

CARACTERIZACIÓN DE RIEGOS POR GOTEO

A.Losada¹, L. Juana¹, J. Martínez²

¹ Universidad Politécnica de Madrid.

² Estación Experimental "Las Palmerillas" (Caja Rural de Almería).

RESUMEN: Se presenta una metodología de trabajo para el cálculo y manejo de instalaciones de riego por goteo. Se exponen resultados experimentales que evidencian la variabilidad que es posible esperar en los parámetros que describen el gasto de los goteros. Se justifica el empleo de la fórmula de BLASIUS para el estudio de ramales de goteo, con la restricción de que deberá tenerse en cuenta la longitud equivalente de pérdidas de carga localizadas en los puntos de inserción de goteros (a determinar también experimentalmente). Finalmente, se propone determinar la distribución del gasto en una unidad de riego, a partir de la de presiones. El correspondiente modelo de simulación se basa en cálculos iterativos y hace intervenir el coeficiente de variación de fabricación de los goteros. El modelo así desarrollado es aplicado al estudio de la sensibilidad de los resultados con que un sistema de riego dado responde a cambios que los parámetros del gotero pueden experimentar durante su vida útil.

INTRODUCCIÓN

La expansión que vive el riego por goteo se debe, principalmente, a que hace posible un control preciso en la aplicación del agua. Su implantación se justifica, en particular, en las zonas con cultivos intensivos donde el agua es francamente escasa. Por otra parte, es frecuente allí la aportación de nutrientes con el agua de riego (*fertirrigación*). En tal caso, la falta de uniformidad en la distribución del agua puede ocasionar, además de un despilfarro de este recurso, un gasto innecesario de fertilizantes allí donde la aportación es superior a la requerida; asimismo, una merma en la producción de las plantas alimentadas por goteros deficitarios.

La uniformidad de emisión de agua y fertilizantes es afectada por el diferente comportamiento de los goteros, el cual es debido tanto a diferencias de carga dentro del sistema de distribución (por desniveles topográficos y por las pérdidas de carga ocasionadas por el rozamiento del agua) como a variaciones entre los mismos (de fabricación o de cambios durante su

uso). Las causas de estas variaciones son difícilmente evitables, y el mejor conocimiento de las mismas es conveniente para mejorar el proyecto y operación de sistemas de riego y, en definitiva, para la utilización eficiente de los factores de producción arriba mencionados.

UNIDADES DE RIEGO POR GOTEO

Las explotaciones típicas de riego por goteo se estructuran según unidades de riego con forma y disposición de goteros muy variadas. Se trata de elementos con cierta autonomía hidráulica, ya que disponen de un dispositivo de regulación en cabeza que confiere a las operaciones de riego el carácter de independencia. El reparto del agua desde cada unidad depende de las características topográficas del terreno sobre el que se tiende el sistema, de las características geométricas de sus tuberías terciarias, ramales portagoteros, conexiones y goteros, y de las variables de operación impuestas durante cada riego: carga en cabeza y tiempo de aplicación.

Artículo recibido el 20 de junio de 1995 y aceptado para su publicación el 10 de julio de 1995. Pueden ser remitidas discusiones sobre el artículo hasta seis meses después de la publicación del mismo. En el caso de ser aceptadas, las discusiones serán publicadas conjuntamente con la respuesta de los autores en el primer número de la revista que aparezca una vez transcurrido el plazo indicado.

La unidad rectangular es la más frecuente, con goteros regularmente distribuidos sobre ramales equidistantes, lo que justifica la atención preferente que se ha prestado a su estudio (LOSADA *et al.*, 1995); pero la diversidad de formas aconseja un tratamiento más general. El presente trabajo estudia la distribución del agua desde unidades de riego por goteo con formas irregulares propias para invernaderos y sistemas similares (ver

para considerar las singularidades por inserción de goteros. De éste modo las pérdidas de carga correspondientes a un tramo de tubería situado entre dos goteros (o entre dos ramales) viene dada por la expresión:

$$h_f = \frac{0,316}{R^{0,25}} \frac{s+l_e}{D} \frac{U^2}{2g} \quad (2)$$

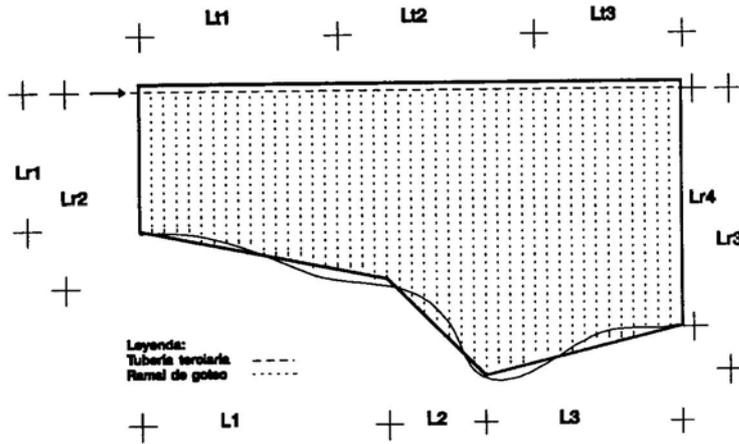


Figura 1).

Figura 1: Unidad de riego por goteo tipo.

VARIABILIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS GOTEROS

Como emisor que localiza la aplicación del agua al cultivo, el gotero es elemento clave en el desempeño de las instalaciones de riego por goteo. La fórmula de gasto del gotero es:

$$Q = k h^x \quad (1)$$

donde, Q es el gasto del gotero, en L/h, h es la presión de funcionamiento, en mca o en kPa, k es un coeficiente dimensional que depende de las unidades empleadas y x es el exponente hidráulico, cuyo valor próximo a 0,5 corresponde al régimen turbulento, normal en los goteros convencionales considerados (KARMELI y KELLER, 1975). Conocidos los parámetros k y x, quedaría establecida una correspondencia biunívoca entre la carga h y el gasto Q.

La distribución de h en la unidad de riego se rige por relaciones de pérdidas de carga en tuberías. El análisis ha sido fundamentado en la aplicación de la fórmula de BLASIUS y en el criterio de longitud equivalente

donde s es la separación entre goteros (en ramales), l_e su longitud equivalente, U la velocidad media del flujo, Re el número de REYNOLDS, D el diámetro interior de la tubería y g la constante gravitatoria, habiéndose utilizado el sistema internacional de unidades.

La homogeneidad de funcionamiento de cada modelo de gotero es una importante cuestión de calidad. Los materiales utilizados en su fabricación, el cuidado durante la misma y, en definitiva, las características geométricas del gotero y su estabilidad, que condicionan su comportamiento hidráulico a lo largo de su vida útil, pueden significar variaciones notables entre unidades de un mismo modelo comercial (SOLOMON, 1979). Se justifica así que el estudio de unidades de riego por goteo en general y, en particular, el de las relativas a invernaderos, por su tamaño reducido, deba considerar algún coeficiente que tenga en cuenta la variación del gotero. Una definición muy utilizada se ajusta a la expresión del coeficiente de variación C_v que relaciona la desviación típica y la media de los caudales (UNE, 1986):

$$C_v = \frac{s}{Q} 100 \quad (3)$$

donde Q es el gasto medio medio de la muestra de goteros trabajando a la misma presión y s la desviación típica. El valor de C_v varía poco con la presión de trabajo, por lo que se calcula únicamente el correspondiente a la presión nominal p_n , que suele ser 100 KPa.

Bajo el supuesto de que la distribución del gasto desde un sistema de goteo es normal, ANYOJI y WU (1993) calcularon índices de eficiencia del riego en función de un valor indicativo del volumen de agua requerido por el cultivo y del coeficiente de variación del gasto de los goteros. La variada distribución de presiones en las unidades de riego puede significar que tal supuesto se aleje de la realidad.

ESTUDIO EXPERIMENTAL

La imposibilidad de determinar analíticamente los parámetros de funcionamiento de goteros y ramales determinados obliga a la experimentación. En particular, las diferencias entre lotes de goteros y las variaciones de fabricación dentro de cada lote hacen que los ensayos realizados sobre muestras de un mismo modelo puesto en el mercado den lugar a resultados variados.

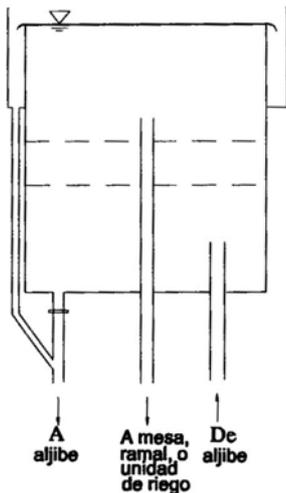


Figura 2: Esquema de depósito de carga constante.

El comportamiento hidráulico de diversos ramales y goteros nuevos y usados ha sido registrado a partir de ensayos realizados en el laboratorio de riegos por goteo de la Estación Experimental "Las Palmerillas". A tal efecto, se han utilizado sistemas (goteros, ramales y unidades de riego) que se someten a unas

condiciones controladas de presión. Un esquema de la instalación de carga constante se muestra en la figura 2. El agua procedente de un aljibe es impulsada mediante una electrobomba centrífuga hasta un depósito abierto, de sección circular, situado sobre una torre de altura apropiada. Dicho depósito alimenta por gravedad a la mesa de ensayos de goteros, mediante una tubería de gran sección. El gasto recibido por el depósito es siempre superior al demandado en los ensayos, y el pequeño exceso vierte y retorna al aljibe. Puesto que la longitud de la lámina vertiente es todo el borde perimetral del depósito, las diferencias de carga de vertimiento, para los caudales de trabajo, es muy pequeña. Por consiguiente, el nivel libre del agua se mantiene a una cota prácticamente invariable. Ésta proporciona así una carga constante que garantiza a los goteros la estabilidad de la presión durante cada ensayo. La carga máxima que el depósito proporciona en el laboratorio es de 25 mca.

La Figura 3 muestra un esquema de la mesa de ensayos, en la que una serie de unidades de un mismo modelo de gotero desaguan a la presión deseada.

Mediante el análisis de regresión estadístico de los puntos que relacionan el gasto del gotero con la presión de funcionamiento, se determinan los parámetros de gasto del gotero.

La falta de uniformidad entre lotes de goteros repercute negativamente en la precisión con que puede proyectarse un sistema, ya que los valores de los parámetros que caracterizan el funcionamiento del gotero instalado diferirían de los que se utilizan en el cálculo. Además, dificulta la adopción de criterios de operación razonables, capaces de establecer un compromiso óptimo entre tendencias contrapuestas. Con objeto de destacar la importancia de la falta de uniformidad de manufactura entre diferentes unidades

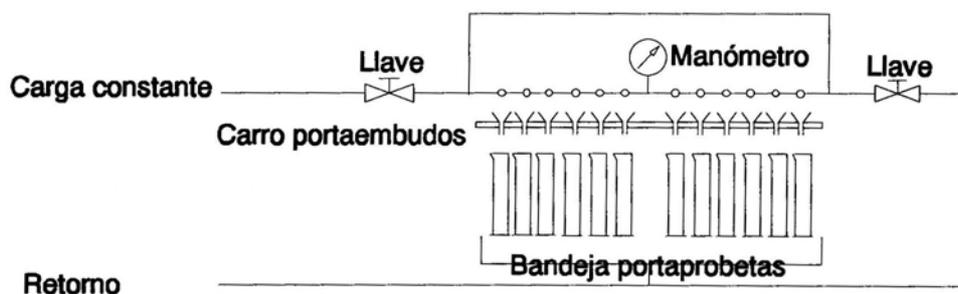


Figura 3: Esquema mesa de ensayo de goteros.

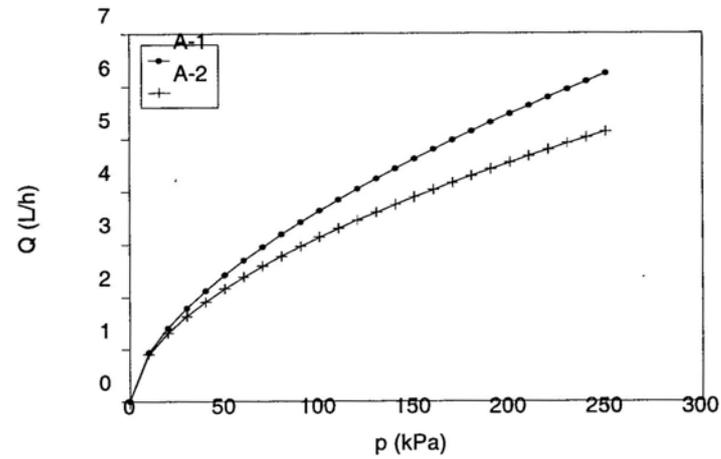
Figura 3: Esquema mesa de ensayo de goteros.

de un mismo modelo de gotero, se han probado en la mesa de ensayos muestras correspondientes a dos remesas de diversos modelos de goteros usuales en la zona y procedentes directamente de fábrica. Aparte de la variación dentro de cada lote (que fueron puestas de manifiesto por el coeficiente de variación arriba definido), se observaron diferencias entre lotes (ver curvas de gasto en figura 4a). Cabe esperar que se manifestarán cambios significativos de este tipo por insuficiente control durante la fabricación, o porque los fabricantes de goteros hayan tolerado o, tal vez, provocado diferencias en el molde.

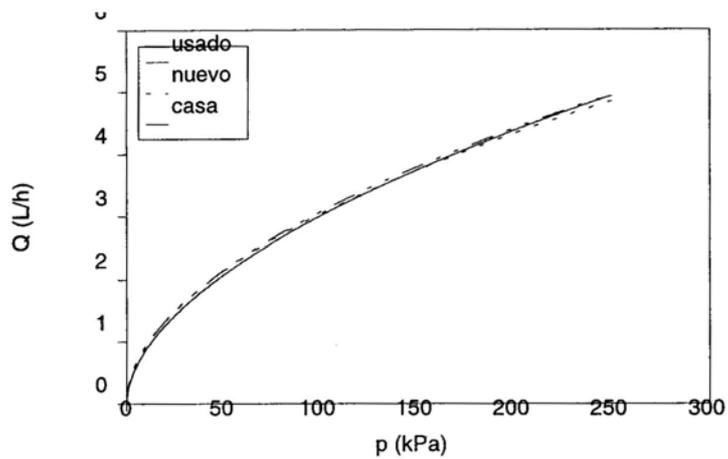
A la falta de uniformidad de fabricación, a poner de manifiesto por ensayos en laboratorio sobre diferentes remesas de fábrica, se añaden otras diferencias en el funcionamiento de los goteros en campo. Entre éstas, hay que considerar, evidentemente, las debidas a variaciones hidráulicas dentro del sistema de riego en que se instalan (JUANA *et al.*, 1991). Además, hay que esperar diferencias a causa de cambios geométricos sufridos por el propio gotero a lo largo de su vida útil, por deformación posterior a su fabricación, o por diversos grados de taponamiento, función del cuidado y limpieza del sistema de riego en que ha sido instalado. Diversos autores indican que la temperatura del agua no influye en el gasto liberado por goteros que trabajan en régimen turbulento (R. SINOBAS *et al.*, 1994).

Un *gotero de calidad* con unas operaciones de limpieza apropiadas puede mostrar un buen C_v tras 15 años de uso, o bien puede conservar sus características hidráulicas iniciales durante un período de tiempo razonablemente grande,

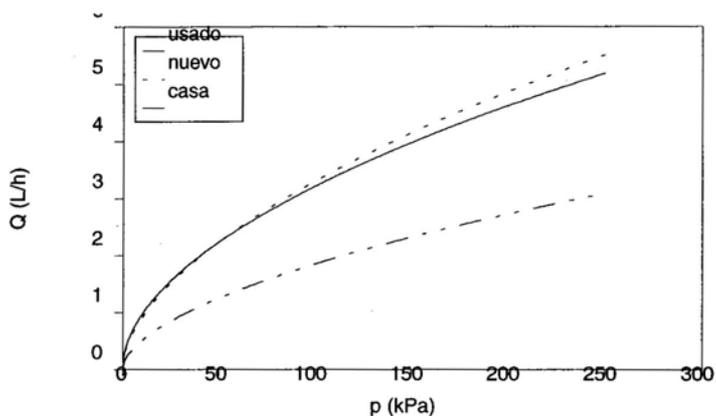
tal y como se deduce de los resultados de los ensayos.



a)



b)



c)

Figura 4. Curvas de gasto de goteros: a) nuevos; b) usados con marca de calidad; c) usados de baja calidad

A título ilustrativo, la figura 4b representa las curvas de gasto de un gotero que ha conservado sus características después de 7 años de uso, junto a otro que ha sufrido un deterioro considerable en idéntico período de tiempo. Con los experimentos realizados, se ha observado que el taponamiento ocasionado por el uso de un gotero puede aumentar su coeficiente de variación en porcentajes superiores al 50% y, con ello, modificar en gran medida su fórmula de gasto, con el consiguiente perjuicio para el sistema (ver figura 4c).

Conviene observar, a raíz de las observaciones que anteceden, que los criterios para estudiar la distribución del gasto en sistemas de riego por goteo deben prestar especial atención al comportamiento de los goteros atendiendo no solo a sus parámetros en la fórmula de gasto sino también a su coeficiente de variación (tanto la debida a su fabricación como la que resulta de su uso en campo). Los métodos de cálculo deben pues integrar los efectos debidos a la hidráulica del sistema de conducción con los de esa variabilidad de los goteros.

Por lo que respecta al estudio hidráulico, hay que destacar que la influencia de los puntos de inserción de goteros y ramales es muy significativa, tanto por su número como por su valor unitario en relación con el rozamiento longitudinal en tuberías uniformes. A este respecto, MARTÍNEZ *et al.* (1994) realizaron un

estudio experimental de las pérdidas de carga y de la distribución del gasto a lo largo de ramales y estudiaron, en particular, el efecto producido por la inserción de los goteros. Los ensayos, fueron realizados con la misma infraestructura de base que la arriba indicada para los goteros, sustituyendo la mesa de goteo por un ramal (ver sección en Figura 5). En los extremos y en puntos intermedios del mismo, fueron tomadas las oportunas medidas de presión. En relación con la distribución de carga en ramales, se

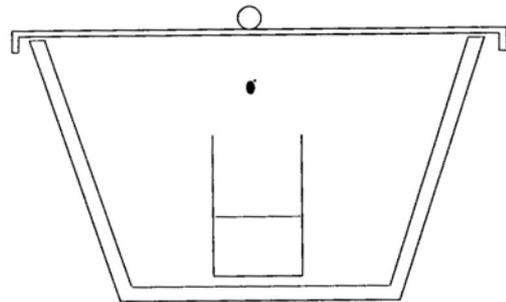


Figura 5: Sección banco de ensayo de ramales

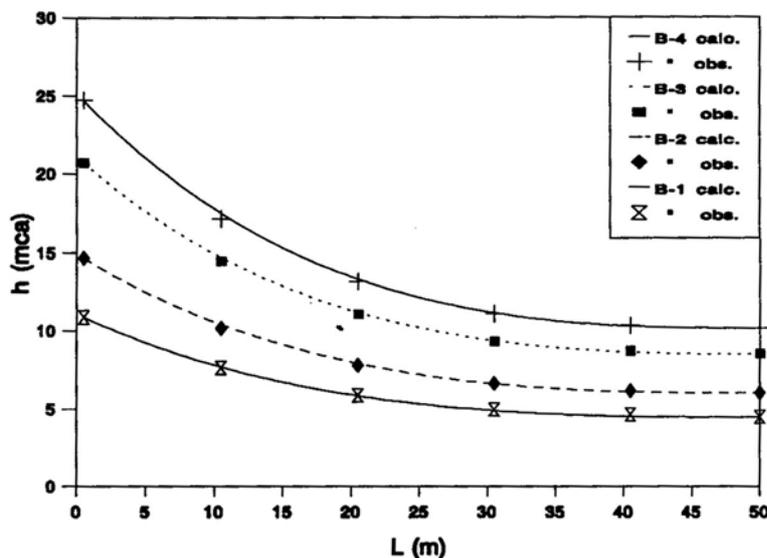


Figura 6: Distribución de carga a lo largo de ramal

observó que el error relativo a las presiones calculadas, por comparación con las medidas, es despreciable siempre que se consideren debidamente las pérdidas en puntos de inserción de goteo. La misma conclusión fue válida en el caso de tuberías terciarias, aunque la importancia de la singularidad por inserción de ramales era de menor importancia relativa. A título ilustrativo, la figura 6 representa los diagramas de las presiones observadas y calculadas a lo largo de un ramal.

En cuanto a la distribución de gasto a lo largo del ramal, la Figura 6 ilustra sobre los errores que resultan al aplicar la fórmula de gasto del gotero a las presiones calculadas, por comparación con los gastos medidos experimentalmente. Aunque el error en cuanto a la estimación del gasto total es despreciable, la uniformidad de distribución de los goteros es significativamente afectada, y sólo podrá ser estudiada haciendo referencia al coeficiente de variación arriba analizado.

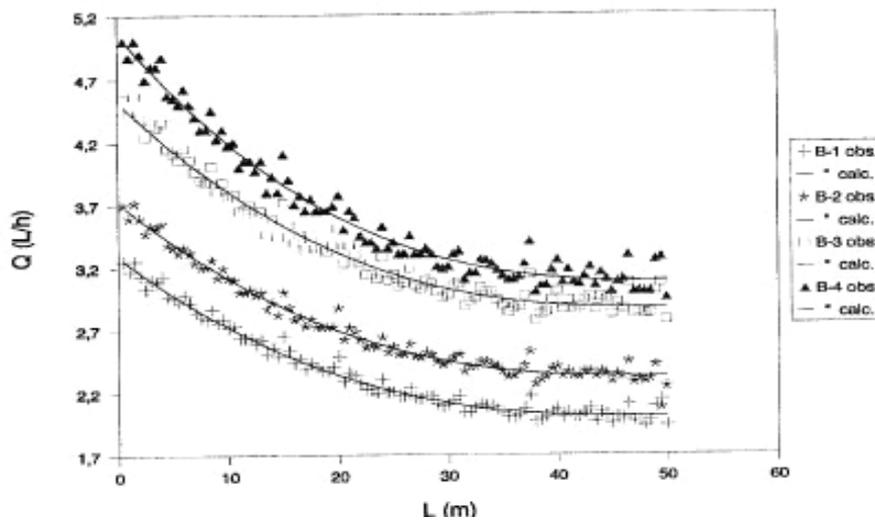


Figura 7: Distribución de gasto a lo largo de ramal.

Impuesto el objetivo del riego, materializado en el volumen requerido V_r , el tiempo de riego t_{ar} determina los índices anteriormente mencionados. El regante debe pues aprovechar la capacidad de que dispone para controlar esa variable de operación. A orientar sus decisiones puede contribuir muy decisivamente el uso de programas de simulación.

MODELACIÓN DEL RIEGO

OPERACIONES DE RIEGO: OBJETIVOS Y RESULTADOS

Caracterizada hidráulicamente la unidad de riego, la distribución del gasto de agua, junto con el tiempo de aplicación y el requerimiento hídrico del cultivo, determina el grado de desempeño de los objetivos pretendidos con el riego.

A cada presión en cabeza de la unidad corresponde una distribución de gasto. Un índice para describirla es el coeficiente de uniformidad de Christiansen:

$$Cu = 100 \left[1 - \frac{|\overline{\Delta Q}|}{\overline{Q}} \right] \quad (4)$$

donde \overline{Q} es el gasto medio de los goteros y $|\overline{\Delta Q}|$ es el valor medio de las desviaciones de los correspondientes gastos respecto a dicho valor medio. Su valor es indicativo de la aptitud del sistema para aportar agua al cultivo eficientemente; pero no es suficiente para cuantificar los resultados del riego relativos al uso del agua o a la eficacia del riego. Por esto, en la evaluación de los riegos, además del coeficiente de uniformidad, hay que tener en cuenta otros índices como son el rendimiento de aplicación R_a y el coeficiente de déficit C_d (LOSADA *et al.*, 1990). Éstos son dependientes del tiempo de aplicación de riego t_{ar} e indican las fracciones de agua útil para el cultivo y de volumen deficitario, en el suelo radical, respectivamente.

La modelación del funcionamiento de unidades de riego por goteo facilita decisiones racionales ante posibles alternativas de proyecto y de operación, y éste fue el objetivo que motivó a los autores para elaborar el programa INV-ALM, cuya validación fue realizada utilizando la misma infraestructura experimental aplicada para el estudio de goteros y ramales (LOSADA *et al.* 1995). La metodología entonces aplicada a unidades rectangulares ha sido extendida aquí a unidades de riego como las previstas en la figura 1, cuya forma general se ajusta a la composición de tres trapecios. Para determinar la unidad a considerar, pueden bastar las variables que siguen: por un lado, las longitudes de cuatro ramales ($Lr1$, $Lr2$, $Lr3$ y $Lr4$) y, por otro, las longitudes de tubería terciaria que corresponden a cada trapecio ($L1$, $L2$ y $L3$). Para dar una mayor generalidad al sistema, se considera que la tubería terciaria puede estar compuesta por tres tramos de diferentes diámetros ($Lt1$, $Lt2$ y $Lt3$). La alimentación de la unidad se realiza por un extremo. Asignando valores a las variables enunciadas, se comprueba la variedad de formas a que puede ser ajustada la unidad tipo. Su versatilidad permite adaptarla sin excesivo error a formas irregulares.

El gasto liberado por un gotero es función de la presión de funcionamiento, pero, según se indicó, está condicionado estadísticamente por la variación entre unidades, siendo las principales fuentes de esta variabilidad las debidas al proceso de fabricación, como deficiencias del molde, calidad de materiales,

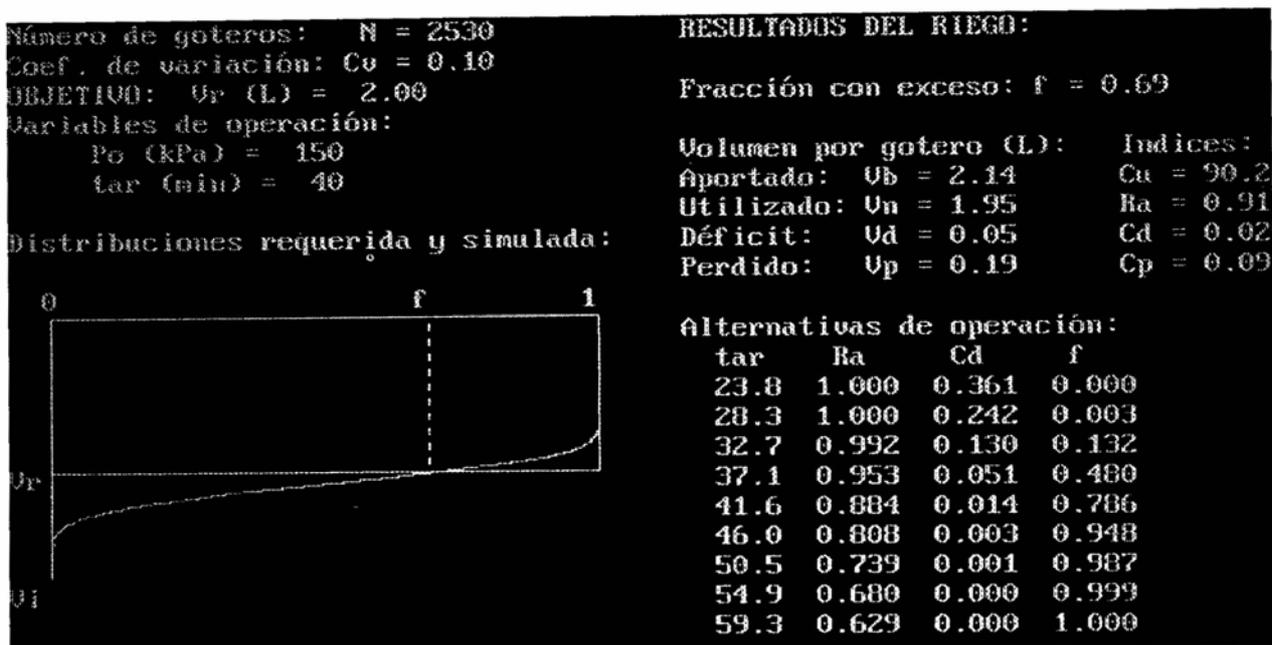


Figura 8

etc., y las ocasionadas por el uso, como obturaciones, deformaciones, etc. Todas ellas se pueden representar mediante el coeficiente de variación C_v . Puesto que x varía poco, si se supone que, a una presión determinada, los caudales liberados desde una población de goteros se ajustan a una distribución normal, el gasto de un gotero determinado vendrá dado por la expresión:

$$Q = k(1 + C_v Z) P^x \quad (5)$$

Los parámetros k , x y C_v , característicos del gotero, son obtenidos experimentalmente, en una mesa de ensayo como la arriba descrita. Z es un número aleatorio perteneciente a la distribución $N(0,1)$.

Para el cálculo de las pérdidas de carga en los ramales portagoteros y tuberías terciarias, se utiliza la ecuación de BLASIUS, por ser característica del régimen hidráulicamente liso. Las pérdidas de presión en puntos singulares, tales como los puntos de inserción de goteros y ramales, se evalúan mediante el concepto de longitud equivalente, según quedó indicado.

Conocidas las características geométricas de la unidad y la presión en cabeza, la metodología de cálculo simula la distribución de presiones y de gastos en toda su extensión. El procedimiento de cálculo tanto de la tubería terciaria como de los diferentes ramales de goteo consiste en un proceso iterativo en el que se

determina las distribuciones de presiones y de gastos correspondientes a la presión en cabeza establecida. En cada iteración, partiendo de la presión en cola, se obtiene la presión y el gasto en todos los puntos, progresivamente y en sentido ascendente, hasta cabeza. Si la presión alcanzada coincide con la establecida finaliza el cálculo; en caso contrario, se corrige el valor de la presión en cola y se inicia otra iteración.

El cálculo de la tubería terciaria es análogo al del ramal. En cada iteración hay que calcular todos los ramales ya que la presión en cabeza de éstos va cambiando. Como el número de operaciones necesarias es elevado, el cálculo manual resulta inabordable. Por esta razón, se ha elaborado un programa de ordenador que realiza todas las operaciones.

La metodología propuesta, gracias a su precisión y generalidad, constituye una herramienta de utilidad para comparar diversas alternativas de proyecto. Asimismo, permite evaluar la adecuación del sistema a requisitos dados y facilita razonablemente la programación de riegos. Por otra parte, hace posible cuantificar la sensibilidad con que un sistema dado puede responder a la variabilidad de los parámetros C_v y k con el tiempo. Por lo que respecta al primero, la distribución de presiones no es esencialmente afectada, lo que ha quedado de manifiesto con los experimentos sobre ramales arriba indicados; ahora bien, la distribución del

agua sí puede ser notablemente afectada, resultado que es particularmente delicado porque el agricultor no puede detectarla cuando, como es normal, basa la aplicación de sus riegos en el uso de equipos de control temporizadores o volumétricos.

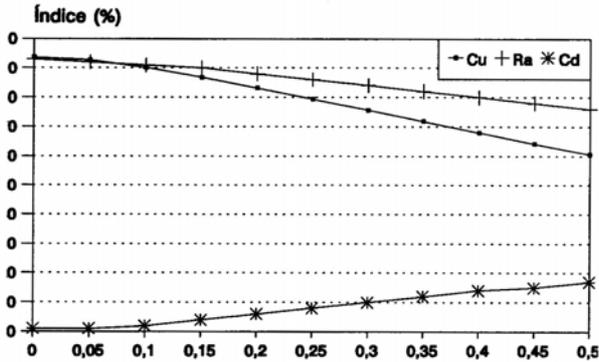


Figura 9: Sensibilidad de los índices a variaciones de C_v

A modo de ejemplo, se estudia una unidad de riego similar a la representada en la Figura 1. Ésta se encuentra situada sobre un terreno a nivel, la separación entre ramales de diámetro 10 mm es de 1 m, y la separación entre goteros es 0,5 m. Las longitudes de los cuatro ramales característicos son 20, 25, 35 y 30 m, respectivamente, siendo la separación entre ellos de 20, 10 y 15 m. La tubería terciaria está formada por tres tramos de 15 m de longitud, con diámetro interior de 50, 40 y 32 mm. La longitud equivalente de los puntos de inserción de los ramales, dependiendo del diámetro de la tubería terciaria, es de 0,1, 0,2 ó 0,3 m, respectivamente. El gasto nominal del gotero es $Q_n = 3 \text{ L/h}$, y el exponente de descarga es $x = 0,5$, característico del régimen turbulento. La longitud equivalente del punto de inserción del gotero es 1,5 m.

Conocidas las necesidades hídricas del cultivo, se considera adecuada una aportación por gotero y por riego V_r . Este requerimiento no puede ser conseguido con exactitud, debido a que el reparto de agua por el sistema no es uniforme. La comparación entre esa aportación y la irregularmente aplicada por el sistema ha servido de base para definir el resultado del riego en términos cuantitativos, según se indicó más arriba.

Fijada la carga en cabeza H de la unidad, queda determinada la distribución de gastos y por

consiguiente el coeficiente de uniformidad. La Figura 8 muestra la pantalla que resume los resultados, obtenida al ejecutar el programa a partir de cálculos que utilizan los datos indicados anteriormente.

Los resultados representados relacionan el efecto integrado del coeficiente de variación $C_v = 0,1$, de la presión en cabeza de 150 kPa y del tiempo de aplicación del riego $t_{ar} = 40$ minutos, sobre el porcentaje de goteros que superan la aportación requerida y sobre los índices del riego. El tiempo de aplicación de riego t_{ar} podría optimizarse si el precio del agua y la merma en la producción ocasionada por el déficit fuesen conocidos. La solución, para ser precisa, debería considerar, además, los daños ecológicos ocasionados por la filtración profunda. Debido a la dificultad de valorar estas partidas, desde un punto de vista práctico, se elige el t_{ar} que proporciona un rendimiento de aplicación R_a razonablemente elevado y un coeficiente de déficit C_d suficientemente pequeño.

Según se indicó, es de interés hacer notar la sensibilidad que los resultados de riego muestran ante la evolución de parámetros de los goteros típicamente alterables, como C_v y k . Para estudiar la sensibilidad de los índices de calidad del riego (C_u , R_a y C_d) a los cambios del coeficiente de variación, puede ejecutarse el programa con varios valores de éste, manteniendo los valores de las restantes variables. Con los datos obtenidos se ha elaborado la gráfica de la Figura 9.

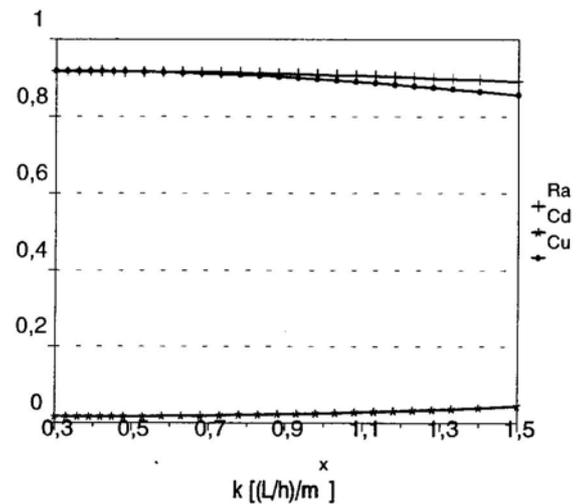


Figura 10: Sensibilidad de los índices a variaciones de k .

Se observa que, con valores del coeficiente de variación inferiores a 0,1 la sensibilidad de los índices del riego es prácticamente despreciable; sin embargo, por encima de ese valor, se aprecia un empeoramiento progresivo con una tendencia lineal en los tres casos.

En cuanto al parámetro k , para estudiar la sensibilidad a sus variaciones por parte de los índices mencionados, se ha ejecutado el programa con una serie de valores, manteniendo los valores de C_v y de V_b . Con los datos obtenidos se elabora la gráfica de la Figura 10.

CONCLUSIONES

Caracterizada físicamente la unidad de riego por goteo, la presión en cabeza determina la distribución de presiones, pero no la de gasto. Ésta queda condicionada, además, por el parámetro del gotero que describe estadísticamente su variabilidad. Por ello, y particularmente en unidades donde la variabilidad hidráulica es relativamente pequeña, el coeficiente de variación del gotero es determinante de la idoneidad de un sistema para aplicar riegos uniformes. Es lógico pues, por una parte, exigir a los fabricantes de goteros el máximo cuidado en el proceso de su manufactura; por otra, recomendar a los usuarios un cuidadoso mantenimiento y limpieza.

La fórmula de BLASIUS es válida para el estudio de pérdidas de carga en ramales de goteo, pero habrá de tenerse en cuenta la longitud equivalente de las pérdidas de carga en los puntos de inserción de goteros, la cual ha de ser determinada experimentalmente.

El uso racional del agua en sistemas de riego por goteo implica la utilización de materiales de calidad, el proyecto, ejecución y mantenimiento meticulosos de las instalaciones y, finalmente, operaciones de riegos adecuadas a la aportación exigida por el sistema suelo-cultivo. La simulación por modelos facilita la estimación de las consecuencias que pueden resultar del empleo de goteros de diferente calidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Caja Rural de Almería al haber podido disponer, para la realización de este trabajo, de las instalaciones de la Estación Experimental "Las Palmerillas".

LISTA DE SÍMBOLOS UTILIZADOS

- C_d Coeficiente de déficit
- C_p id de pérdidas por filtración profunda
- C_u id de uniformidad
- C_v id de variación de gasto en gotero
- D diámetro
- f fracción de superficie regada con $V_r > V_r$
- g constante gravitatoria
- h carga
- h_r pérdida de carga
- H carga en origen de unidad
- k coeficiente en fórmula de gasto
- l_e longitud equivalente por inserción de gotero o de ramal
- L longitud
- L_r longitud de ramal
- L_t longitud de tubería terciaria
- N número de goteros
- N distribución normal
- p presión
- P_o presión en origen de unidad
- Q gasto
- Q_n gasto nominal
- Q_o gasto en origen
- R número de REYNOLDS
- R_a rendimiento hídrico de aplicación
- s separación entre goteros
- t_{ar} tiempo de aplicación de un riego
- U velocidad
- V_b volumen medio aportado bruto, por gotero
- V_d volumen medio deficitario, por gotero
- V_i aportación en gotero genérico i
- V_n volumen medio neto, retenido en zona radical, por gotero
- V_p volumen medio aplicado en exceso, por gotero
- V_r volumen requerido, por gotero
- x exponente en fórmula de gasto
- z número aleatorio de distribución normal tipificada

BIBLIOGRAFÍA

- Anyoji, H. y I.P. Wu (1993) *Normal Distribution Water Application for drip Irrigation Schedules*. Transactions of the ASAE 37(1):159-164.
- Juana, L., A. Losada, E. Hernández, M. Alcaide, J. Amaro (1991) *Determinación de criterios de operación y evaluación de sistemas de riego por goteo*. Riegos y Drenajes XXI, 51: 22-27.
- Karmeli, D., J. Keller (1975) Trickle Irrigation Design. Rain Bird.
- Losada, A., L. Juana y J. Martínez (1995) Distribución racional del agua con sistemas de riego por goteo en invernadero. Programa Nacional de Interés Comunitario Almería Levante. FIAPA e IFA. 49 pp.
- Losada, A., L. Juana y J. Roldán (1990) *Operation Diagrams for Irrigation Management*. Agricultural Water Management. 18: 289-300.
- Martínez, J., F. Bretones, L. Juana y A. Losada (1994) *Caracterización experimental de ramales de riego por goteo*. Actas de las XII Jornadas técnicas sobre riegos, pp. 259-266, Pamplona, AERYD.
- Martínez, J., L. Juana, F. Bretones y A. Losada (1995) *Modelación de la distribución del agua en unidades de riego por goteo en invernaderos de forma irregular*. Actas de las XIII Jornadas técnicas sobre riegos, pp. 416-422, Santa Cruz de Tenerife, AERYD.
- Martínez, J., A. Losada, F. Bretones y L. Juana (1994) *Límites a la utilización de criterios de normalización de goteros*. Actas del I Simposium Iberoamericano sobre "Aplicación de los plásticos en las tecnologías agrarias", pp. 173-180, Almería, FIAPA-CEPLA.
- R. Sinobas, L., L. Juana y A. Losada (1994) *Estudio experimental de goteros sometidos a diferentes condiciones de temperatura y presión*. Actas de las XII Jornadas técnicas sobre riegos, pp. 347-354, Pamplona, AERYD.
- Solomon, K. (1979) *Manufacturing Variation of Trickle Emitters*. Transactions of the ASAE.
- UNE. (1986). Material de riego. EMISORES. Instituto Español de Normalización.