

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA GLOBAL DEL RIEGO EN SISTEMAS TIPO VÁLVULAS ALFALFERAS: CASO REGIÓN LAGUNERA

METHODOLOGY TO EVALUATE GLOBAL IRRIGATION EFFICIENCY IN SYSTEMS WITH ALFALFERA VALVES: LAGUNERA REGION CASE

Gerardo Delgado Ramírez^{*}; Juan Estrada Ávalos; Ramón Trucíos Caciaño; Miguel Rivera González; Ernesto A. Catalán Valencia

Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera (CENID RASPA-INIFAP).
km 6.5 Canal Sacramento, Las Huertas. Gómez Palacio, Durango, MÉXICO. C. P. 35140.
Correo-e: delgado.gerardo@inifap.gob.mx (*Autor para correspondencia)

RESUMEN

El presente trabajo consistió en generar una metodología de evaluación de la eficiencia global del riego en el sistema tipo válvula alfalfera. El propósito fue identificar áreas de mejora desde la extracción hasta la aplicación para incrementar o mantener la eficiencia potencial del sistema, así como la eficiencia electromecánica óptima de los equipos de bombeo. La metodología se fundamentó en el siguiente procedimiento: 1) levantamiento topográfico del área evaluada, 2) muestreo de agua y suelo, 3) determinación de la eficiencia electromecánica, 4) aforo del sistema de riego, 5) evaluación de la operación del estanque, y 6) pruebas de avance del riego por superficie. Con base en la evaluación de 1,792 hectáreas se encontró un valor promedio de eficiencia global de riego de 61.2 %. Con respecto a la eficiencia electromecánica, se determinó un valor promedio del 51 % de un total de 58 equipos de bombeo evaluados. Estas eficiencias pueden incrementarse aplicando dos acciones de mejora que se enfocan principalmente a la supervisión de la nivelación del terreno y los tiempos de riego en función a la etapa fenológica del cultivo. Sin embargo, la capacitación del personal que opera los sistemas de riego es parte fundamental para que estas acciones puedan implementarse adecuadamente.

PALABRAS CLAVE: Eficiencia global, evaluación, metodología, sistema de riego, válvula alfalfera.

ABSTRACT

This work was to create an assessment methodology of the global irrigation efficiency in systems with alfalfera valves. The purpose was to identify areas for improvement, from the time of extraction to the time of application to increase or maintain the potential efficiency of the system, and the optimal electromechanical efficiency of the pumping equipment. The methodology was based on the following procedure: 1) topographic survey of the area assessed, 2) water and soil sampling, 3) assessing the electromechanical efficiency, 4) gauging the irrigation system, 5) assessing the operation of the pond, and 6) evidence of irrigation progress per surface. An average value of global irrigation efficiency of 61.2 % was observed based on the evaluation of 1,792 hectares. An average value of 51 % was determined from a total of 58 pumps assessed regarding electromechanical efficiency. These efficiencies can be increased by applying two improvement actions focusing mainly on monitoring land leveling and watering times according to the phenological stage of the crop. However, the training for the persons operating the irrigation systems is fundamental for these actions to be implemented properly.

KEYWORDS: Global efficiency, assessment, methodology, irrigation system, alfalfera valve.



Recibido: 19 de junio, 2012
Aceptado: 9 de abril, 2013
doi: 10.5154/r.rchsza.2012.06.009
[http:// www.chapingo.mx/revistas](http://www.chapingo.mx/revistas)

INTRODUCCIÓN

La eficiencia global de riego con aguas subterráneas se compone prácticamente de los siguientes componentes: extracción, conducción, aplicación, requerimiento y uniformidad de distribución (Magaña y Ángeles, 2000). Actualmente, no se dispone de una metodología de evaluación que determine en forma conjunta dichas eficiencias, que además integre la eficiencia electromecánica de los equipos de bombeo de pozo profundo.

De obtenerla, permitiría identificar áreas de oportunidad para incrementar o mantener la eficiencia potencial del sistema (desde la extracción hasta la aplicación del agua de riego), reducir el volumen de agua aplicado a los cultivos y el consumo de energía utilizado en los equipos de bombeo de pozo profundo.

A principios del año 2000, los productores de la Región Lagunera empezaron a adoptar el Sistema de Riego Tipo Válvulas Alfalferas dadas las ventajas que presenta en comparación con su antecesor, el Sistema de Riego de Multicompuertas. La facilidad de manejo y bajo costo en comparación con otros sistemas (aspersión tipo pivote central y goteo), así como los altos niveles de eficiencia (al menos del 80 %), son algunas de las ventajas que han favorecido la adopción de este sistema por parte de los productores. Actualmente, se estima que alrededor de 20,000 hectáreas ya cuentan con este sistema, la tendencia indica que esta superficie continuará progresivamente.

En lo referente a la extracción del agua subterránea, los costos de energía eléctrica son muy elevados debido a bajas eficiencias electromecánicas de los equipos de bombeo (Peña, 1989). El promedio de dichas eficiencias oscila del 36 al 40 %, cuando deberían ser superiores al 60 %, lo cual influye en altos consumos de energía mayores de 45,000 kw-hr por pozo por mes (CNA, 2002).

El presente trabajo tuvo como finalidad generar una metodología de evaluación de la eficiencia global del riego en sistemas tipo válvula alfalfera, que integre la evaluación de las eficiencias electromecánicas y permita identificar las posibles acciones de mejora en la operación de estos sistemas. Mediante la implementación de esta metodología se busca incrementar o mantener un nivel de eficiencia que garantice reducciones a los volúmenes de agua aplicado a los cultivos y al consumo de la energía eléctrica de los equipos de bombeo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación de la eficiencia global de riego en sistemas tipo válvula alfalfera se realizó en 1,792 hectáreas, correspondientes a 22 predios ubicados en los municipios de la Región Lagunera de Coahuila y Durango. Además se determinó la eficiencia electromecánica de 58 equipos de bombeo de pozo profundo. La metodología general utilizada consistió básicamente en las siguientes actividades:

- 1) levantamiento topográfico detallado del área evaluada,
- 2) muestreo de agua y suelo,
- 3) determinación de la eficiencia electromecánica de los equipos de bombeo,
- 4) aforo del sistema de riego,
- 5) evaluación de la operación del estanque, y
- 6) pruebas de avance de riego por superficie.

- 1) Levantamiento topográfico detallado del área evaluada. Para esta actividad se utilizó un aparato GPS Diferencial marca "Trimble", modelo "R3", el cual tiene un margen de error en cada punto levantado en campo de ± 1.5 cm, además toda la información que genera está georeferenciada, por lo que, este mismo levantamiento se aprovechó para crear un Sistema de Información Geográfica a Nivel Predio (SIG), para lo cual se utilizaron los siguientes programas computacionales: el "Trimble Business Center" y el "Auto Cad 2010", el primer programa es ideal para procesar y analizar datos de levantamientos GNSS (Sistema Satelital de Navegación Global) y Terrestres (estación total y nivel) registrados en el campo, para luego exportarlos a un paquete de diseño.

El segundo programa diseña, dibuja en dos y tres dimensiones, ya que básicamente está orientado a la producción de planos, empleando para ello los recursos tradicionales de grafismo en el dibujo, como: color, grosor de líneas y texturas. También en esta actividad, se determinó la pendiente longitudinal de las melgas o tendidas con un nivel fijo automático, lo que permitió extrapolar la información de las eficiencias de riego a la totalidad del predio y para cada una de las tablas.

- 2) Muestreo de agua y suelo. Se realizaron muestreos de agua a los pozos profundos con la finalidad de establecer su calidad, así como clasificarla por sus niveles de salinidad y sodicidad. Para ello se utilizaron los criterios desarrollados por el laboratorio de salinidad de los EEUU de América (Richards, 1954), así como los trabajos de Gupta (1994). Para el caso del suelo, se realizó un muestreo compuesto a diferentes estratos de acuerdo al tipo de textura existente en el predio, sobre todo al cultivo establecido. Se analizaron sus propiedades físicas para determinar su capacidad de retención de agua, asimismo, la programación de los riegos con base al clima local y al tipo de cultivo. Para esto se utilizó el software DRIEGO para estimar demandas de agua y programar el riego de cultivos en las versiones Coahuila y Durango, el cual fue generado por el personal del CENID-RASPA INIFAP (Catalán, 2005).

- 3) Eficiencia electromecánica de los equipos de bombeo. Se evaluaron los equipos de bombeo con base en la metodología descrita en la Norma Oficial Mexicana NOM-006 (1995), la cual se encuentra vigente a la fecha, y trata sobre la eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación, que aplica para bombas verticales tipo turbina con motor eléctrico: externo o sumergible, y para intervalo de potencias de 7.5 a 350 hp.

La ecuación es la siguiente:

$$E.E. = \frac{(q_v) * (\rho) * (g) * (H)}{(\sqrt{3}) * (V) * (I) * (fp)}$$

Donde:

E.E. es la eficiencia electromecánica (%); *q_v* es el gasto bombeado (m³·seg⁻¹); *p* es la densidad del agua (kg·m⁻³); *g* es la aceleración de la gravedad (m·seg⁻²); *H* es la carga total dinámica de bombeo (m); *V* la tensión eléctrica (volt); *I* la corriente eléctrica (amperes); *fp* el factor de potencia (adimensional).

4) Aforo del sistema de riego. Esta actividad consistió en aforar cada una de las líneas de riego (tubería con válvulas alfalleras) para determinar los gastos de operación, así como la eficiencia de conducción de cada línea y en toda la red, con el objeto de verificar el diseño hidráulico. La eficiencia de conducción debe oscilar entre 90 y 95 %; valores menores indican que la distribución, sobre todo el diámetro de la tubería, no son los adecuados para la operación del gasto (Ángeles, 1993). Se utilizó la siguiente ecuación para determinar la eficiencia de conducción.

$$Ef_{cond} = [1 - ((Q_i - Q_f) / Q_i)] * 100$$

Donde:

Ef_{cond} es la eficiencia de conducción (%); *Q_i* el gasto de la primera válvula alfallera de la línea regante (L·seg⁻¹); *Q_f* el gasto de la última válvula alfallera de la línea regante (L·seg⁻¹).

5) Evaluación de la operación del estanque. En esta actividad se realizó un levantamiento topográfico al estanque para determinar sus características hidráulicas como: volumen total de almacenamiento, tirante hidráulico, profundidad y área. Para esto se utilizó la estación total marca SOKKIA modelo SET 610k. Esta información es importante, al igual que el gasto o caudal disponible del predio (gasto de los pozos), y sobre todo el gasto de operación del sistema de riego tipo válvula alfallera, para realizar un balance con la finalidad de determinar el turno de riego adecuado para aprovechar al máximo el volumen de agua almacenada por día.

6) Pruebas de avance del riego por superficie. Para realizar esta prueba se seleccionó una melga representativa del predio a evaluar, con características similares de textura del suelo, longitud y ancho de melga. Con esta actividad se determinan las eficiencias de aplicación, requerimiento y uniformidad de distribución del agua de riego, que conjuntamente con las eficiencias de extracción y conducción, conforman la eficiencia global del riego. Con la información recabada en campo se ejecuta el software llamado SIRMOD II, generado en la Universidad Utah State E.E.U.U. (Walker, 1999), el cual simula el avance de riego en la melga o tendida y por lo tanto nos indica la eficiencia con la que está trabajando actualmente, con base en la textura del suelo, gasto disponible, tipo de cultivo, largo y ancho de melga, pendiente longitudinal, rugosidad del terreno. Para la obtención de

estos datos en campo se realizó el siguiente procedimiento: 1) determinación del ancho, largo y pendiente de la melga o tendida, 2) toma de tiempo del avance de riego en la melga seleccionada, 3) aforo del sistema de riego (válvula alfallera), 4) captura de la información al software (SIRMOD) y 5) análisis de la información.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En una primera instancia, se describen los resultados de las eficiencias electromecánicas de un total de 58 equipos de bombeo de pozo profundo. Posteriormente, se presentan los resultados de las eficiencias globales de riego encontradas en los sistemas tipo válvulas alfalleras.

Eficiencia electromecánica

De acuerdo a las evaluaciones realizadas a 58 equipos de bombeo, la eficiencia electromecánica promedio fue del 51 %, con un rango de variación de 14 al 72 %. Con base en esta información, se puede considerar elevada la eficiencia promedio, pero solamente 14 equipos están operando dentro del rango óptimo señalado por la NOM-006 (Figura 1). Sin embargo, se puede incrementar la eficiencia al resto de los equipos con base en lo establecido en la NOM-006, al incrementar éstas eficiencias mediante las recomendaciones generadas por la evaluación, se puede lograr un ahorro promedio del 15.3 % en el costo de la energía eléctrica por equipo de bombeo. Si consideramos que los 44 equipos operan las 24 horas durante todo un mes, esto equivale a dejar de consumir poco más de 302,000 Kw-hr, lo que se traduce en un ahorro de \$144,960.00 pesos mensuales considerando la tarifa 9 CU (CFE, diciembre 2011).

Eficiencia global del riego en sistemas tipo válvulas alfalleras

En el Cuadro 1 se presentan los valores promedio de las cuatro eficiencias evaluadas en los sistemas tipo válvulas alfalleras, así como los valores máximos y mínimos encontrados en 1,792 hectáreas correspondientes a 22 predios agrícolas. Del cuadro anterior, se puede establecer que la eficiencia de



FIGURA 1. Resultados de 58 equipos de bombeo de pozo profundo evaluados con respecto a la eficiencia electromecánica.

CUADRO 1. Valores mínimos, máximos y promedio de las eficiencias globales de riego, correspondientes a 1,792 hectáreas.

Tipo de Eficiencia	Mínima	Máxima	Promedio
Eficiencia de Conducción	83.0	98.0	93.1
Eficiencia de Aplicación	52.3	100.0	90.0
Eficiencia de Requerimiento	61.0	100.0	83.3
Uniformidad de Distribución	60.0	97.4	89.6
Eficiencia Global	41.0	78.0	61.2

por el cultivo en cada etapa fenológica, c) la supervisión de la nivelación del terreno y d) mediante la capacitación continua al personal que opera los sistemas de riego sobre el manejo eficiente del agua de riego parcelario.

CONCLUSIONES

La metodología para la evaluación de la eficiencia global del riego en sistemas tipo válvula alfilerera es una opción para determinar la eficiencia global de riego, además la eficiencia electromecánica de los equipos de bombeo de pozo profundo, lo que permite identificar áreas de mejora para incrementar o mantener dichas eficiencias a su máximo alcance, sobre todo reducir los volúmenes de agua aplicados a los cultivos y los costos de energía eléctrica.

LITERATURA CITADA

conducción oscila entre el 83 y 98 %, con un promedio de 93.1 %. Esto nos indica que el diseño hidráulico de los sistemas de riego instalados es el adecuado para la conducción del agua, con sólo una excepción de los 22 sistemas analizados, el resto presenta valores adecuados y dentro del rango establecido desde el punto de vista hidráulico.

En cuanto a la eficiencia de aplicación, ésta tiene un valor promedio de 90 %, oscilando entre 52.3 y 100 %, dicha eficiencia nos indica la pérdida de agua más allá de la zona radicular cuando su valor es menor al 100 %. De los sistemas evaluados, sólo en siete casos los valores son menores al 100 %, para los 15 restantes, sus valores son prácticamente cercanos o iguales al 100 %.

En el caso de la eficiencia de requerimiento, el promedio alcanza el 83.3 %, oscilando entre el 61 y 100 %. Estos valores indican que se están aplicando menores cantidades de agua que las requeridas por los cultivos para que éstos alcancen su máximo desarrollo. En cuanto a la uniformidad de distribución, ésta tiene un promedio de 89.6 %, oscilando entre el 60 y 97.4 %. Al igual que las dos anteriores, esta eficiencia se puede incrementar básicamente con dos acciones: la primera se refiere a la programación de tiempos de riego en función a las necesidades hídricas del cultivo para cada etapa fenológica; y la segunda acción corresponde a la supervisión de la nivelación del terreno.

Finalmente, la eficiencia global de los sistemas de riego tipo válvulas alfileras, en las 1,792 hectáreas evaluadas, es de 61.2 % oscilando entre 41 y 78 %. Esta eficiencia se refiere al desempeño del sistema, logrando ser incrementada al 80 % siguiendo prácticamente las siguientes recomendaciones generales: a) aplicar todo el gasto parcelario en una sola melga; siempre y cuando el gasto unitario sea menor de 6 lps·m⁻¹ de ancho de melga, b) aplicación de la lámina de riego neta requerida

- ÁNGELES, M. V. 1993. Riego por Tuberías de Baja Presión. In: Primer Diplomado de Ingeniería de Riego. CNA-IMTA-Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- CATALÁN, V. E. A. 2005. Aplicación Computacional en Red para la Estimación de las demandas de Agua y la Calendarización de los Riegos de los Cultivos en los Distritos de Riego del País. AGROFAZ 5.
- CFE. 2011. Tarifa de Estímulo para bombeo de Agua para Riego Agrícola con Cargo único (Diciembre 2011). <http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas.asp?Tarifa=9CU&Anio=2012&mes=9>.
- CNA. 2002. Uso Pleno de la Infraestructura Hidroagrícola. <http://www.cna.gob.mx/portalswitch.asp?param=3071180>.
- GUPTA, R. J. 1994. Groundwater Quality for Irrigation. In: Salinity Management for Sustainable Agriculture. D. N. L. Rao, N. T. Singh, R. K. Tyagi (eds) Karnal India Center Soil Salinity Research Institute.
- MAGAÑA, S. G.; ÁNGELES, M. V. 2000. Diseño de Redes Pequeñas con Tubería de Baja Presión. Manual para Diseño de Zonas de Riego Pequeñas del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Jiutepec, Morelos, México.
- NORMA OFICIAL MEXICANA. NOM-006-ENER-1995. Eficiencia Energética Electromecánica en Sistemas de Bombeo para Pozo Profundo en Operación. http://www.sener.gob.mx/res/Acerca_de/nom-006-ener-95.pdf.
- PEÑA, S. E. 1989. Eficiencias Electromecánicas de los Equipos de Bombeo y de las condiciones Hidráulicas en los Pozos. Ingeniería Hidráulica en México.
- RICHARDS, L. A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Agricultural Handbook. Salinity Laboratory in the United States. Riverside, California.
- WALKER, R. W. 1999. Surface Irrigation Simulation, Evaluation and Design User's Guide and Technical Documentation (SIRMOD II). Department of Biological and Irrigation Engineering Utah State University. Logan Utah, E.E.U.U.