

Artículo publicado en el Repositorio Institucional del IMTA

<i>Título</i>	Evaluación rápida de una zona de riego típica de Pakistán.
<i>Autor / Adscripción</i>	Víctor Manuel Ruiz Carmona Waldo Ojeda Bustamante Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  Manuel Contijoch Banco Mundial
<i>Publicación</i>	Ingeniería Hidráulica en México, 21(3): 43-56
<i>Fecha de publicación</i>	2006
<i>Resumen</i>	En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos al aplicar una metodología de evaluación rápida de sistemas de riego a una zona de la provincia del Punjab, Pakistán. La metodología empleada en este trabajo puede ser aplicada en otros países, como México, para realizar evaluaciones de grandes sistemas de riego bajo un esquema de optimización en recursos humanos y tiempo.
<i>Identificador</i>	<a href="http://hdl.handle.net/123456789/845">http://hdl.handle.net/123456789/845</a>

## Evaluación rápida de una zona de riego típica de Pakistán

Víctor Manuel Ruiz-Carmona  
Waldo Ojeda-Bustamante

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Manuel Contijoch

Banco Mundial

*En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos al aplicar una metodología de evaluación rápida de sistemas de riego a una zona de la provincia del Punjab, Pakistán. El objetivo de la evaluación fue conocer el estado actual del servicio de riego que ofrece la agencia responsable del manejo del riego en un distrito del Punjab y proponer alternativas para mejorarlo. Los principales resultados de esta evaluación fueron los siguientes: la falta de capacidad de los canales; el abatimiento neto del acuífero; el estrés hídrico continuo de los cultivos, que propicia un bajo rendimiento; la red secundaria de canales no dispone de estructuras de control y su diseño no es adecuado para operar por rotación; el deficiente sistema de comunicación entre operadores; la excesiva plantilla de personal para la operación del distrito; la no existencia de un programa de capacitación de personal, y la diferencia en la calidad del servicio de riego entre lo recibido por los usuarios y lo programado por los operadores del sistema. Para solucionar estos problemas se propone ofrecer un servicio orientado al cliente, promover la participación de los usuarios en la definición del nivel de servicio de riego que requieren, un claro establecimiento de las dotaciones parcelarias ofertadas y el seguimiento de los volúmenes entregados a cada usuario, así como la implantación de un programa de modernización acorde con el servicio de riego acordado por usuarios y operadores. La metodología empleada en este trabajo puede ser aplicada en otros países, como México, para realizar evaluaciones de grandes sistemas de riego bajo un esquema de optimización en recursos humanos y tiempo.*

**Palabras clave:** distritos de riego, irrigación, operación, productividad, *benchmarking*, modernización.

### Introducción

Históricamente, Pakistán ha sido un país de agricultura de riego, desarrollando así la mayor superficie mundial contigua bajo riego del orden de 17 millones de hectáreas (Qureshi, 2004). La agricultura de riego en Pakistán es de vital importancia en su economía, ya que suministra cerca del 90% de los productos agrícolas, representa el 25% del PIB y emplea cerca del 54% de la fuerza laboral. Pakistán tiene actualmente una población de 140 millones de personas, con una disponibilidad anual de agua crítica de cerca de 1,230 m<sup>3</sup> por habitante. La disponibilidad de agua en los próximos años se verá seriamente afectada por el aumento de la población, la cual

se estima alcanzará los 220 millones en 2025. Lo anterior demanda grandes cambios en la agricultura, con el fin de mejorar el manejo del agua y la tierra.

La agricultura en Pakistán depende del riego, ya que las lluvias son escasas (200 mm por año) y concentradas en tres meses (de julio a septiembre). En Pakistán, el riego se practica en grandes planicies localizadas a lo largo del río Indus y sus cinco tributarios principales, en lo que es conocido como el Sistema de Riego del "Valle del Indus". Dicho sistema tiene muy poca capacidad para almacenar agua, apenas el 13% del flujo anual promedio del río Indus (144,690 Hm<sup>3</sup>); la agricultura pakistaní depende del flujo no controlado de los ríos que descienden de la cordillera de los Himalayas. Cerca del

84% del escurrimiento ocurre durante el verano, presentándose una discrepancia importante entre la disponibilidad de agua y la demandada por los cultivos. Para reducir el déficit hídrico, los agricultores bombean agua del acuífero subyacente.

Los sistemas de riego han sufrido cambios importantes durante su uso histórico, propiciados por una irregularidad en la disponibilidad de agua, la apertura de nueva superficie bajo riego, y por el manejo y conservación deficiente de la infraestructura, generando el ensaltramiento de los suelos y un alto déficit de agua. Los sistemas de riego fueron diseñados para una intensidad anual de cultivos del 75%: 30% durante el invierno (*rabi*) y 45% durante el verano (*kharif*). Sin embargo, actualmente la intensidad promedio es de 133%, alcanzando en algunas zonas hasta el 200%. Lo anterior genera una seria escasez de agua, que requiere de cambios estacionales profundos en la operación de la red de canales, ocasionando que el servicio de riego sea muy deficiente en términos de oportunidad y equidad del vital líquido.

Los sistemas de riego pakistaníes requieren de una serie de acciones integrales para resolver los problemas críticos que enfrentan, no sólo para la rehabilitación y modernización de su infraestructura, sino también de reformas estructurales en el manejo y operación de los sistemas de riego, y en las políticas de asignación y registro de los derechos del agua. Para identificar y analizar la problemática existente en un sistema de riego típico Pakistání, en este trabajo se presenta: a) el proceso empleado para realizar la evaluación rápida de la zona en estudio, b) la interpretación de los resultados obtenidos al aplicar la evaluación y c) la propuesta para mejorar su operación y manejo, aspectos que se desprenden como consecuencia directa de la evaluación hecha. Especial atención se presta a los volúmenes disponibles de agua, la infraestructura y los procedimientos usados en su distribución.

### Evaluación rápida de sistemas de riego

Como todo servicio, los distritos de riego deben mantener altos estándares en su desempeño operativo y administrativo (Malano y Burton, 2001). Una de las herramientas metodológicas que ha sido de gran ayuda para evaluar el desempeño y competitividad de la gestión de distritos de riego es conocida como *benchmarking*, que se basa en comparar una organización con otras similares, usando indicadores de desempeño y competitividad (Malano y Burton, 2001; Malano y Burton, 2004a; Malano et al., 2004b; Azhari, 2004, y Ghazalli, 2004).

La aplicación del *benchmarking* al sector hidroagrícola ha sido difícil y relativamente reciente. El primer trabajo documentado sobre el uso del *Bechmarking* en la irri-

gación fue realizado en Australia en 1998, al evaluar y comparar 78 distritos de riego, usando 47 indicadores de desempeño (ANCID, 2000; Alexander y Potter, 2004).

Con la iniciativa del Banco Mundial se elaboró una guía para aplicar el *benchmarking* a distritos de riego, la cual ha sido ampliamente difundida y aceptada como el principal documento de referencia para este tipo de estudios (Malano y Burton, 2001). En dicha guía se presenta una serie de indicadores simples, fácilmente aplicables y cuantificables, agrupados en cuatro grandes grupos: servicio de entrega, impacto ambiental, desempeño financiero y eficiencia productiva.

El proceso tradicional de evaluación de sistema de riego es laborioso y por lo general sólo examina una parte del sistema, requiriendo de la recolección de datos por largos periodos de tiempo, e involucrando el uso de importantes recursos materiales, económicos y humanos. Una de las metodologías más usadas para realizar la evaluación de sistemas de riego es el Proceso de Evaluación Rápida (RAP) desarrollado por el IPTRID. El RAP, que se ha tomado como estándar para la evaluación de sistemas de riego, fue desarrollado por Burt y Styles (1999), y fue utilizado por primera vez en la evaluación de 16 sistemas de riego en el mundo en un proyecto financiado por la FAO y el Banco Mundial. Los orígenes del RAP se remontan a la década de los ochenta, cuando se aplicaron varios procedimientos de evaluación para zonas de riego del oeste de los Estados Unidos, con el objeto de lograr su modernización (Burt y Styles, 1999). A diferencia de las evaluaciones tradicionales, la evaluación tipo RAP es un proceso que puede tomar de una a dos semanas para la compilación y el análisis de datos, tanto en oficina como en campo, asumiendo que la información básica del sistema de riego a evaluar ha sido solicitada con anterioridad a la llegada del equipo evaluador. La aplicación de la metodología RAP requiere de personal técnico con experiencia en riego y en la aplicación de la metodología, así como del apoyo local durante el trabajo de campo en la zona de estudio.

El proceso RAP examina las entradas al sistema de riego, definidas por las fuentes de abastecimiento de agua, y las salidas, definidas por el uso consuntivo del agua (ET, escurrimiento superficial, etcétera). El RAP proporciona un examen sistemático de la infraestructura y de los procesos usados para transportar y distribuir el agua al interior del sistema, desde la fuente hasta la toma parcelaria. La metodología RAP calcula varios indicadores de desempeño del sistema de riego que se clasifican en internos y externos. Los indicadores internos permiten conocer cómo se realiza el proceso de distribución del agua al interior del proyecto y el nivel de servicio de riego ofrecido. Dichos indicadores facilitan al evalua-

dor la formulación de planes de acción que eventualmente mejorarán el sistema de riego. Los indicadores externos —utilizados para la comparación del sistema con un patrón de referencia de sistemas— permiten realizar un *benchmarking* para evaluar mejoras en el proyecto o compararlo con otros sistemas, aunque no aportan información sobre las causas que originan estos resultados (Burt y Styles, 1999).

Los indicadores de desempeño claves del RAP permiten organizar percepciones, hechos y datos obtenidos en oficina y campo, haciendo posible tomar decisiones sobre:

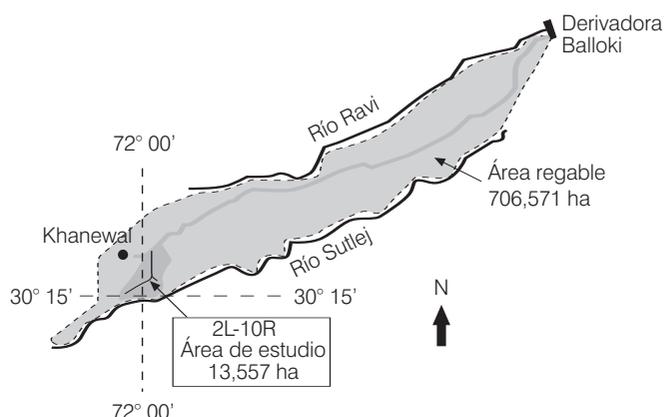
- Posibilidades reales de ahorro de agua en un sistema de riego.
- Fortalezas y debilidades específicas de un proyecto en la operación, administración e infraestructura.
- Acciones específicas de modernización que se pueden hacer para mejorar el desempeño del sistema de riego.

### Características de la zona en estudio

El sistema de riego del Punjab (SRP) está dividido en varios distritos de riego contiguos. Cada distrito recibe el nombre del canal principal que lo abastece. Los canales principales tienen su origen en una derivación de alguno de los ríos tributarios del río Indus. En los canales principales, el método de operación por tramo usado es de tirante constante aguas abajo al final del tramo y el concepto de control es aguas arriba (Buyalski *et al.*, 1994). El método de distribución de agua es conocido localmente como *warabandi*. Teóricamente el *warabandi* es un método muy eficiente de distribución equitativa de agua, al imponer un esquema de escasez continua con un volumen asignado por unidad de área. Las entregas son programadas a partir de una base rotacional, con un tiempo de entrega parcelario fijo basado en la superficie de riego. El *warabandi* asume un flujo uniforme en el nivel de punto de entrega a los usuarios. Las tomas granja no tienen compuertas, por lo que se requiere una cooperación entre usuarios para distribuir el agua en las parcelas (Bandaragoda, 1998). Cada parcela recibe la totalidad del flujo por un periodo de tiempo determinado, dependiendo de su superficie.

El trabajo de evaluación se realizó en la zona de riego cercana a la ciudad de Khanewal, que es dominada por el sublateral 2L-10R, con una área de influencia de 13,577 ha (IPD-Punjab, 2004). Este sublateral forma parte del distrito de riego dominado por el canal Lower Bari Doab (LBDC), que tiene una superficie regable de 703,000 ha. Esta zona fue elegida por el personal del Departamento de Irrigación (DI), agencia responsable

Ilustración 1. Localización del área de estudio.



de la distribución del agua en las zonas de riego en la provincia de Punjab. En la ilustración 1 se muestra la localización de la zona en estudio.

Uno de los problemas encontrados durante la evaluación del área de estudio fue la disponibilidad de datos. No se tiene información confiable sobre la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ), coeficientes de cultivo ( $K_c$ ), extracciones del acuífero, patrón de cultivos, rendimientos y láminas aplicadas. Una de las causas de este problema es la falta de relación operativa y funcional entre las dependencias gubernamentales encargadas de las zonas agrícolas de Pakistán. La responsabilidad del DI en el manejo del agua termina en la toma parcelaria; a partir de ahí, es responsabilidad del Departamento de Agricultura.

La zona agrícola en estudio, 2L-10R, presenta una alta densidad de pozos. Se tienen 511 pozos privados, con una descarga promedio de 30 l/s, con un tiempo de operación diario de cuatro a ocho horas.

La  $ET_0$  usada durante la evaluación se estimó usando la ecuación de Penman Montieth con el programa CROPWAT de FAO (Clarke, 1998), tomando la información de la base de datos CLIMWAT (Smith, 1993) de una estación meteorológica localizada en la ciudad de Multan, al sur de la zona en estudio. No hay estudios en Pakistán sobre los coeficientes de cultivos  $K_c$  bajo condiciones de estrés hídrico. Los valores de  $K_c$  usados se tomaron de acuerdo con la FAO (Clarke, 1998), reduciendo el  $K_c$  potencial, en especial durante la demanda máxima del cultivo, con el fin de considerar el estrés al que continuamente se someten los cultivos en esta zona.

### Metodología RAP

El proceso de evaluación tipo RAP se realiza en cinco etapas:

1. *Previo a la visita.* Antes de llegar al sistema de riego a evaluar, se solicita a los responsables del mismo recopilar información sobre cultivos, gastos, clima, presupuesto, personal,  $ET_0$  y  $K_c$ .
  2. *Reuniones previas.* Al llegar a la zona a evaluar, se organizan los datos y se entrevista a los administradores del sistema, con el propósito de solicitar la información faltante y conocer su opinión sobre el funcionamiento del sistema.
  3. *Visita de campo.* Se recorre la red de canales, entrevistando a los operadores y usuarios, observando y registrando los procedimientos e infraestructura usada para el control y la medición del agua.
  4. *Llenado de cuestionarios.* Se completan los cuestionarios, apoyados de hojas de cálculo electrónicas, vaciando los datos y observaciones realizadas en campo. Se completan cuestionarios relacionados con información de los canales principales, secundarios, terciarios, usuarios y parcelas.
  5. *Interpretación de los resultados.* Los indicadores internos revelan las causas, infraestructura y/o procedimientos que limitan la distribución y conducción del agua, facultando a los evaluadores del sistema, con base en su experiencia, a establecer acciones específicas de modernización para mejorar el desempeño del sistema. Los indicadores externos, basados en las entradas y salidas del proyecto, permiten comparar el sistema con otros e indican si es posible ahorrar agua (Burt y Styles, 1999).
- Volumen anual de agua subterránea bombeada.
  - Volumen anual de agua usada para riego. Agua superficial y agua subterránea.
  - Volumen anual estimado de la aportación neta del acuífero. Burt y Styles (1999) estiman la aportación neta del acuífero a partir de la eficiencia de recirculación observada en el proyecto, la eficiencia parcelaria y el volumen anual bombeado.
  - Volumen anual de agua de riego que entra al proyecto. Volumen anual de agua superficial menos aportación neta al acuífero.
  - Volumen anual de agua que entra al proyecto. Volumen anual de agua superficial menos aportación anual al acuífero más precipitación anual.
  - Volumen anual ET de los cultivos. Demanda anual ET de los cultivos en función de  $ET_0$  y  $K_c$ .
  - Gasto máximo requerido para los cultivos en el área en estudio. Volumen del mes de máxima demanda entre los segundos del mes.
  - Relación de la capacidad del canal *versus* el área dominada. Indicador de flexibilidad y capacidad para satisfacer la demanda.
  - Eficiencia del sistema riego.  $100 \times (\text{volumen anual ET de los cultivos} - \text{volumen anual de precipitación efectiva}) / (\text{volumen anual de agua de riego que entra al proyecto})$ .

Otros indicadores externos calculados están relacionados con aspectos financieros (valor de la producción), productividad (toneladas por hectárea) y desempeño del sistema de riego (usuarios por toma, hectáreas por toma). La hoja de cálculo también determina otros indicadores externos establecidos por el Banco Mundial (Burt y Styles, 1999), lo cuales no se muestran, ya que están fuera de los objetivos principales de esta evaluación.

Para realizar la evaluación interna de un sistema de riego se divide al mismo en los siguientes niveles de funcionamiento: oficina (responsable de la operación del canal principal y supervisor del funcionamiento del sistema de riego), canal principal, canal secundario, canales terciarios, red interparcelaria, parcela y asociaciones de usuarios. Con esta división es posible caracterizar el funcionamiento del sistema de riego en términos simples. Por ejemplo, los encargados de la operación del canal principal tienen como objetivo hacer todo lo necesario para suministrar un buen servicio de entrega de agua a sus clientes, canales secundarios y algunas tomas directas. Con la división del sistema de riego, cada nivel conoce claramente la calidad de servicio que debe recibir del nivel superior como cliente y el que debe ofrecer al nivel inferior como proveedor. Los indicadores internos (II) para cada uno de los niveles en que se divide el

La evaluación RAP calcula dos tipos de indicadores: los externos (IE) y los internos (II). Los indicadores externos (IE) expresan la eficiencia del sistema, en función de las salidas obtenidas, considerando las entradas observadas o estimadas, y tienen la siguiente forma general para el caso del balance de agua o para el rendimiento:

$$\frac{\text{Agua requerida}}{\text{Total de agua disponible}} \quad \circ \quad \frac{\text{Rendimiento del cultivo}}{\text{Agua de riego entregada a las parcelas}}$$

Los indicadores externos sólo requieren conocer las entradas y las salidas globales del sistema de riego, por lo que no suministran información interna del sistema para mejorar la eficiencia. Algunos de los indicadores externos que se calculan en la hoja de cálculo del RAP relacionados con el balance de agua en el sistema de riego son:

- Volumen anual de agua superficial que entra al proyecto. Se considera el agua que entra a las fronteras tridimensionales del proyecto.

sistema de riego: a) identifican los factores más importantes relacionados con el control y la medición del agua, b) definen el nivel del servicio de entrega de agua recibido y ofrecido en cada nivel y c) examinan la infraestructura, técnicas de manejo y procesos usados en el control, distribución y medición del agua.

Los principales indicadores internos calculados son:

- Servicio de entrega de agua recibida en cada nivel. Calidad de servicio que recibe el cliente.
- Servicio de entrega de agua programada para cada nivel de operación. Calidad de servicio que el proveedor dice suministrar a su cliente.
- Servicio de entrega de agua recibida en cada nivel por los clientes ubicados al final del canal. Calidad de servicio que reciben los clientes ubicados aguas abajo al final de cada nivel, determinándose la equidad en el servicio recibido.
- Servicio de entrega de aguas programado para cada nivel para los clientes ubicados al final del canal. Calidad de servicio que el proveedor dice suministrar a los clientes al final de cada canal. Equidad en el servicio ofrecido.
- Infraestructura de control. Se revisa el tipo, estado, tiempo de respuesta y magnitud de las perturbaciones en gasto y nivel asociados con el equipo de medición y operación para cada uno de los niveles de funcionamiento del sistema de riego.
- Infraestructura de extracción. Se revisa el tipo, estado, tiempo de respuesta y magnitud de las perturbaciones asociadas con el equipo de medición y operación para cada uno de los niveles de operación del sistema de riego.
- Reservorios. Se evalúa la ubicación, procedimientos de operación y conservación de reservorios en los niveles de funcionamiento del sistema de riego.
- Condiciones generales de mantenimiento de los canales. Se evalúa el estado de la infraestructura, filtraciones, azolves, disponibilidad y existencia de equipos de conservación en los diferentes niveles de funcionamiento del sistema de riego.
- Operación de canal. Se revisa el tiempo de respuesta del personal, procedimiento y reportes usados en la distribución y solicitud del agua en cada nivel de funcionamiento.
- Comunicación. Se observa la frecuencia con la cual se comunican los operadores en cada nivel de funcionamiento y con los niveles superiores e inferiores de funcionamiento.
- Presupuesto. Evalúa el porcentaje del presupuesto recolectado por cuotas por servicio de riego y el uso de ellas en el manejo del sistema de riego.

- Asociación de usuarios. Evalúa el porcentaje del sistema manejado por asociaciones de usuarios, la fortaleza financiera de éstas, la capacidad de la asociación en aplicar su reglamento, y su influencia en la solicitud y entrega de agua.
- Empleados. Evalúa la capacitación, existencia de manuales de procedimientos de funciones para operadores, capacidad de los operadores para tomar decisiones, posibilidad para despedir empleados ineficientes, existencia de estímulos a los empleados y remuneración adecuada de empleados.
- Movilidad y tamaño del personal de operación. Evalúa la capacidad de los empleados para moverse de un punto a otro en el distrito y el número de empleados por superficie regada.
- Disponibilidad de equipos de cómputo. Acceso a equipo de cómputo para la administración y el manejo de los canales.

Cada uno de los indicadores antes mencionados se determina en una hoja de cálculo electrónica, a través de una serie de preguntas que el evaluador responde de acuerdo con la información proporcionada por los operadores de cada nivel de servicio de funcionamiento y de las observaciones realizadas en campo, considerando el rango de calificaciones que se propone en la hoja de cálculo. A manera de ejemplo, en el cuadro 1 se muestra el caso del indicador asociado con el nivel de servicio de entrega a los canales secundarios por parte del canal principal. Este indicador integra las respuestas de cuatro subindicadores: flexibilidad, confiabilidad, equidad y control del gasto. Para cada uno de los subindicadores, el evaluador asigna un valor entre cero y cuatro (cero es el valor menos deseable, cuatro es el valor más deseable), según la información recabada y la clasificación de evaluación propuesta. El indicador se calcula como la suma ponderada de los subindicadores, obteniendo nuevamente un valor entre cero y cuatro.

La evaluación para el caso de servicio que reciben los canales secundarios del principal se hace tanto con los responsables de la operación del canal principal (canal proveedor), como con los que reciben el servicio de entrega del canal principal (canal receptor o cliente). La evaluación del servicio de entrega en los canales se hace de aguas arriba a aguas abajo. En una primera etapa, en la oficina, el cuestionario es llenado con la información proporcionada por la agencia responsable del manejo de los canales principales, obteniéndose la evaluación sobre el servicio de entrega de agua ofrecido por los canales principales. En una segunda etapa, el cuestionario es llenado con los comentarios de los operadores de los canales principales y secundarios, y las obser-

**Cuadro 1. Cálculo del indicador interno A5 (A6) servicio recibido (programado) en la entrega de agua del canal principal a los canales secundarios (entre paréntesis se presenta el servicio teórico, asumido por el organismo operador).**

Subindicador	Criterio de evaluación	Factor de ponderación
A5-1 Flexibilidad	4. El programa de entrega es determinado por los canales secundarios varias veces al día, en función de sus necesidades. Gran cantidad de cambios en duración, cantidad y frecuencia. 3. El programa de entrega es determinado por los canales secundarios una vez al día, en función de sus necesidades reales. Gran cantidad de cambios en duración, cantidad y frecuencia. 2. El programas se ajusta una vez a la semana por los operadores de los canales secundarios. 1. El programa de entrega es establecido por los jefes del canal principal (oficina). Los cambios se hacen una vez a la semana. 0. El programa de entrega es desconocido por los operadores de los canales secundarios o se hacen ajustes con una frecuencia mayor a una semana.	1 (1)
A5-2 Confiabilidad	4. Los operadores de los canales secundarios conocen el gasto y lo reciben más-menos unas horas del tiempo programado. Durante el año nunca tienen problemas de falta de agua en los canales secundarios 3. Los operadores de los canales secundarios conocen el gasto que reciben, pero tienen que esperar en algunos casos un día para recibir el gasto que requieren. Pocas veces en el año no reciben el agua solicitada. 2. El gasto solicitado lo reciben entre más-menos uno a dos días respecto a la fecha solicitada. Del orden de cuatro semanas en el año no reciben el agua solicitada. 1. El gasto programado llega entre más-menos cuatro días respecto a la fecha solicitada y no es el solicitado. Del orden de siete semanas al año no reciben el agua solicitada. 0. En más del 50% de los casos en que el agua es solicitada no llega en la cantidad y el tiempo pedido. No es confiable el servicio recibido y no se conoce el volumen entregado.	2 (3)
A5-3 Equidad	4. Todas las tomas a lo largo del canal reciben el mismo nivel de servicio. 3. 5% de la tomas reciben un servicio de entrega de agua deficiente respecto del promedio. 2. 15% de las tomas reciben un servicio de entrega de agua deficiente respecto del promedio. 1. 25% de las tomas reciben un servicio de entrega de agua deficiente respecto del promedio. 0. Mas del 25% de las tomas reciben un servicio de entrega de agua deficiente respecto del promedio. No existe un patrón en el servicio de entrega.	2.5 (3)
A5-4 Control del flujo a clientes del nivel inmediato inferior	4. El gasto es conocido y controlado con una tolerancia de 5%. 3. El gasto es conocido y controlado con una tolerancia del 10%. 2. No se conoce el gasto, sin embargo, se controla con una tolerancia del 10%. 1. El gasto es controlado con una tolerancia del 20%. 0. El gasto es controlado con una tolerancia del 25%.	3.4 (4)

vaciones hechas en campo, evaluándose el servicio de entrega de agua recibido del canal principal por los canales secundarios. Como se observa, la visita a campo es de vital importancia, ya que el evaluador conocerá el tipo de infraestructura disponible tanto para la medición como para el control, el estado de la misma y los procedimientos usados, el personal disponible, los vehículos y el equipo de comunicación usado.

En este caso, el evaluador llena dos veces la misma encuesta, una como operador (o proveedor), con la información del servicio programado (u ofertado) y otra como cliente, con el servicio realmente recibido, reflejando lo observado en campo y el contacto directo con operadores y agricultores.

En el cuadro 2 se presenta la estructura general de la hoja de cálculo que se llena durante la evaluación RAP (Burt y Styles, 2004).

## Resultados

### Indicadores externos (IE)

En esta sección se presentan los indicadores calculados a partir de los datos recabados en campo y oficina. En el cuadro 3 se encuentran los indicadores externos más importantes para la zona de riego en estudio, que corresponde al área de influencia del canal lateral 2L-10R.

Algunos de los IE obtenidos para el distrito de riego LBDC se presentan en forma gráfica, en la ilustración 2, donde se comparan con los reportados por la FAO (Burt y Styles, 1999) para otros sistemas de riego de diversas partes del mundo obtenidos entre 1997 y 1998. Como los datos reportados por FAO son por distrito, se reportan los datos del distrito LBDC donde está la zona en es-

**Cuadro 2. Estructura general de la hoja de cálculo del RAP (Burt y Styles, 2004).**

Hoja de cálculo	Descripción
1. Año 1 (normal) 2. Año 2 (seco) 3. Año 3 (lluvioso)	Para un año promedio, se requieren los siguientes datos por mes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cultivos.</li> <li>• Salinidad del agua.</li> <li>• <math>K_c</math> por cultivo.</li> <li>• Área por cultivo.</li> <li>• Fuentes de agua.</li> <li>• Precipitación.</li> <li>• Recirculación y agua subterránea bombeada.</li> <li>• Requerimientos agronómicos especiales.</li> </ul>
4. Indicadores externos	Se calculan los valores mensuales y anuales de los indicadores sobre las fuentes de agua.
5. Preguntas en la oficina	La mayoría de los datos en este punto se obtiene en la oficina. La información solicitada es: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condiciones generales del sistema de riego.</li> <li>• Ubicación de las fuentes de agua.</li> <li>• Tipo de propiedad del agua y tierra.</li> <li>• Moneda.</li> <li>• Presupuesto.</li> <li>• Operación del sistema de riego y su descripción por el personal de la oficina o jefatura del distrito.</li> <li>• Servicio de entrega de agua que se ofrece a los diferentes niveles de funcionamiento del sistema de riego.</li> </ul>
6. Empleados de la oficina o jefatura del distrito	Se recaba información sobre capacitación, manuales de procedimientos, estímulos, salarios, capacidad para despedir empleados ineficientes.
7. Asociación de usuarios	Información sobre las asociaciones de usuarios existentes, solicitado tanto a la oficina como a las asociaciones de usuarios directamente. Las preguntas son sobre: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño de la asociación.</li> <li>• Fortaleza de la asociación.</li> <li>• Funciones.</li> <li>• Presupuesto.</li> <li>• Costo por servicio de riego.</li> </ul>
8. Canal principal	Datos del canal principal en cuanto a: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Control del gasto.</li> <li>• Características generales del canal.</li> <li>• Estructuras de control.</li> <li>• Estructuras de medición.</li> <li>• Condiciones generales del canal.</li> <li>• Reglas de operación.</li> <li>• Tomas.</li> <li>• Comunicación.</li> <li>• Reservorios.</li> <li>• Nivel de servicio que se presta al siguiente nivel de funcionamiento.</li> </ul>
9. Canales secundarios	Igual que para canal principal, sólo que se añade: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel de servicio que se recibe del nivel superior de funcionamiento.</li> </ul>
10. Canales terciarios	Igual que para canales secundarios.
11. Entrega a parcelas	Información sobre la calidad de servicio de entrega en toma parcelaria, el último punto que es manejado por el personal de la empresa que ofrece el servicio de riego.
12. Cálculo de indicadores Internos	En esta hoja se resume el cálculo de los II que se obtiene de los subindicadores obtenidos en las diferentes hojas de cálculo, así como algunos indicadores complementarios.
13. Indicadores Banco Mundial	Se presenta un resumen de los indicadores calculados, en especial IE, de acuerdo con los indicadores establecidos por el Banco Mundial (Burt y Styles, 1999).

**Cuadro 3. Indicadores externos obtenidos al aplicar la evaluación en el canal lateral 2L-10R.**

Descripción indicador	Valor	Descripción indicador	Valor
E1. Superficie regada	27,548 ha	E2. Superficie física	13,577 ha
E3. Volumen anual de agua superficial que entra al proyecto	89 Hm <sup>3</sup>	E4. Volumen anual de agua subterránea bombeada	85 Hm <sup>3</sup>
E5. Volumen anual de agua usada para riego (E3 + E4)	174 Hm <sup>3</sup>	E6. Volumen anual estimado de la aportación neta del acuífero	-17 Hm <sup>3</sup>
E7. Volumen anual de precipitación	21 Hm <sup>3</sup>	E8. Volumen anual de precipitación efectiva	7 Hm <sup>3</sup>
E9. Total de fuentes de agua externas al proyecto (E3+E7-E6)	127 Hm <sup>3</sup>	E10. Total de fuentes de riego externa al proyecto (E3-E6)	106 Hm <sup>3</sup>
E11. Volumen anual ET de los cultivos	98 Hm <sup>3</sup>	E12. Gasto máximo canal	3.6 m <sup>3</sup> /s
E13. Gasto máximo requerido para los cultivos en el área en estudio	6.1 m <sup>3</sup> /s	E14. Valor anual de la producción	6.86 M \$US
E15. Relación capacidad del canal versus superficie física (E12/E2*1000)	0.27 l/s/ha	E16. Eficiencia de riego = 100 *(E11-E8)/(E10)	86%
E17. Número de usuarios por toma	22	E18. Hectáreas por toma	140

tudio. Entre los indicadores presentados se encuentran (ilustración 3): a) la capacidad del canal por hectáreas del proyecto; b) la intensidad de cultivo; c) lluvia/ET<sub>0</sub>; d) agua de riego disponible por hectárea; e) costo del servicio de riego en dólares de Estados Unidos; f) recuperación de cuotas; g) hectáreas por toma; h) usuarios de riego por toma; i) hectáreas por operador, y j) usuarios de riego por operador.

Las principales conclusiones que se obtienen de los indicadores externos son:

- La capacidad del canal para satisfacer la demanda de los cultivos medida en lps/ha es 0.27 (cuadro 3, E15). Este valor es bajo para sistemas donde se riega por gravedad, ya que usualmente tiene valores superiores a 0.6 y mayores a 1 en sistemas de alta flexibilidad. Todo esto indica que los canales no tienen capacidad para suministrar el agua requerida por los cultivos en el periodo de máxima demanda. Por lo tanto, los pozos deben complementar el agua requerida por los cultivos.
- La eficiencia del sistema de riego es de 0.86 (cuadro 3, E16). Esta eficiencia es alta y es producto de la recirculación de las pérdidas de los canales y parcelas realizadas por los pozos de bombeo. La recirculación de las pérdidas por infiltración y percolación ha concentrando las sales en la zona radicular. La ilustración 3 muestra un pozo típico de la zona de estudio.
- Los canales suministran aproximadamente el 50% del agua requerida por los cultivos (cuadro 3, E3/E5). Los rendimientos de maíz, trigo, caña de azúcar y al-

godón son de 1.9, 2.9, 40 y 0.56 ton/ha, respectivamente. Estas cifras indican que los pozos no satisfacen completamente las necesidades hídricas de los cultivos, los cuales no alcanzan su máximo potencial incluso con un paquete tecnológico adecuado.

- El número de usuarios y la superficie dominada por toma (22 usuarios y 140 hectáreas, respectivamente, ver cuadro 3, E17 y E 18) es alto en relación con sistemas que ofrecen alta eficiencia en el uso del agua (Burt y Styles, 1999). Esta condición requiere de una alta cooperación entre usuarios, para alcanzar una eficiencia razonable en la distribución de agua interparcelaria.

#### Indicadores internos (II)

En el cuadro 4 se presentan algunos de los indicadores internos calculados para la zona de riego en estudio.

Después de analizar los indicadores internos obtenidos (cuadro 4), se llega a las siguientes conclusiones:

- Existe una gran discrepancia entre el nivel de servicio que reciben los usuarios, *recibido*, 1.0 y el que se supone deben recibir, *programado*, 3.0 (cuadro 4A).
- El canal principal opera en forma aceptable, pero tiene una longitud muy larga que dificulta su operación ante cambios en los gastos demandados (cuadro 4B, B1=1.8).
- No se tienen estructuras de control en los canales secundarios y terciarios (cuadro 4B, B1=0.0 para canal secundario y canal terciario). El canal fue diseñado

Ilustración 3. Comparación de IE con otros sistemas de riego (Burt y Styles, 1999).

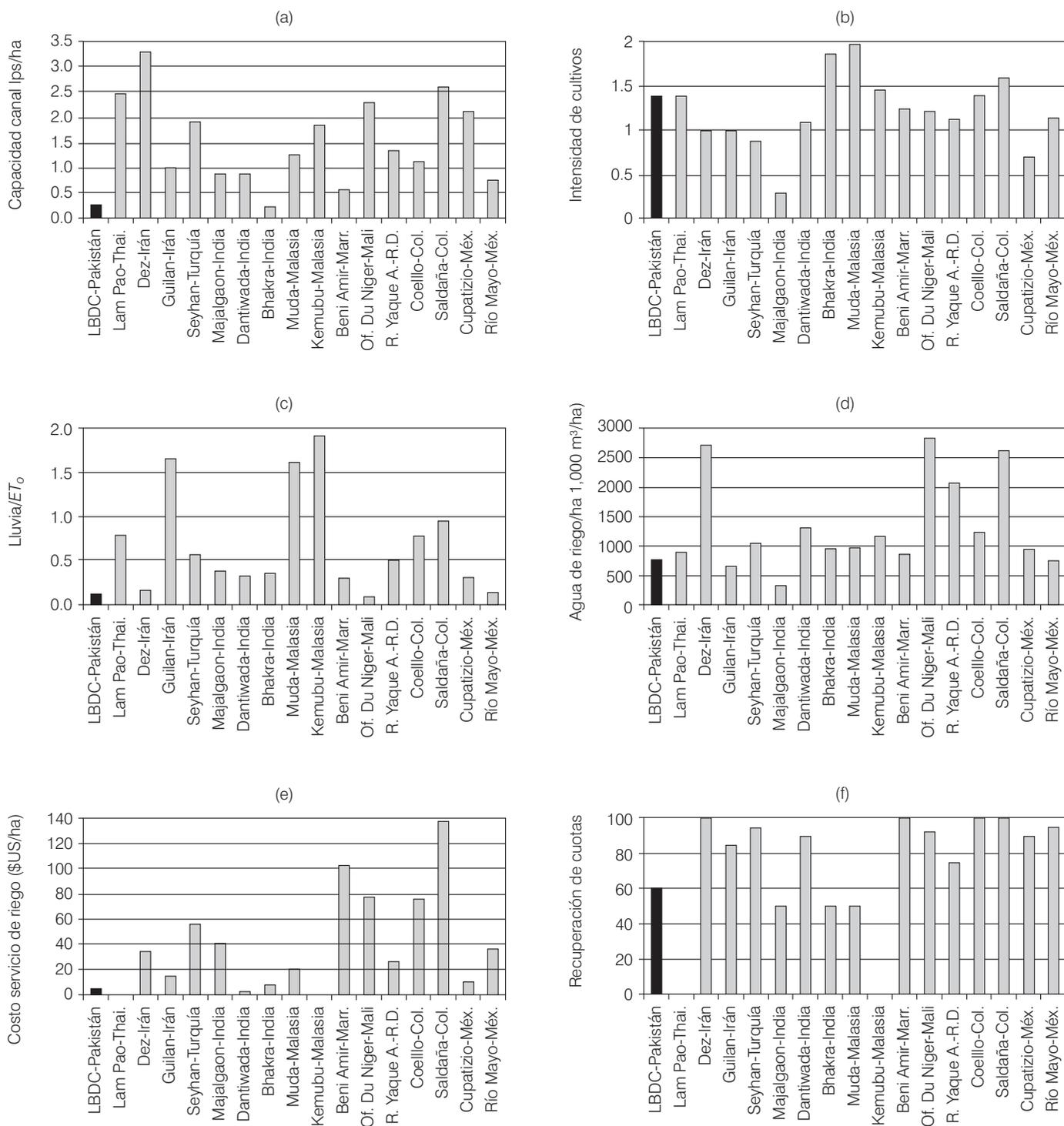


Ilustración 3. Comparación de IE con otros sistemas de riego (Burt y Styles, 1999) (continuación)

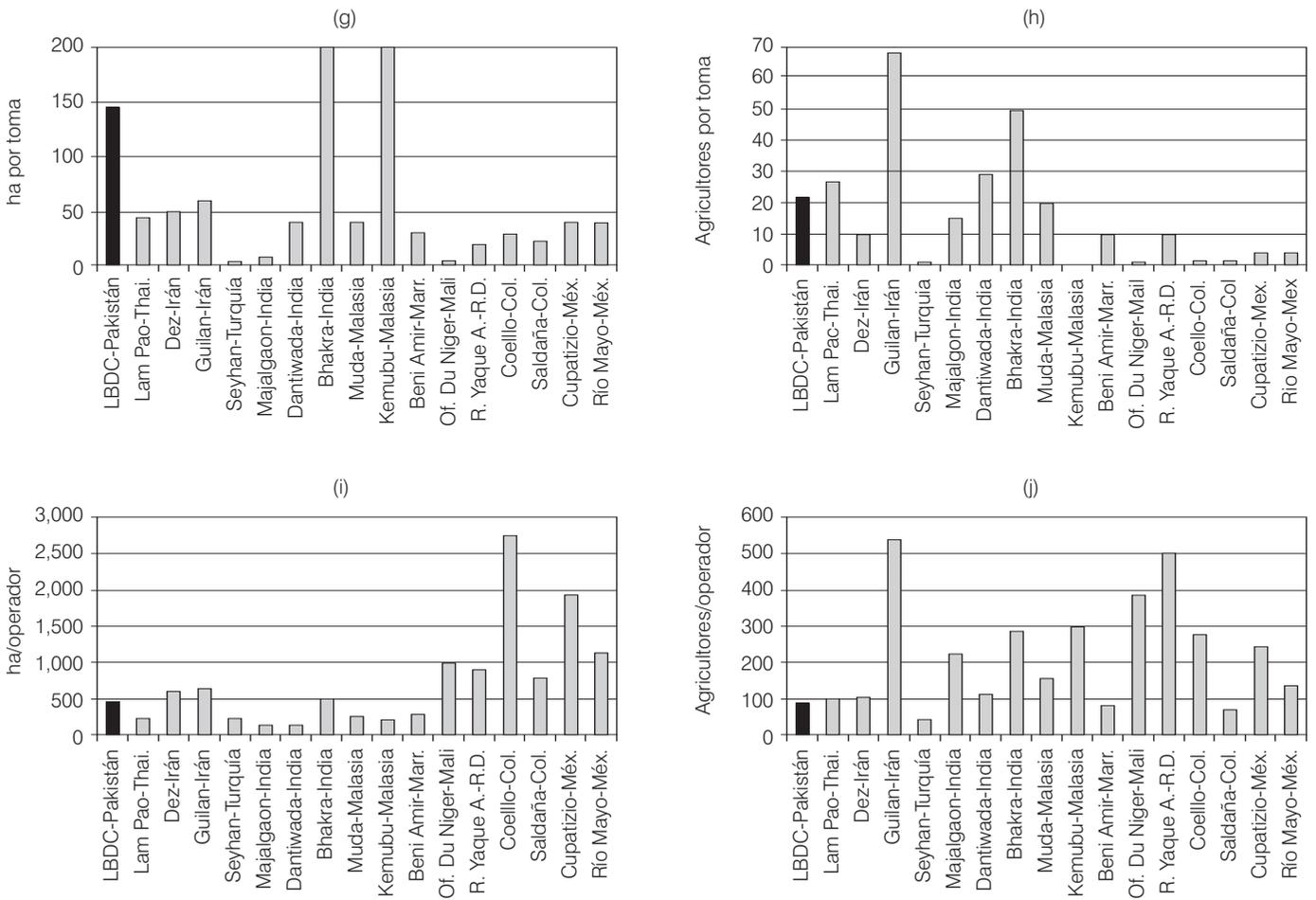


Ilustración 2. Pozos de bombeo típicos de la zona de estudio.



**Cuadro 4. Valores de los indicadores internos obtenidos al aplicar la evaluación.**

<b>A. Servicio de riego y respeto al marco normativo</b>				
A1. Servicio de riego recibido a cada toma.	1.0	A2. Servicio de riego programado a cada toma.	3.0	
A3. Servicio de riego recibido por las tomas localizadas aguas abajo al final del sistema.	1.6	A4. Servicio de riego programado a las tomas localizadas aguas abajo al final del sistema.	1.7	
A5. Servicio de riego recibido del canal principal por los secundarios.	2.4	A6. Servicio de riego programado por el canal principal a los secundarios.	2.9	
A7. Respeto al orden normativo definido para la red de canales operados por el DI.	3.0			
<b>B. Canales principal, secundario, terciario</b>				
<b>Indicador</b>		<b>Canal principal</b>	<b>Canal secundario</b>	<b>Canal terciario</b>
B1. Estructuras de control: mantenimiento, operación, conservación, tiempo de respuesta, control de nivel.		1.8	0.0	0.0
B2. Tomas del canal: operación, mantenimiento, medición de gasto.		3.0	2.5	2.4
B3. Reservorios: ubicación, operación, mantenimiento.		0.0	0.0	0.0
B4. Condiciones generales del canal: mantenimiento, filtraciones, disponibilidad y existencia de equipo, conservación.		3.1	2.2	1.6
B5. Operación del canal: tiempos de respuesta del personal, procedimientos e instrucciones de distribución y solicitud de agua, frecuencia de reporte del estado del canal.		2.4	2.2	1.5
B6. Comunicación: frecuencia con el nivel superior de operación, frecuencia con usuarios o clientes, confiabilidad del equipo de comunicación usado, frecuencia de visitas de jefes al campo.		1.9	1.7	1.6
<b>C. Presupuesto, empleados y asociaciones de usuarios</b>				
C1. Presupuesto: porcentaje del presupuesto de operación y mantenimiento colectado de la cuotas de servicio, uso de las cuotas en operación, conservación y modernización.	0.0	C2. Empleados: capacitación, existen manuales de procedimientos, capacidad de operadores de tomar decisiones, capacidad para despedir a trabajadores, estímulos al desempeño, remuneración adecuada.	1.5	
C3. Asociaciones de usuarios: porcentaje del sistema operador por fortaleza financiera y legal de la AU, capacidad de la AU de aplicar reglamentos, fortaleza de la AU para influir en la entrega del agua a los usuarios.	0.0	C4. Transportabilidad y tamaño del personal de operación.	0.0	
C5. Computadores en la facturación y administración del sistema de riego.	0.0	C6. Computadores en el manejo de los canales.	0.0	

para flujo continuo, no para rotación, que es el método actual de entrega de agua de la zona.

- La red de caminos está en mal estado en los canales secundarios y terciarios; en algunos tramos ya no es transitable (cuadro 4B, B4=3.1 C, principal, 2.2 C, secundario, 1.6 C, terciario).
- Las comunicaciones entre operadores son deficientes (cuadro 4B, B6=1.9 C, principal, 1.7 C, secundario, 1.6 C, terciario).
- El servicio de entrega que ofrece el DI a las tomas de los canales se va deteriorando de aguas arriba a aguas abajo, de los canales principales a los secundarios y terciarios (cuadro 4B, B2=3.0 C, principal, 2.5 C, secundario, 2.4 C, terciario).

- La administración actual del sistema no utiliza herramientas y técnicas que permitan optimizar los recursos físicos, humanos y materiales disponibles, como son el uso de sistemas informáticos, capacitación de personal, estimación de costo por servicio de riego y generación de estadísticas agrícolas e hidrométricas (cuadro 4C, C2=1.5, C5=0.0, C6=0.0).

La infraestructura y el sistema organizativo actual del sistema complican la transición hacia el uso de métodos modernos de riego parcelario.

Finalmente, los resultados de la evaluación resaltan que el método de distribución *warabandi* presenta graves desviaciones respecto a la alta equidad teóricamen-

te asumida. Existe una variabilidad espacial y temporal en los gastos de la red de distribución en la zona, sobre todo al final del sistema, debido a cambios físicos, técnicos y sociales que se han presentado desde que inició operaciones, hace más de cien años. Teóricamente, todos los canales deben llevar agua todo el año, pero en la realidad se tiene un programa rotacional en canales terciarios y secundarios durante el periodo de estiaje que induce a un cambio drástico en los volúmenes parcelarios entregados, en detrimento de la equidad en el servicio de riego. La incertidumbre en la cantidad y frecuencia de la entrega del agua ha propiciado actos de corrupción y el uso intenso de agua subterránea a través de pozos de bombeo; esto, para reducir las deficiencias del método de entrega. Los pozos han ayudado a controlar el nivel freático, pero han incrementado la salinidad a grados críticos, que limitan el crecimiento de cultivos sensibles.

### **Propuesta para mejoramiento del servicio de riego**

Antes de iniciar cualquier propuesta de mejora al servicio de riego es indispensable eliminar la diferencia que se presenta entre el servicio recibido por los usuarios (cuadro 4,  $A1=1.0$ ), y el que el DI dice suministrar, programado (cuadro 4,  $A2=3.0$ ). El DI debe entender el concepto de servicio de riego (el DI existe para atender a los agricultores) y atender las necesidades de sus usuarios. Usuarios y DI deben establecer el tipo de servicio a suministrar y las reglas para asignar los volúmenes disponibles. En la actualidad, el DI concentra casi todas las responsabilidades y decisiones sobre el sistema.

La propuesta de mejoramiento de la operación se divide en dos líneas: el manejo del agua en la red de distribución y la aplicación en la parcela.

En riego parcelario se propone hacer un sistema piloto donde se evalúen técnicas de riego tecnificado por surcos, nivelación de tierras, programa de uso eficiente de energía y un sistema interconectado de pozos mediante tuberías de baja presión. El proyecto propuesto se debe realizar en conjunto entre el DI y el Departamento de Agricultura.

Para la red de distribución y conducción, canales, se sugiere elaborar un programa de modernización basado en el tipo de servicio a suministrar acordado entre usuarios y administradores. El programa especificará las funciones de cada componente de la red de distribución y permitirá seleccionar el equipo adecuado en cada caso. Entre los equipos se encuentran almacenamientos, estructuras mixtas de control orificio-vertedor, métodos modernos de medición, sistema de radiocomunicación

entre operadores, sistema informáticos, sistema de medición y operación remota. El DI debe realizar un estudio sobre la factibilidad de utilizar los equipos antes mencionados en las condiciones presentes en las zonas de riego. A todo esto se debe añadir la revisión de los programas de conservación, para adecuarlos a los requerimientos reales de la infraestructura, mejorando la deficiente conservación que se ha diferido por varios años.

### **Conclusiones**

La metodología RAP es una excelente herramienta para la evaluación de sistemas de riego, tal y como fue aplicada a una zona de riego de Pakistán. La herramienta usada es sencilla y rápida para conocer el estado y los factores que determinan el funcionamiento de un sistema de riego. El RAP es una metodología integral de evaluación que, en un lapso de dos semanas, permite conocer el funcionamiento del sistema, la infraestructura y los procedimientos del manejo del agua en grandes sistemas de riego. Los resultados del RAP hacen posible comparar el sistema con una base de referencia para lograr mejoras al sistema bajo evaluación, establecer los posibles volúmenes de ahorro de agua en la zona de riego y conocer los factores que limitan el manejo del agua en el sistema.

Con el apoyo de los indicadores internos, el RAP ofrece la información necesaria para proponer alternativas para mejorar la infraestructura y procedimientos usados en el transporte, distribución, conducción y aplicación del agua en sistemas de riego.

El RAP permitió identificar las áreas críticas en el manejo del agua de una zona de riego del Punjab, Pakistán, detectando los problemas que limitan el servicio de riego y apoyando las acciones para su mejora. Para corregir las deficiencias del sistema se propone lo siguiente: ofrecer un servicio orientado al cliente, establecer la participación de los usuarios en la definición del nivel de servicio de riego que requieren, un claro establecimiento de las dotaciones parcelarias ofertadas y el seguimiento de los volúmenes entregados a cada usuario, así como la implantación de un programa de modernización acorde con el servicio de riego demandado.

La metodología empleada puede ser aplicada en otros países, como México, para realizar evaluaciones de grandes sistemas de riego bajo un esquema de optimización en recursos humanos y tiempo, que son las limitantes de las metodologías tradicionales.

Recibido: 27/06/2005  
Aprobado: 24/10/2005

## Referencias

- ANCID. 1998/99 *Australian Irrigation Water Provider-Benchmarking Report*. Victoria, Australia; 68, 2000.
- AZHARI, M.G. Benchmarking of irrigation projects in Malaysia: initial implementation stages and preliminary results. *Irrigation and drainage*. Vol. LIII, núm. 2, pp. 195-212, 2004.
- ALEXANDER, J.P. y POTTER, M.O. Benchmarking of Australian irrigation water provider businesses. *Irrigation and drainage*. Vol. LIII, núm. 2, pp. 165-173, 2004.
- BANDARAGODA, D.J. *Design and practice of water allocation rules: Lessons from warabandi in Pakistan's Punjab. Research Report 17*. International Irrigation Management Institute. Colombo, Sri Lanka, 1998.
- BURT, C.M. y STYLES, S.W. *Modern Water Control and Management Practices in Irrigation. Impact on Performance*. Water Reports #19. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1999, 224 pp.
- BURT, C.M. y STYLES, S.W. Conceptualizing Irrigation Projects Modernization Through Benchmarking and the Rapid Appraisal Process. *Irrigation and Drainage*. Vol. LIII, núm. 2, pp. 145-154, 2004.
- BUYALSKI, C.P., EHLER, D.G., FLAVEY, H.T., ROGERS, D.C. y SERFOZO, E.A. *Canal Systems Automation Manual*. Vol. 1. Denver: US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1991.
- CLARKE, D. *Cropwat for windows v4.2*. Southampton University. Southampton, U.K. 1998.
- IPD-PUNJAB. *Working paper Lower Bari Doab Canal, Multan irrigation zone*. Multan, Pakistán: Irrigation and Power Department, Government of the Punjab, 2004.
- MALANO, H. y BURTON, M. *Guidelines for Benchmarking Performance in the Irrigation and Drainage Sector*. IPTRID-FAO: Roma; 44. 2001.
- MALANO, H. y BURTON M. Guest editor's editorial. *Irrigation and Drainage*. Vol. LIII, núm. 2, 2004a, pp. 117-118.
- MALANO, H., BURTON, M. y MAKIN, I. Benchmarking performance in the irrigation and drainage sector: a tool for change. *Irrigation and Drainage*. Vol. LIII, núm. 2, 2004b, pp. 119-133.
- QURESHI, M.S. (Team Leader). *Efficiency of past drainage investments*. Reporte Final Volumen 1. Associated Consulting Engineers ACE (Pvt) Ltd y Halcrow Group Ltd., 2004.
- SMITH, M. *CLIMWAT for CROPWAT, a climatic database for irrigation planning and management*. Roma: FAO. Irrigation and Drainage Paper 49, 1993, 113 pp.

### Abstract

RUIZ-CARMONA, V.M., OJEDA-BUSTAMANTE, W. & CONTIJOCH, M. *Rapid appraisal process of a typical Pakistan's irrigated system*. Hydraulic engineering in Mexico (in Spanish). Vol. XXI, no. 3, July-September, 2006, pp. 43-56.

*This paper presents the results obtained on the implementation of a rapid appraisal process on an irrigation system in the province of Punjab in Pakistan. The purpose of the evaluation was to know the present irrigation service quality and propose some alternative to improve it. The evaluation results were: the canal inflow is smaller than peak crop water requirement; net aquifer loss; crops are always under stress which is reflected on low crop yields, the secondary canal network has not control structures and was not designed for rotation, insufficient human-human communication between canal operators; the operator have no complementary training course to enhance their capacity; discrepancy between the service the canal is supposed to provided and the real service it offers. The suggested actions to improve the irrigation service were: the irrigation service must be client oriented; the irrigation users should participate to determine the irrigation service characteristics; the difference between actual and state irrigation service must be eliminated; clear definition on water allocation; implement a modernization program to provide the irrigation service required. The evaluation methodology used can be applied in other countries like Mexico for the analysis of large irrigation systems making an optimal use of time and resources.*

**Keywords:** irrigation district, irrigation, operation, productivity, benchmarking, modernization, rapid appraisal process.

### Dirección institucional de los autores:

*Víctor Manuel Ruiz-Carmona  
Waldo Ojeda-Bustamante*

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua,  
Paseo Cuauhnáhuac 8532,  
Jiutepec, Morelos, 62550, México,  
vmruiz@tlaloc.imta.mx,  
wojeda@tlaloc.imta.mx

*Manuel Contijoch*

The World Bank,  
1809 G Street N. W.,  
Washington. D.C. 20433, EUA,  
mcontijoch@worldbank.org