

Estudios en honor de
Francisco Javier Domínguez
AUCH, 5ª Serie, Nº 8 (1985): 497-508

DISCUSION SOBRE EFICIENCIA DE RIEGO

FERNANDO PERALTA TORO
Chile

En el tema que se presenta, se pretende reflexionar, sobre una actividad de la ingeniería hidráulica, y que se refiere al riego en su relación con las obras menores y su aplicación al predio.

Dentro de esta reflexión, se plantea de una forma simple, todas las actividades ligadas al sistema menor de riego, desde que se extrae el agua en el cauce natural hasta el retorno a otro cauce de los eventuales sobrantes.

Carente de pretensión académica, este artículo trata de centrar la atención en todos aquellos aspectos sencillos del riego, que analizados por separado pueden tener poca o nula importancia, pero que al ser ensamblados dentro de un sistema, tienen una significación tanto en el ahorro del recurso agua, como en ahorro de recursos financieros para obras y en el incremento de la producción agrícola.

Es opinión del autor que a veces la aplicación de pequeñas acciones, si se hacen en forma sistemática y constante, producen frutos inesperados. Estas acciones pueden carecer de brillo y espectacularidad en forma individual, pero son de una efectividad real en el corto, medio y largo plazo. Mi experiencia al respecto, aunque no lo intensa ni extensa que yo hubiera deseado, me ha indicado continuamente la efectividad de estos trabajos que inciden sobre cada uno de los aspectos del regadío que más adelante se detallan.

En la actividad del riego, se mezclan quehaceres tanto de la Ingeniería Agronómica como de la Ingeniería Civil. El objetivo de la actividad, se podría resumir diciendo que se trata de entregar a los cultivos la cantidad y calidad de agua adecuadas en los momentos en que se necesita. Paralela-

mente la aplicación del agua al terreno para alimentar a un cierto cultivo se debe hacer teniendo en cuenta la obtención del máximo de producción. Todo ello enmarcado dentro de una minimización del costo.

De acuerdo con lo anterior, existe un permanente desafío para la ingeniería, puesto que ésta debe proporcionar todos los elementos técnicos a su alcance, de tal manera que haga posible entregar y aplicar el agua de riego al mínimo costo compatible con el máximo de producción.

El presente trabajo, pretende poner de relieve aquellos aspectos más importantes que inciden sobre la eficiencia de la actividad del riego. Hacer un análisis de cada uno de ellos, y separar las diferentes partes que inciden en la eficiencia del conjunto.

Para desarrollar el tema, se ha recurrido a sistematizar el problema, partiendo de una definición del mismo y una separación de sus partes más importantes.

Se ha definido como "circuito de riego" al proceso a que se ve sometida el agua desde su extracción en la bocatoma de un río, hasta su retorno final como sobrante al mismo río o a otro cauce.

Las partes identificadas en el circuito de riego así definido son las siguientes:

- Derivación.
- Conducción.
- Distribución.
- Regulación predial.
- Aplicación.
- Saneamiento y drenaje.

A cada una de estas etapas le corresponde una eficiencia, de tal modo que del total del agua derivada del río, sólo un porcentaje se emplea en el uso consumo de los cultivos.

Es función de la Ingeniería tanto Civil como Agronómica, adecuar las técnicas y obras necesarias para lograr una mayor eficiencia de cada etapa y obtener en consecuencia una mayor eficiencia del conjunto.

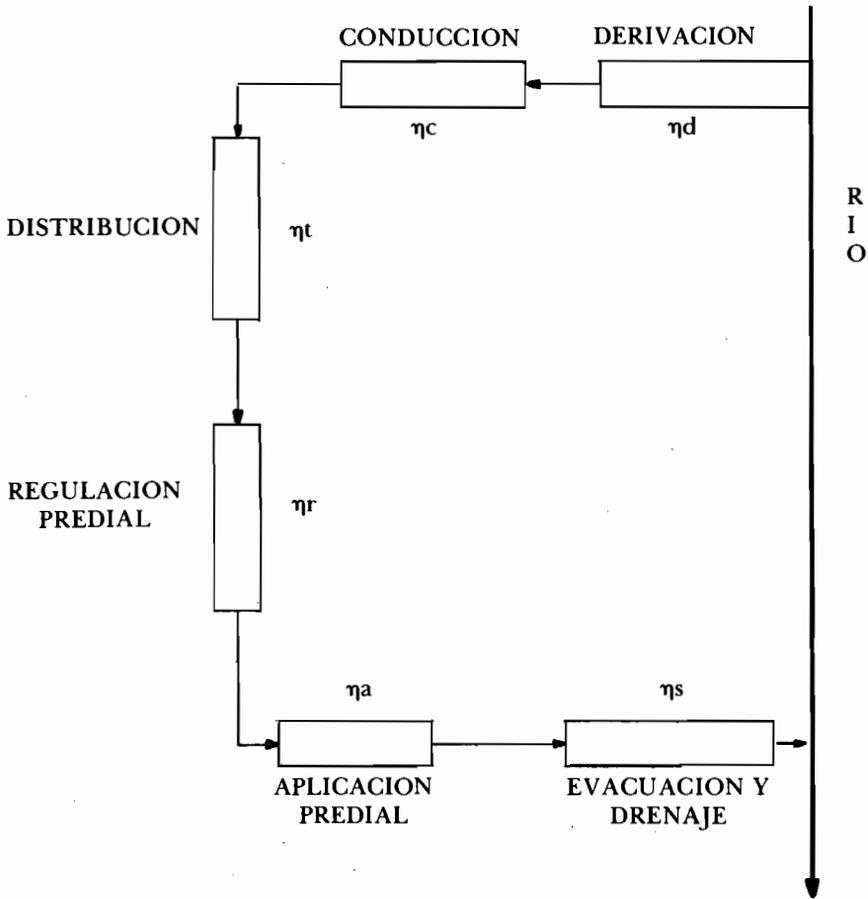
Se entiende este trabajo como una labor permanente, tanto en la elaboración de las técnicas como en la transferencia de ésta para su aplicación por los profesionales, técnicos y obreros especializados.

En definitiva, todos estos trabajos producen un mejor y más barato aprovechamiento de los recursos hidráulicos del país, un menor costo de regadío a igualdad de producción, y un aumento de la producción agrícola.

La baja eficiencia, por el contrario es causa de menor rendimiento en

CIRCUITO DE RIEGO

ETAPAS CONSIDERADAS EN EL CIRCUITO Y SUS EFICIENCIAS RELACIONADAS



$$\eta_{sr} = \eta_d \times \eta_c \times \eta_t \times \eta_r \times \eta_a$$

La eficiencia del sistema es el producto de las eficiencias de cada una de las partes en que éste se ha dividido.

los cultivos, pérdidas de agua por infiltración, evaporación y evacuación, menor superficie abastecida.

LAS OBRAS DE DERIVACIÓN O CAPTACIÓN

Tienen como finalidad extraer el agua desde el cauce natural y vaciarse a un canal de conducción. Las obras que cumplen esta función pueden ser de carácter permanente o temporal. Tradicionalmente existen en nuestro país dos tipos de obras: las permanentes que abarcan todo el eje del río y son de hormigón armado, con sistemas de evacuación de crecidas y de limpieza de depositaciones. Las eventuales que consisten en barreras rústicas confeccionadas con troncos y piedras y que deben rehacerse periódicamente.

La marcada diferencia de costos entre unos y otros, ha hecho que la gran mayoría sean del tipo rústico, con necesidad de rehacerse cada año.

La eficiencia de una obra de derivación está determinada por el porcentaje de días de servicio en relación con los días demandados y, además, por el porcentaje de caudal entregado en relación con el que le corresponde entregar de acuerdo con los derechos.

$$\eta_d = \frac{\text{Volúmenes reales derivados}}{\text{Volúmenes derivables según derechos}}$$

Las crecidas de invierno y los deshielos, producen roturas o eventuales remociones de las obras de toma, lo que se traduce en días sin servicio y caudales menores que los necesarios. Los trabajos de adecuación que se hacen cada año y los esporádicos cuando sucede un accidente, consumen una gran cantidad de horas máquinas, con su costo correspondiente. Por otra parte, no siempre se dispone de la maquinaria en el momento oportuno, por lo que se produce una pérdida de eficiencia del funcionamiento de la obra.

No se dispone de datos en la actualidad, como para cuantificar la eficiencia de las bocatomas del país. No obstante, es fácil suponer que como producto de los temporales, caudales de deshielos y cambios del curso del río, son frecuentes las ineficiencias producidas por las bocatomas actuales.

Entre la bocatoma rústica y la obra de arte permanente, pueden existir una serie de opciones que signifiquen aumentar la eficiencia con un costo relativamente más bajo. Es pues ésta una tarea interesante que se presenta

a la ingeniería nacional idear y proyectar obras sencillas, lo que puede redundar en menores costos de construcción y mayor eficiencia de operación.

Otro tema que incide sobre este mismo punto, se refiere a la unificación de bocatomas, lo cual permitirá entonces, aunar esfuerzos económicos de varios canales para poder construir una bocatoma de mayor eficiencia.

LAS OBRAS DE CONDUCCIÓN

Una vez captada el agua en la bocatoma, se debe verter a un canal matriz para su transporte hasta los centros de consumo.

Las causas de ineficiencia en estas obras, son de tres tipos a saber:

- Pérdidas por infiltración y evapotranspiración.
- Menor transporte de caudal por falta de capacidad del canal.
- Interrupción del servicio por roturas del canal en puntos críticos.

La eficiencia de un canal matriz se mide como la razón entre el volumen derivado en bocatoma y el volumen que llega al primer punto de distribución.

Las pérdidas por infiltración y evapotranspiración se producen en general a todo lo largo del canal. No obstante, las infiltraciones están localizadas en aquellos sectores más permeables del canal, los que, además, suelen coincidir con los primeros tramos cercanos a la bocatoma.

La evapotranspiración se produce debido a la vegetación parasitaria, y además como evaporación directa en las laderas de los cerros cuando el nivel del agua se encuentra a menos de 2 ó 3 metros de la superficie. Este punto es de suma importancia y se pone de manifiesto en los canales que corren por las laderas de los cerros, y, en particular, los de mayor pendiente.

Las pérdidas antes anotadas, son netas puesto que difícilmente pueden alcanzar algún embalse subterráneo al que alimenten.

Pérdida de capacidad de transporte

A lo largo de su recorrido, y como producto de las obras de arte que cruzan los canales, suele ocurrir que se produzcan angostamientos, los que repercuten en la capacidad de transporte. A ello debe agregarse limpias defectuosas que provocan tramos en contrapendientes, los que a su vez son causa de mayor depositación en el fondo.

Usualmente, esta pérdida de capacidad, suele producirse en el primer

tramo de canal, próximo a la bocatoma en la cual se deposita gran cantidad de arena. En muchos casos esto puede resolverse mediante un desarenador adecuado, lo cual es asimismo costoso.

Interrupción de servicios en puntos críticos

En su recorrido el canal atraviesa barrancos, quebradas y zonas con posibles deslizamientos. En la época de invierno y primavera, se producen las avenidas que cortan el canal o lo llenan de tierra en un tramo de su recorrido. Normalmente, eso debe limpiarse y se hace con cierta celeridad. No obstante, esto significa no disponer de agua durante algunos días, con la consiguiente disminución de eficiencia. Para solucionar estos problemas, es preciso diseñar y construir obras de arte o revestimientos que otorguen la suficiente estabilidad a la conducción.

Cuantificación de la eficiencia de conducción

Una vez definido el término η_c como la razón entre lo derivado y lo que llega al inicio del sistema de distribución, se puede establecer un orden de magnitud de las pérdidas por este concepto.

$$\eta_c = \frac{\text{Volumen derivado}}{\text{Volumen ante distribución}}$$

No se dispone de análisis sistemáticos de estos valores, que permitan formarse una idea de las pérdidas en conducción. No obstante, hay una abundancia de datos puntuales, en poder tanto de los organismos de la administración como de los usuarios que ponen de manifiesto la importancia relativa de estos valores. Algunos autores han aventurado cifras medias que se estiman en 1% del caudal por cada kilómetro recorrido. Otros la cifran en una media del 15% al 20% del caudal derivado en bocatoma. Finalmente hay quienes postulan que tales pérdidas no serían netas, puesto que las infiltraciones volverían de alguna manera al cauce del río en forma subterránea.

Todo ello indica la necesidad de un estudio sistemático de estas características, con el objeto de poseer un análisis técnico de ellos, lugar en que se producen, causas y consecuencias, para que a la luz de un diagnóstico se proceda a diseñar las obras más convenientes y económicas.

Dentro de este capítulo, es asimismo importante la unificación de canales, puesto que permite una economía de escala en las obras de mejoramiento de la eficiencia de conducción.

LAS OBRAS DE DISTRIBUCIÓN

La función que se realiza después de la conducción es la distribución de las aguas a los diferentes usuarios.

La eficiencia total en este caso se mide como la sumatoria de las eficiencias en cada uno de los elementos de distribución.

$$\eta_t = \sum_{i=1}^{i=n} \eta_{t_i}$$

$$\eta_{t_i} = \frac{\text{Volumen captado en entrega } i}{\text{Volumen captable según derechos en entrega } i}$$

Las causas de la ineficiencia pueden corresponder entre otros a los siguientes factores:

- La existencia de obras de distribución inadecuadas.
- El mal estado de la obra o del canal en sus inmediaciones.
- El uso conjunto obligado de una sola obra por varios usuarios.

Obras de distribución

Corresponden a aquellas obras que o bien no tienen un diseño adecuado o bien no se adaptaron a los cambios de funcionamiento del canal de conducción. Entre éstas pueden estar los marcos que han quedado influidos por aguas abajo; las compuertas cuya carga de aguas arriba varía por efecto de peralte ocasional del eje hidráulico en un sector del canal: boqueras o compuertas que han quedado ahogadas por aguas abajo. En general, cualquier obra en que hayan cambiado las condiciones hidráulicas de proyecto, en forma significativa.

Obras de distribución en mal estado

Este es un caso bastante frecuente, y se produce por la falta de mantenimiento de la obra o del canal en las inmediaciones de ésta.

Así por ejemplo un marco al que se modifica el ángulo, o que se producen depositaciones aguas arriba o aguas abajo, o bien eventuales roturas del mismo. Todo ello produce alteraciones en el caudal derivado con el consiguiente déficit de abastecimiento.

Existen otros casos de envejecimiento o rotura de compuertas o de los canales en las inmediaciones de ésta la que produce entregas diferentes de las que corresponden.

Uso conjunto obligado de una obra

Este hecho se produce generalmente cuando la subdivisión de la propiedad no va acompañada de la correspondiente división física del sistema de distribución de las aguas. Tal situación crea en consecuencia un problema de orden administrativo de difícil solución, en tanto no se construyan las obras menores correspondientes. En el caso particular de Chile, esta situación proviene tanto de la natural subdivisión de la tierra, consecuencia del crecimiento de la población y del aumento de productividad, como del proceso violento y acelerado de subdivisión predial originado por la reforma agraria.

LAS OBRAS DE REGULACIÓN PREDIAL

Una vez entrada el agua al predio, puede suceder que no toda el agua que ingrese se incorpore al proceso de regadío propiamente tal. Esto sucede porque del total de horas a que se tiene derecho de derivación de las aguas, hay algunas en que el agua sigue su curso debido a que no se riega ni las 24 horas del día ni todos los días del año.

Existe en consecuencia una eficiencia ligada a este proceso la que se puede medir como el cociente entre las horas totales de derivación y las horas de agua efectivamente empleadas en el riego de los cultivos.

$$\eta_r = \frac{\text{Horas de agua aplicada al riego}}{\text{Horas totales de agua entrada en obra de distribución}}$$

Las obras necesarias para obtener esta regulación corresponden a los embalses prediales. En ellos se puede almacenar el agua durante las horas que no se emplea, ya sea nocturnas, diurnas o días festivos.

La inexistencia de este tipo de obras es causante de una importante pérdida de agua a nivel predial, como también la falta de limpieza y conservación de las existentes.

LAS OBRAS PARA UNA CORRECTA APLICACIÓN

Es éste uno de los aspectos más importantes en toda la función del circuito de riego, porque se refiere al objetivo final y único de todo el sistema, y es el de la correcta alimentación de agua a los cultivos. De tal modo que si falla esta actividad, carece de sentido práctico el hacer eficientes cada uno de los pasos anteriores.

La naturaleza de la actividad es propia de la Ingeniería Agronómica, por cuya razón no abundaré en mayores detalles al respecto.

Las pérdidas de agua se producen cuando ésta no cumple con su función, es decir cuando no va a alimentar a todas y cada una de las plantas en la cantidad de agua adecuada y en el momento que la precise.

Bajo el prisma del punto de vista anterior, se puede intentar una definición de eficiencia diciendo que ésta se puede medir como el cociente entre el agua realmente evapotranspirada por las plantas y el agua que ingresa al plantel de regadío.

$$\eta_a = \frac{\text{Volumen de agua evapotranspirada por la planta}}{\text{Volumen de agua ingresado al plantel de riego}}$$

Existen otras definiciones y maneras de calcular la eficiencia de aplicación del agua de riego, todas son igualmente válidas de acuerdo con la hipótesis de partida de cada una de ellas. Una manera generalmente aceptada es medir las cantidades de agua vertida por exceso y la cantidad percolada al subsuelo. La suma de ambas constituirán las pérdidas del sistema. Esta es una manera de calcular la eficiencia global, sin embargo no considera el fenómeno que representa el que existan plantas subalimentadas y sobrealimentadas en un mismo plantel, lo cual es otro factor de ineficiencia por cuanto afecta a la producción agrícola, fin último de toda acción de riego.

La importancia de esta actividad es de tal magnitud, que a mi juicio vale la pena profesionalizarla. Se trataría de capacitar a obreros y técnicos hasta obtener una verdadera especialización, dándole la importancia social y económica que el tema merece. La delicadeza de la función sugiere la conveniencia de que sólo maneje el agua dentro del predio, aquella persona que ha sido capacitada para ello y cuente con la experiencia suficiente. Estoy cierto además de la alta rentabilidad que arrojaría un cálculo económico que comparase la inversión en mayor preparación y sueldo del operador con el aumento de la producción obtenida por este concepto.

LAS OBRAS DE SANEAMIENTO

Una vez que el agua ha cumplido sus funciones de riego, a través de todo el sistema menor antes descrito, siempre existirán unos sobrantes que es necesario evacuar. Estos sobrantes provienen tanto de los derrames de riego a nivel predial, como también de las aguas que van circulando a

través del canal, sin ser ocupadas en el proceso. Los volúmenes a evacuar presentan variabilidad tanto a nivel diario como mensual y estacional, pues dependen de factores tales como las horas de riego diario y la eficiencia de los sistemas de distribución, regulación y aplicación.

La inexistencia de estas obras de evacuación produce anegamiento en las zonas bajas y crecimiento de vegetación parasitaria, lo que redundando en un desaprovechamiento de agua y suelo. En realidad, esta situación se da en mayor o menor grado en un sinnúmero de predios. Analizado el problema en forma puntual, no aparece como relevante, debido a las reducidas magnitudes en juego, sin embargo si se considera desde un punto de vista global, se obtiene una elevada cifra de superficie de terreno sin regar y aguas sin ocupar, localizados ambos en sectores de riego que disponen de todo el resto de la infraestructura agrícola y además la tradición de regadío y la capacidad empresarial necesarias.

Se puede asimismo intentar una definición de la eficiencia de evacuación, como la razón entre el volumen necesario a evacuar y el volumen realmente evacuado y que alcance algún cauce natural o artificial.

$$\eta_s = \frac{\text{Volumen evacuado}}{\text{Volumen necesario de evacuar}}$$

Esta definición de expresión sencilla, carece de sentido práctico a la hora de tratar de calcular esta magnitud.

Tanto el volumen evacuado, como el que se requiere evacuar son de muy difícil medición, debido a la variabilidad de los sobrantes a lo largo del día.

Una manera indirecta de cuantificar estos sobrantes no evacuados es a través del cálculo de la evaporación y evapotranspiración producidos en las zonas de anegamiento.

Queda aquí planteado el fenómeno de la evacuación de los sobrantes y de los problemas que ello acarrea. No se pretende cerrar el tema, sino sólo abrirlo para que sea objeto de la preocupación tanto de los usuarios como de los técnicos, para buscar la fórmula más eficaz de solventarlo.

OBRAS DE DRENAJE

Otro factor que está íntimamente ligado al proceso de riego es el del drenaje. Este no es en sí una parte del circuito de riego definido con anterioridad, pero está relacionado con él mismo. Así por ejemplo, un

defecto de evacuación de sobrantes de aguas superficiales, produce un ascenso en el nivel freático en la zona circundante, aumentando la superficie inutilizada para riego, y a medida que se aleja del foco de anegamiento, provoca un ascenso del nivel que puede dañar los cultivos.

Un nivel freático elevado provoca por otra parte dificultad de crecimiento a unas plantas; incapacidad de arraigar a otras y en general una disminución de producción, debido al necesario ajuste que debe hacer el sistema radicular, para defenderse del peligro de ahogo.

Existen por otra parte áreas con insuficiente drenaje, debido a situaciones naturales de carácter topográfico, o por estar cercano a ríos o bien por corresponder a áreas de descarga en un embalse subterráneo.

En todos estos casos es necesario efectuar obras que permitan controlar el nivel del agua subterránea de modo de mantenerlo a una profundidad tal que permita el adecuado desarrollo del sistema radicular.

EFICIENCIA TOTAL DEL SISTEMA DE RIEGO

De acuerdo con lo establecido en los puntos anteriores, se puede definir una eficiencia total del sistema de riego en todo su conjunto. Esta cifra vendría a representar de alguna manera, el porcentaje del volumen efectivamente aprovechado por los cultivos en relación con el que se debería haber derivado desde el río en su bocatoma.

Estaría dado por la expresión:

$$\eta_{sr} = \eta_d \times \eta_c \times \eta_t \times \eta_r \times \eta_a$$

en que:

η_{sr}	=	Eficiencia del sistema de riego
η_d	=	Eficiencia de derivación
η_c	=	Eficiencia de conducción
η_t	=	Eficiencia de distribución
η_r	=	Eficiencia de regulación predial
η_a	=	Eficiencia de aplicación

Del análisis de la expresión general de eficiencia es posible efectuar algunos comentarios, que pueden servir de base para un diálogo técnico sobre la materia, el que a su vez pueda desembocar en unas líneas de acción que permitan ir aumentando la eficiencia global del sistema de

riego. Esto será el resultado de una acción armónica y paulatina en todos y cada uno de los aspectos en que se ha separado el circuito de riego.

Si se asignan eficiencias del 90% a cada una de las cinco actividades en que se ha desglosado el tema, se puede obtener una eficiencia global del 60% en el sistema. En cambio si todas alcanzan al 80% el conjunto llega al 25%. Esto pone de manifiesto la importancia que tiene el mejorar cualquier aspecto del riego y en particular cuando se hace en todo el conjunto.

Si se trata de pensar en una representación física al valor de la eficiencia total se puede señalar que es el porcentaje de agua realmente aplicado a los cultivos en relación con el agua derivable en bocatoma, de acuerdo con los derechos de que se dispone.

En consecuencia una eficiencia del 30% indica que habría un 70% que no se utiliza; sin embargo esto puede no ser exacto en muchos casos, debido a que cuando existe la posibilidad, por existencia de cauces, los usuarios de aguas abajo pueden emplear las aguas que son productos de la ineficiencia del sistema de aguas arriba.

A lo anterior cabe también comentar que si bien es cierto que existe un aprovechamiento aguas abajo, en él no se emplea la totalidad de las pérdidas y también se producen las mismas ineficiencias que en el sistema de aguas arriba. En resumen, se puede indicar que hay una pérdida importante de recursos de agua y de suelo, los cuales se pueden aprovechar mediante un pequeño esfuerzo técnico económico y de preparación tecnológica.

Desde otro punto de vista, cabe señalar que la eficiencia de todas estas obras hará más rentable y necesarias las obras mayores de riego, a saber: embalses, canales de trasvase, obras de descontaminación y estabilización de cauces, porque se aprovechará mejor el agua de estas obras.