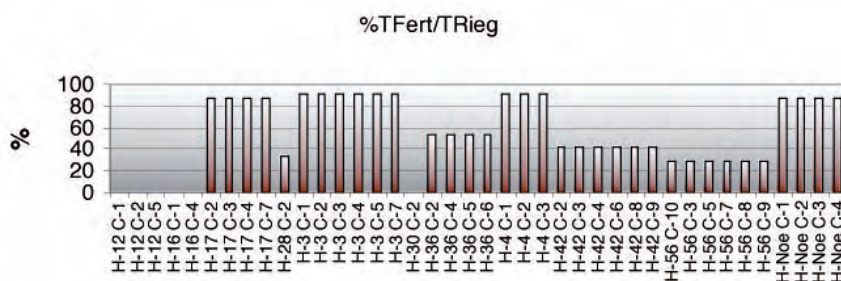
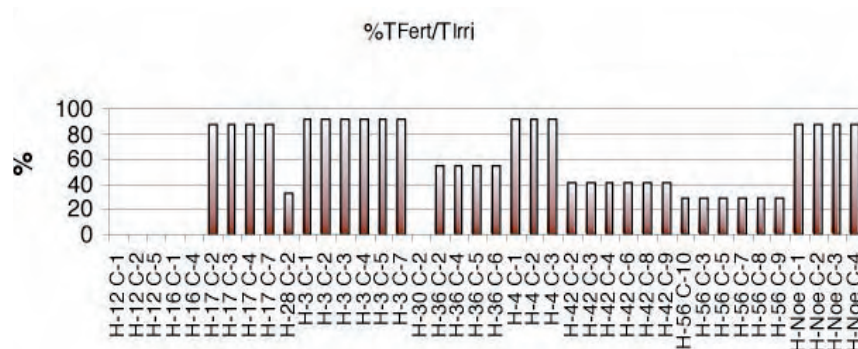


Figura 3:

EFT para el sector que no fertirriega (S6), verificándose que aunque la bomba de fertilización se para 30 minutos antes, existen tomas que reciben fertilizante durante el 100% de T_{Irri} .



En los últimos años la proliferación de obras comunitarias de riego a presión ha permitido incorporar la filtración colectiva

dida el consumo energético. Aplicando una metodología en el caso de estudio también basada en algoritmos genéticos, que busca la sectorización de la red con un consumo energético menor, se han conseguido ahorros energéticos del 24% en consumo energético (kWh) y de los costes asociados (€) de hasta el 60% (ajustando los horarios de riego a las horas valle).

Puesto que hasta ahora no se ha valorado en qué cuantía económica afecta a la producción y al beneficio económico de la explotación la DUF y la energía es uno de los insumos de mayor coste en la agricultura de rega-

dío, se buscó combinar el orden de los sectores de riego que son eficientemente energéticos y que supusieran una mejora de la DUF. Para ello se estudiaron todas las posibles combinaciones.

Las mejoras que se consiguieron fueron hasta del 6.8% en la DUF y garantizando que los sectores eran energéticamente eficientes. En este caso no se consideraba que hubiera un sector que no fertirrigaba. En caso de haberlo, ajustando el estudio a la realidad de la CR, la mejora era del 5.6% puesto que al haber un sector que no fertirriga, la bomba de inyección de fertilizante no inyecta y entonces la red se vacía, y cuando se vuelve a inyectar fertilizante, éste tiene que viajar de nuevo a las tomas.

En caso de que funcione siempre el mismo sector de riego después de un riego sin fertilizante o después del turno sin abonado, este sector siempre será el perjudicado por lo descrito anteriormente sobre la limpieza de fertilizante de la red.

Por eso se recomienda que no sea siempre el mismo sector de riego el que opere justo después. Para evitar este hecho, una solución posible es la rotación de sectores en distintos turnos de riego. Por ejemplo variando los sectores de orden para tres días consecutivos de riego con fertilizante donde todos los sectores fertilizan se obtienen valores para la DUF de 97.2%. Ajustando el estudio a la realidad, es decir contemplando el sector sin fertilizante, los valores que se alcanzan son de 91.7%. Si hay riegos intermedios sin fertilización, estos valores se reducen al 91.3% para el primer caso y al 90.4% para el segundo caso.

Conclusiones y futuros trabajos

La única manera lógica de llevar a cabo la fertirrigación colectiva en redes a presión es la agrupación de tomas en sectores que funcionan en turnos previamente programados. El fertilizante necesita un tiempo de llegada desde el punto de inyección hasta los puntos de consumo. Éste depende del caudal circulante y de la distancia al punto de consumo. Por esta razón, se requiere estudiar cómo el fertilizante puede llegar a las tomas de manera uniforme. Para ello se requiere la utilización de modelos hidráulicos que simulen la distribución del fertilizante. Junto con técnicas de optimización, como los algoritmos genéticos, se muestran como herramientas muy útiles para la mejora de la fertilización colectiva.

La gestión se complica si existen usuarios que no desean hacer uso de la fertirrigación centralizada y si existen riegos intermedios sin fertilización. Este último inconveniente se puede solucionar incrementando el número de fertirrigaciones a lo largo del año y al mismo tiempo dis-



Nave cabezal

La sectorización es la única manera lógica de aplicar los fertilizantes, ya que el desconocimiento de cuándo se van a producir las aperturas de tomas y de que parcelas se van a regar, impide la preparación de las soluciones y su distribución de una manera racional

minuir la concentración de fertilizante inyectada por riego. De esta manera, el número de riegos intermedios sin fertilización disminuye y el fertilizante no tiene que viajar de nuevo desde el punto de inyección al punto de consumo, y el sector que riega en el primer turno no es siempre el perjudicado.

Cuando las tomas que no fertirrigan funcionan, resulta muy difícil asegurar que no van a recibir fertilizante, incluso parando el sistema de inyección con antelación. Una forma de disminuir la cantidad de fertilizante que reciben es hacer que operen en el primer turno después de un riego sin

fertilizante y en el siguiente riego que lo hagan en el último turno. Estas variaciones en los horarios pueden no ser aceptadas por los usuarios. Además la presencia de éstos hace disminuir la DUF en el resto de usuarios.

En redes reguladas mediante inyección directa por grupos de bombeo, una sectorización eficiente en la distribución de fertilizante, puede no satisfacer el criterio de eficiencia desde el punto de vista energético. Dada la dificultad de cuantificar el impacto económico de mejorar la DUF, una buena opción es buscar la secuencia de funcionamiento de los sectores óptimamente energéticos que mejora la DUF.

Mientras que los resultados no son tan buenos para aquellos en los que se busca específicamente la mejora de DUF, se asegura el óptimo energético mientras que la DUF mejora.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la empresa TECVASA (Técnicas Valencianas del Agua, S.A) y a la comunidad de regantes de Senyera, su colaboración en el desarrollo de este trabajo y en la difusión de los resultados. •



Balsa de riego terminada