



III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2017

Puebla, Pue., del 28 al 30 de noviembre de 2017

EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN DEL AGUA EN EL CANAL PRINCIPAL DEL DISTRITO DE RIEGO 030 VALSEQUILLO

Juan Manuel Barrios Díaz¹, Pablo Zaldívar Martínez¹, Isaac Villegas Rodríguez¹ y
Araceli Alcántara Chávez²

¹Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Facultad de Ingeniería Agrohidráulica.

Domicilio conocido, San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, C.P. 73800, México.

E-mail: chelis_111188@hotmail.com y pablozalmar@hotmail.com Teléfono: 231
1190445

² Estudiante. Facultad de Ingeniería Agrohidráulica Domicilio conocido, San Juan
Acateno. Teziutlán, Puebla. C.P. 73800. México.

Resumen

En general la eficiencia en el uso del agua se define como la relación entre el volumen de agua utilizado con un fin determinado y el volumen extraído o derivado de una fuente de abastecimiento con ese mismo fin. La eficiencia de conducción, es la relación entre el volumen de agua que se entrega a las parcelas para riego (V_p) y el volumen derivado de la fuente de abastecimiento (V_d). Se estima que en promedio en los Distritos de Riego del país se pierde un 40% del agua en la conducción. Por esto, se efectuó un estudio del canal principal del Distrito de Riego 030 Valsequillo, el objetivo de este trabajo fue calcular la eficiencia de conducción del agua a causa de su revestimiento en el tramo del km 34+834 al km 45+935 y analizar su variación en los últimos 5 años. Para calcular la eficiencia de conducción del canal, se realizó la medición del caudal con aforadores de tiempo de travesía ubicados en dos puntos de control, el primero en el km 24+769 y el otro en el km 53+100. La eficiencia de conducción obtenida para el primer riego del ciclo agrícola Primavera-Verano 2011 fue de 95%, logrando un aumento del 10% entre el periodo de 2006 al 2011.

Palabras clave adicionales: Eficiencia de conducción, Distritos de riego, volumen, revestimiento



Introducción

El principal uso del recurso hídrico a nivel mundial, conforme a estimaciones de la FAO, es el agrícola, con el 72% de la extracción total (CONAGUA, 2009). En México, el área con infraestructura que permite el riego es de 6.5 millones de hectáreas, de las cuales 3.5 millones corresponden a 110 Distritos de Riego y las restantes 3.0 millones de hectáreas a 39,432 unidades de riego. En muchos casos sólo se construyeron las redes de canales y drenes principales, quedando las obras parcelarias a cargo de los usuarios. Esto, sumado al deterioro de la infraestructura, acumulado de varias décadas por la insuficiencia de recursos económicos destinados a su conservación y mejoramiento, propiciaron una baja en eficiencia global en el manejo del agua, según la Comisión Nacional del Agua, podría alcanzar 60% con el empleo de tecnologías e infraestructura avanzadas. Dada la magnitud de los volúmenes extraídos para riego, con incrementos modestos en la eficiencia de los sistemas de conducción, distribución y aplicación del agua, en dichos sistemas de riego, permitirían liberar volúmenes apreciables para otros usos en diversas regiones (CONAGUA, 2009).

Para llevar el agua desde la fuente de abastecimiento a la parcela del usuario, es necesario conducirla por un sistema de canales y obras de control, que permiten su distribución entre los diferentes módulos de riego, hasta llegar a cada una de las parcelas que requieren del riego y concluye en la zona radicular de los cultivos. Este recorrido, durante el cual se producen diversas pérdidas que merman el aprovechamiento del agua, se considera dividido en tres tramos: red de conducción, red de distribución e interparcelario y las parcelas. En cada uno de los tramos citados, las pérdidas se tratan y cuantifican en cierta forma independiente, lo que da lugar a tres eficiencias: eficiencia de conducción (E_c), eficiencia de distribución (E_d) y eficiencia de aplicación (E_a). Se estima que, en promedio, en los Distritos de Riego de México, donde existen estadísticas hidrométricas, se pierde 40% del agua en la conducción y distribución. No obstante, debe recordarse que no toda el agua se desperdicia, ya que parte va a los acuíferos y puede reutilizarse posteriormente; sin embargo, en los distritos de riego costeros, la mayor parte del agua perdida se va hacia el mar, sin que sea posible su utilización. Las pérdidas de conducción y distribución pueden subdividirse de acuerdo con su origen en: a) por infiltración; b) por evaporación; c) por fugas en las estructuras en mal estado; y d) por manejo del agua en la red de distribución (Palacios, 2004).

En los Distritos de Riego de México, de un total de 48,367 km de canales de conducción y distribución de agua para el riego de cultivos, existen 26,959 km de canales de tierra, sin considerar los canales sin revestir en la unidades de riego, donde las pérdidas de agua por infiltración constituyen más de 20% de las pérdidas totales del agua utilizada en la agricultura (Palacios, 2004).

La finalidad de este trabajo fue la evaluación del incremento de la eficiencia de conducción del canal principal del Distrito de Riego 030 Valsequillo, a causa de su revestimiento con sección trapecial a base de concreto simple y analizar la variación de las pérdidas de agua en los últimos 5 años.

Materiales y métodos

Localización y descripción del área en estudio

Los terrenos que dominan el Distrito de Riego 030 Valsequillo, se encuentran localizados en la parte central del Estado de Puebla, sobre los Valles de Tecamachalco, Tlacotepec y Tehuacán, aproximadamente entre los paralelos $18^{\circ}43'55''$ y $18^{\circ}36'20''$ de latitud norte a los meridianos $97^{\circ}52'$ y $97^{\circ}34'$ de longitud al oeste de Greenwich Su altitud oscila entre los 1680 y 2061 msnm y adopta una forma alargada del noroeste al sureste (CONAGUA, 2002). (Figura 1).



Figura 1. Ubicación del Distrito de Riego 030 Valsequillo

Por su situación con respecto a las cordilleras que la rodean, la topografía presenta varios planos fuertes con drenaje en diferentes direcciones y con una pendiente media aproximada de 0.5%. El distrito está dividido a partir del año de 1993 en 6 módulos de riego, que abarcan toda la superficie regable de los municipios bajo su influencia. Figura 2

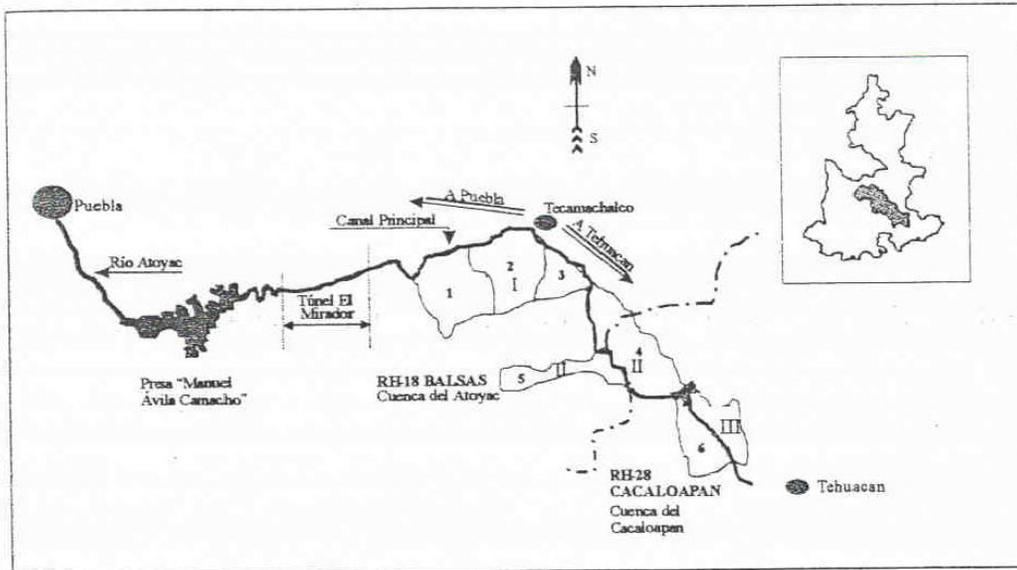


Figura 2. Distrito de Riego 030 Valsequillo

Actividades de campo

La investigación se realizó en un tramo del canal principal abarcando dos módulos de riego, el módulo 1 “Luciano M. Sánchez” y el módulo 2 “Lázaro Cárdenas” del km 24+769 al km 53+100 de la presa Manuel Ávila Camacho del Distrito de Riego 030 Valsequillo. El agua que conduce dicho canal es utilizada para riego en cultivos como: alfalfa, maíz y frijol. El aforo del canal principal se llevó a cabo del 03 al 27 de abril del año en curso, debido a que es la fecha en que se aplica el primer riego primavera-verano con el agua de la presa Manuel Ávila Camacho. Los puntos de control en los que se efectuaron dichos aforos fueron 2: el primero está ubicado antes del revestimiento, en el km 24+769 y el segundo después del tramo del revestimiento, en el km 53+100. Los aforos se efectuaron con el apoyo de un aforador de tiempo de travesía en los dos puntos de control, ya que allí se encuentran instalados dichos aparatos. De igual manera se realizaron mediciones de aforos con la ayuda de un perfilador doppler para cerciorarse de que los datos que arrojaron los aparatos hayan sido los correctos.

Aforador de tiempo de travesía. Cuenta con medidor de nivel con 4 pares de sensores, el cual mide la velocidad del agua que pasa en el canal principal, además mide el tirante, el gasto, tiempo y almacena los datos en su memoria interna, cada 4-6 horas los manda a un módulo de comunicación satelital, de allí por medio de la página web del Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua (IMTA) y en red con la página de la CONAGUA, en el apartado de sistema de monitoreo de presas, se pueden checar estos datos que arroja el aparato. Las mediciones las efectúa cada minuto durante las veinticuatro horas del día. Figura 3.



Figura 3. Aforador de tiempo de travesía

Perfilador Doppler. Calcula el gasto en función de dos variables principales: el área hidráulica y la velocidad media. El medidor de efecto doppler calcula el área hidráulica en función del tipo de sección y de la profundidad de agua. Para medir la profundidad se utiliza un transductor. Un transductor es un dispositivo que proporciona una salida eléctrica en respuesta a una magnitud física que se desea medir. Para este caso se desea medir la profundidad del agua y lo que realmente se mide es la presión. Este dispositivo utiliza el llamado efecto doppler para medir la velocidad en la corriente. El efecto doppler es la alteración de la frecuencia de las ondas, en función del movimiento, ya sea del receptor o del emisor de las ondas (CONAGUA, 2010). Figura 4



Figura 4. Aforo con perfilador Doppler



Los pasos que se siguen para aforar con un perfilador doppler son los siguientes:

- a) Se elige una sección que sea uniforme, es decir, lo más recta posible.
- b) Se coloca el cable del perfilador a lo largo de la base del canal y después se echa a andar el barquito y conforme avanza, este aparato va almacenando en su memoria los datos de gasto, tirante, velocidad del agua que pasa por ese tramo del canal.

Procesamiento de la información

Se recopiló información disponible dentro del Distrito de Riego 030 Valsequillo, respecto a condiciones actuales y pasadas de operación del canal principal para conocer el porcentaje de eficiencia de conducción que ha tenido en los últimos 5 años, así como también analizar su variación.

Para el cálculo de la eficiencia de conducción del canal principal se utilizó la fórmula citada por Rendón y Fuentes (1997):

$$E_c = \frac{Q_s}{Q_e}$$

Dónde: E_c = Eficiencia de conducción, adimensional

Q_s = Gasto de Salida en un tramo considerado, m^3

Q_e = Gasto de Entrada en un tramo considerado, m^3

De igual manera se calcularon las pérdidas de conducción del agua por unidad de longitud (P_c) con la siguiente ecuación:

$$P_c = \frac{Q_e - Q_s}{D}$$

Dónde: P_c = Pérdidas de conducción por unidad de longitud

Q_e = Gasto de entrada en un tramo considerado, m^3

Q_s = Gasto de salida en un tramo considerado, m^3

D = Longitud, m

Después de haber obtenido los datos de aforo, se realizó el análisis de ahorro de agua, así se conoció el volumen de agua que se recuperó a causa del revestimiento del canal principal, por lo tanto se pudo cuantificar la superficie que se podría aumentar para regar.

Rentabilidad económica y productividad del agua

El análisis de la rentabilidad económica fue basado en el cálculo de la utilidad neta, la relación beneficio-costos y la utilidad neta por unidad de lámina de riego, estimadas mediante:

Utilidad neta = Ingreso bruto – Costo total



$$\text{Relación Beneficio – Costo} = \frac{\text{Ingreso bruto}}{\text{Costo total}}$$

$$\text{Utilidad neta por mm} = \frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Lámina de riego}}$$

El análisis de la productividad del agua fue basado en el cálculo del volumen neto por hectárea de riego, volumen bruto por hectárea de riego y el rendimiento por hectárea entre el volumen neto, estimados mediante:

$$\text{Volumen neto/ha riego} = L_n * \text{Superficie}$$

$$\text{Volumen bruto/ha riego} = L_b * \text{Superficie}$$

$$\text{Productividad del agua} = \frac{\text{Rendimiento/ha}}{\text{Volumen neto}}$$

Los costos de producción de los años 2007 al 2010 fueron tomados de los planes de riego y cultivos de los módulos 1 y 2, dicha información se brindó en el área de hidrometría del Distrito de Riego 030 Valsequillo, para el año 2011 fueron obtenidos a través de la información que proporcionaron los usuarios de los dos módulos de riego en estudio beneficiados con el agua de la presa “Manuel Ávila Camacho”.

Análisis y discusión de resultados

Análisis del plan de cultivos

En el Distrito de Riego 030 Valsequillo los principales cultivos que se riegan con agua de la presa “Manuel Ávila Camacho” se establecen en el ciclo agrícola primavera-verano, los cuales son: frijol, maíz y sorgo y como cultivo perenne se establece alfalfa. A continuación en los Cuadros 1 y 2 se muestran las superficies que en promedio de los años 2007 a 2010 se sembraron en los módulos 1 y 2, así como las láminas y volúmenes netos y brutos que en promedio fueron aplicados.

Cuadro 1. Plan de cultivos de los ciclos agrícolas primavera-verano de 2007 al 2010 del módulo 1 “Luciano M. Sánchez”.

Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Promedio superficie sembrada (ha)	L_n (cm)	L_b (cm)	V_n (millar m^3)	V_b (millar m^3)
Frijol	301	75	48.0	74.5	361	561
Maíz	6,752	1,688	70.4	112.1	11,875	18,928
Sorgo	15	15	54.6	84.8	82	127
Alfalfa	4,578	1,145	76.5	122.0	8,752	13,967
Total					21,070	33,583



Cuadro 2. Plan de cultivos de los ciclos agrícolas primavera-verano de 2007 al 2010 del módulo 2 “Lázaro Cárdenas”

Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Promedio superficie sembrada (ha)	Ln (cm)	Lb (cm)	Vn (millar m ³)	Vb (millar m ³)
Frijol	142	36	52.2	78.2	185	278
Maíz	9,049	2,262	70.1	106.8	15,853	24,151
Sorgo	63	63	67.9	105.5	428	665
Alfalfa	6,202	1,551	74.1	112.6	11,482	17,451
Total					27,947	42,545

En los cuadros anteriores se observa que son dos los principales cultivos establecidos por superficie sembrada que son maíz y alfalfa, siendo los cultivos a los cuales se les deriva mayor volumen de agua, con láminas netas promedio por los tres riegos aplicados de 70 cm para el cultivo de maíz y de 75 cm para el cultivo de alfalfa (Cuadro 3).

Cuadro 3. Promedio de los planes de riegos y cultivos de los ciclos agrícolas primavera-verano 2007-2010 de los módulos 1 y 2.

Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Promedio superficie sembrada (ha)	Ln (cm)	Lb (cm)	Vn (millar m ³)	Vb (millar m ³)
Frijol	443	111	50.1	76.4	555	846
Maíz	15,801	3,950	70.2	109.4	27,736	43,234
Sorgo	78	78	61.2	95.2	478	742
Alfalfa	10,780	2,695	75.3	117.3	20,283	31,611
Total					49,051	76,432

Cuadro 4. Promedio de los planes de riegos y cultivos del ciclo agrícola primavera-verano 2011 de los módulos 1 y 2.

Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Promedio superficie sembrada (ha)	Ln (cm)	Lb (cm)	Vn (millar m ³)	Vb (millar m ³)
Frijol	86	43	52.8	81.3	227	350
Maíz	4420	2210	71.2	112.7	15721	24907
Alfalfa	2830	1415	74.2	117.6	10492	16650
Total					15948	25257



Eficiencia de conducción en el tramo del canal principal del km 24+769 al km 53+100

Cuadro 5. Eficiencia de conducción del canal principal del Distrito de Riego 030 Valsequillo (tramo: km 24+769 al km 53+100) en los ciclos agrícolas primavera – verano de 2006 a 2011.

Ciclo agrícola	Número de riego	Volumen de entrada 24+769 (millar m ³)	Volumen de salida 53+100 (millar m ³)	Pérdida (millar m ³)	Eficiencia de conducción (%)	Pérdidas de conducción (millar m ³ /km)
Ciclo agrícola P-V 2006	Primer riego (abril)	90,184	77,396	12,788	86	451
	Segundo riego (junio-julio)	89,414	76,511	12,903	86	455
	Tercer riego (agosto)	51,654	44,514	7,140	86	252
Ciclo agrícola P-V 2007	Primer riego (abril)	87,038	76,925	10,113	88	357
	Segundo riego (junio-julio)	94,213	81,687	12,526	87	442
	Tercer riego (agosto)	61,937	53,626	8,311	87	293
Ciclo agrícola P-V 2008	Primer riego (abril)	85,572	74,275	11,297	87	399
	Segundo riego (junio-julio)	84,154	71,957	12,197	86	431
	Tercer riego (agosto)	75,250	65,931	9,319	88	329
Ciclo agrícola P-V 2009	Primer riego (abril)	86,171	77,481	8,691	90	307
	Segundo riego (junio-julio)	109,064	98,300	10,764	90	380
	Tercer riego (agosto)	51,474	46,115	5,359	90	189
Ciclo agrícola P-V 2010	Primer riego (abril)	90,527	81,259	9,268	90	327
	Segundo riego (junio-julio)	79,733	71,840	7,893	90	279
	Tercer riego (agosto)	59,394	53,162	6,232	90	220
Ciclo agrícola P-V 2011	Primer riego (abril)	84,249	79,770	4,479	95	158

El cálculo de la eficiencia de conducción para cada uno de los tres riegos aplicados en el ciclo agrícola primavera – verano de los años 2006 a 2011 se muestra en el Cuadro 5. En este mismo cuadro se presenta la pérdida de agua por unidad de longitud de canal. Exebio *et al.*, (2005), mencionan que las pérdidas de conducción del agua se producen principalmente por infiltración en canales no revestidos, tal es el caso de este estudio



donde se observa que en el año 2009 tienden a disminuir las pérdidas de agua, aunque está en función del volumen de agua derivado de la presa de almacenamiento para cada riego. Sin embargo, analizando únicamente los volúmenes de entrada y salida para el primer riego, durante los años 2008 y 2009 se entregó un volumen semejante al reportado en 2011 (aproximadamente 84,000 millares m^3), no obstante la eficiencia de conducción en promedio de los años 2008 y 2009 fue de 90 % y en 2011 se obtuvo una eficiencia de conducción de 95%. Lo anterior también se refleja al calcular las pérdidas de conducción por km de canal en esos mismos años, en promedio se tienen 353 millares m^3 de pérdidas de conducción por km de canal, mientras que en el 2011 se obtuvieron pérdidas de conducción por unidad de longitud de apenas 158 millares m^3 , la diferencia entre el promedio de los años 2008 y 2009 y el año 2011 es de 195 millares m^3 , esto indica que hubo 45% menos de pérdidas.

En la Figura 5 se muestra como van disminuyendo las pérdidas considerablemente en la conducción del agua a partir del año 2009, fecha en que se inició con el trabajo de revestimiento del tramo del canal principal en estudio, sin embargo en el año 2010 se observa un ligero aumento, como ya se mencionó anteriormente que dichas pérdidas varían en proporción al volumen extraído de la presa para cada riego. En el año 2011 hay una notoria disminución en las pérdidas de conducción a causa del revestimiento en su totalidad del tramo del km 24+769 al km 53+100.

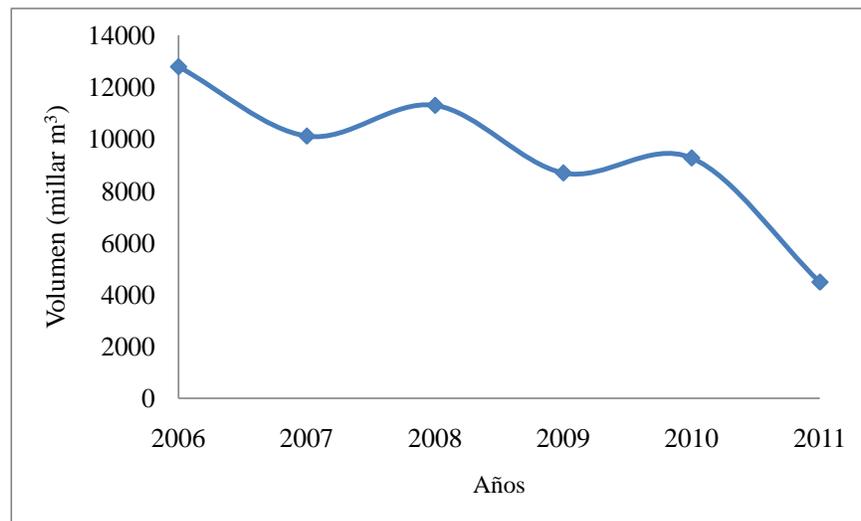


Figura 5. Pérdidas de agua en el primer riego de cada ciclo agrícola primavera-verano 2006-2011

En la Figura 6 se muestra el incremento en la eficiencia de conducción, de los años 2006 al 2008 no se observa un aumento ya que se mantiene en un promedio de 87 %, sin embargo en el año 2009 tiene un ligero incremento de 3%, llegando así al 90% y en el año en curso se llegó al 95%.

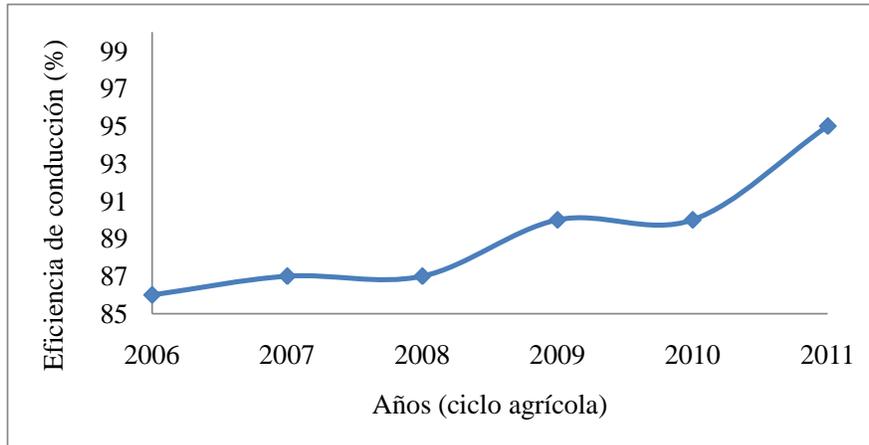


Figura 6. Eficiencia de conducción del agua en el canal principal de los ciclos agrícolas primavera - verano 2006-2011

En las Figuras 7 y 8 se muestran las mediciones hechas por los aforadores de tiempo de travesía establecidos en los dos puntos de control (24+769 y 53+100) y se observa el comportamiento del volumen que se suministra diariamente a través del canal principal.

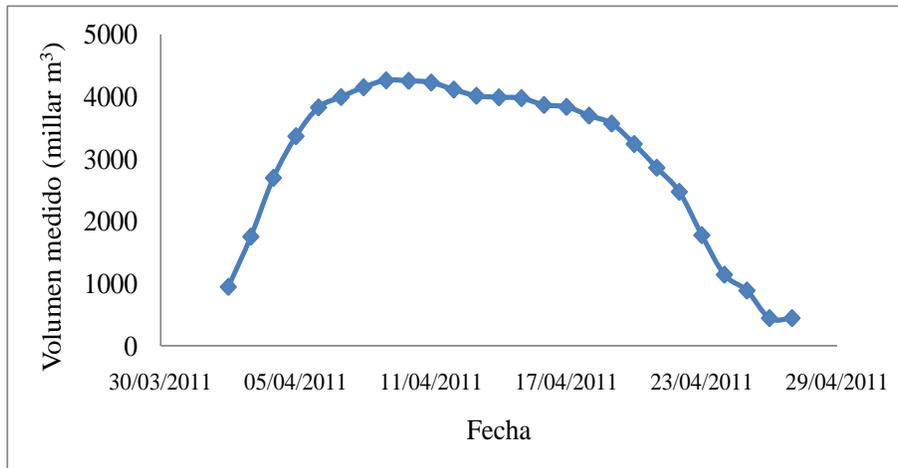


Figura 7. Volumen medido con el aforador de tiempo de travesía en el canal principal del Distrito de Riego 030 Valsequillo en el punto de control ubicado en el km 24+769.

Pedroza, (2006), menciona que los aforadores de tiempo de travesía tienen un buen funcionamiento si se colocan los 4 pares de sensores con los que trabaja a la profundidad adecuada en el canal, ya que si no es así el aparato no puede calcular la velocidad promedio con la que pasa el agua, por lo tanto no daría el área promedio para poder arrojar el gasto correcto que se conduce por un canal. Además hay problemáticas por el paso de basuras, malezas, ramas, piedras, entre otras cosas, evitan que los sensores detecten las dos variables para el cálculo del gasto.

Lo favorable de estos aparatos, tal y como lo indica Pedroza, (2006) es que este tipo de medición está funcionando las 24 horas por lo que cualquier cambio en el gasto o



caudal, es contabilizado, esto se puede observar en la Figura 8, en la cual se muestra un cambio en el volumen medido en los días 7 y 8 del riego del mes de abril, debido a fallas por un apagón del aparato pero inmediatamente se reinició, por lo que dio datos bajos debido a que el promedio del día solo lo hizo con una cantidad de 300 datos, de un total de 1441 datos que da al día.

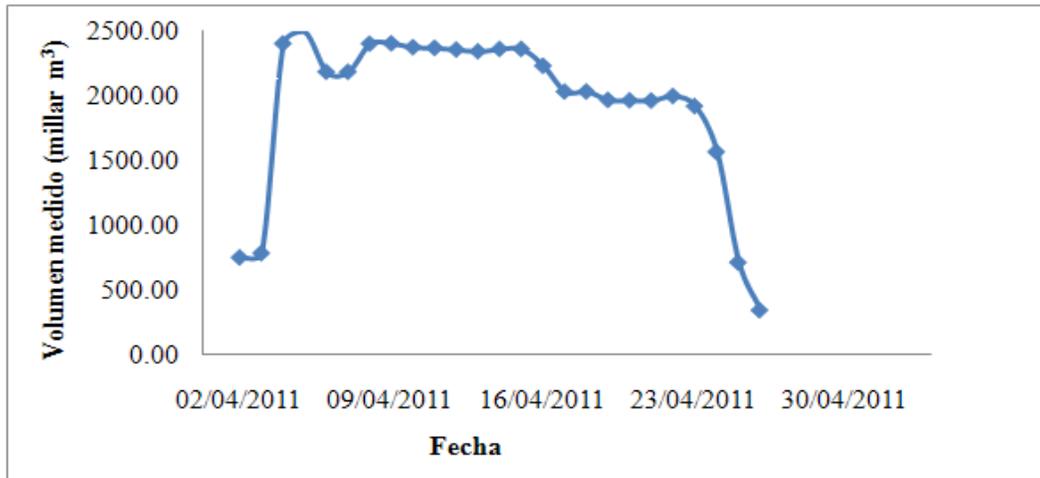


Figura 8. Volumen medido con el aforador de tiempo de travesía en el canal principal del Distrito de Riego 030 Valsequillo en el punto de control ubicado en el km 53+100

Nótese también como va aumentando gradualmente el volumen medido que se conduce por el canal principal, en los primeros días se observa un volumen pequeño debido a que esos son utilizados para el llenado del canal con el volumen que se derivó de la fuente de abastecimiento, luego la medición que aportan los aforadores de tiempo de travesía son constantes aunque varíen ligeramente ya que se encuentran derivando volúmenes del canal a través de sus tomas directas y laterales para que los usuarios de los módulos de riego puedan regar sus parcelas.

Ahorro de agua a causa del revestimiento del canal principal

En el Cuadro 6 se muestra la cantidad de infraestructura de riego que tienen los módulos de riego en estudio, el módulo 2 cuenta con mayor superficie sembrada por lo tanto, tiene más cantidad de canales laterales, sublaterales y subramales, conforme a informes del Distrito de Riego 030 Valsequillo en el 2010, dicho módulo cuenta con el canal lateral más importante ya que la superficie regable que abastece es de aproximadamente 2,000 hectáreas.



Cuadro 6. Cantidad de revestimiento de canales de los módulos 1 y 2.

Nombre del módulo	Canales laterales, sublaterales, ramales y subramales		
	revestido (km)	sin revestir (km)	total (km)
Módulo 1 "Luciano M. Sánchez"	23.84	47.84	71.30
Módulo 2 "Lázaro Cárdenas"	58.57	50.59	109.16

Como se puede observar en la Figura 9, en base a lo aportado por el Distrito de Riego 030 Valsequillo (2010), se muestra que el módulo 2 "Lázaro Cárdenas" tiene un 54% de su infraestructura de riego revestida mientras que el módulo 1 "Luciano M. Sánchez" apenas cuenta con un 33%, lo que también nos lleva a deducir que durante el riego tiene más pérdidas por infiltración que en el módulo 2.

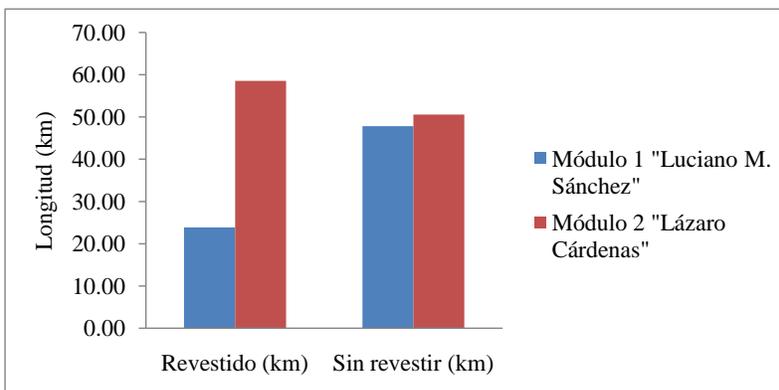


Figura 9. Condición de los canales de los módulos 1 y 2 del Distrito de Riego 030 Valsequillo.

Análisis de rentabilidad económica y productividad del agua

Desde el punto de vista económico, la utilidad neta y la relación beneficio-costos son indicadores que no consideran el impacto sobre algún insumo o recurso natural. En la Figura 10 y el cuadro 7, se observa la variación a través de los años de la utilidad neta por milímetro de agua utilizada, que en su caso si depende del recurso agua, además del precio medio rural del grano, de los costos de producción de cada cultivo y el rendimiento obtenido en la cosecha. Claramente se nota el aumento de la utilidad neta por milímetro de agua del maíz, debido a que el precio por kilogramo ha ido incrementando gradualmente, sucede lo mismo con el frijol, cabe aclarar que los costos de producción y rendimiento por hectárea están altos pero dicha información se obtuvo encuestando a productores de esa zona, ya que los datos que fueron proporcionados por el Distrito de Riego, están muy bajos con relación a lo obtenido en los años anteriores.

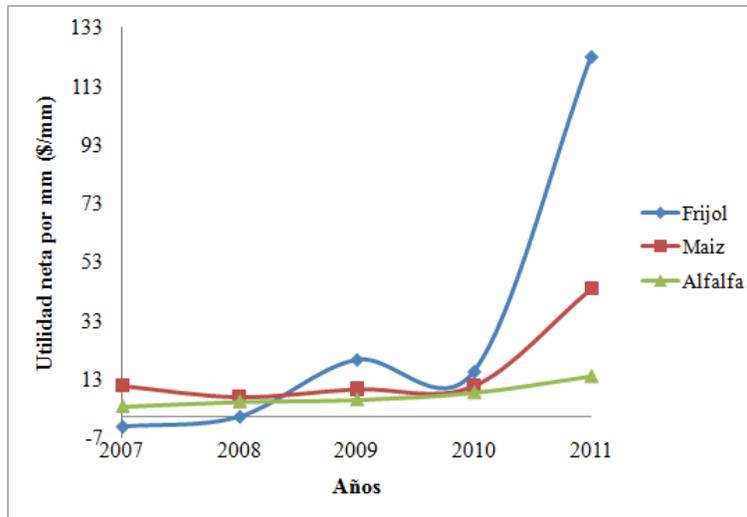


Figura 10. Comportamiento de la utilidad neta por milímetro de los principales cultivos sembrados en los módulos 1 y 2, del Distrito de Riego 030 Valsequillo (periodo 2007-2011).

Cuadro 7. Rentabilidad económica de los cultivos de maíz, frijol, alfalfa y sorgo sembrados en los módulos 1 y 2 (del año 2007 al 2010)

Año	Cultivo	Relación beneficio-coste	Costo total (\$)	Utilidad neta (\$)	Utilidad neta por (\$/mm)
2007	Frijol	0.80	7,900	-1,600	-3.20
	Maíz	1.63	12,000	7,600	10.85
	Alfalfa	1.18	15,200	2,800	3.73
2008	Frijol	1.01	7,900	100	0.20
	Maíz	1.39	12,600	4,900	7.00
	Alfalfa	1.26	15,500	4,000	5.33
2009	Frijol	2.20	8,200	9,800	19.60
	Maíz	1.52	13,000	6,800	9.71
	Alfalfa	1.27	10,000	4,500	6.00
	Sorgo	3.04	16,500	20,400	33.43
2010	Frijol	1.90	8,700	7,800	15.60
	Maíz	1.51	14,700	7,565	10.80
	Alfalfa	1.38	16,800	6,300	8.40
2011	Frijol	6.88	10,470	61,530	123.04
	Maíz	2.78	12,560	30,740	43.90
	Alfalfa	1.57	18,350	10,450	13.93



El criterio de la utilidad neta por unidad de lámina de riego empleada, también ha sido denominado como la productividad marginal del agua, la cual puede ser interpretada como la máxima cantidad de capital que un usuario podría estar dispuesto a pagar por tener disponible una unidad adicional de recurso en el proceso productivo. En el Cuadro 8 se nota que la utilidad neta por milímetro de agua para el cultivo de alfalfa ha ido en aumento año con año, por esto, los productores continúan con la siembra de este cultivo, debido a que es el principal forraje utilizado como alimento para el ganado bovino de la región de Tecamachalco.

Tal y como mencionan Orona *et al* (2003) que a volúmenes mayor el rendimiento por hectárea tiende a incrementarse mientras que la productividad del agua con menor volumen neto que se le aplique al cultivo ésta aumenta (Cuadro 8). Sin embargo el rendimiento está implicado para obtener aumento en la productividad del agua.

Cuadro 8. Productividad del agua de los módulos 1 y 2.

Año	Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Lámina neta (cm)	Lámina bruta (cm)	Rendimiento por hectárea (ton ha ⁻¹)	Volumen neto (m ³ ha ⁻¹)	Volumen bruto (m ³ ha ⁻¹)	Productividad del agua (kg m ⁻³)
2007	Frijol	443	50.1	76.4	1.0	5007	7635	0.2
	Maíz	15801	70.2	109.4	7.0	7021	10945	1.0
2010	Sorgo	78	61.2	95.2	8.0	6123	9516	1.3
	Alfalfa	10780	75.3	117.3	16.0	7526	11729	2.1
2011	Frijol	86	52.8	81.3	6	5280	8130	1.1
	Maíz	4420	71.2	112.7	12	7120	11270	1.7
	Alfalfa	2830	74.2	117.6	18	7420	11760	2.4

Conclusiones

Con base en el estudio de la Eficiencia de conducción del agua en el canal principal del Distrito de Riego 030 Valsequillo, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

El revestimiento con sección trapecial a base de concreto simple influyó directamente en el aumento de la eficiencia de conducción en un 10% desde su condición en 2006 hasta la fecha, debido a que se revistió del km 34+834 al km 45+939 quedando así completado el tramo de canal entre los puntos de control 24+760 al km 53+100.

De los tres riegos que comprende el ciclo agrícola, en el primer riego del año 2011, se obtuvo mayor aprovechamiento y disponibilidad del agua, a causa del revestimiento del canal, ya que se reportó un incremento del área regable en el módulo 1 de 100 hectáreas y en el módulo 2 de 300 hectáreas.



Actualmente, se ha implementado la tecnificación de los métodos de aforo en el Distrito de Riego 030 Valsequillo y aun cuando se sigue utilizando el aforo con molinete, también ya se realizan los aforos con aparatos como el perfilador doppler, aforador de tiempo de travesía, aforador de garganta ancha, velocímetro doppler, lo anterior sugiere que a corto plazo se tenga mayor control de la dotación volumétrica de agua en cada toma directa y laterales del canal principal.

Referencias Bibliográficas

- Colegio de Postgraduados, 2009. Proyecto de revestimiento con sección trapecial a base de concreto simple del km 28+230.44 al km 29+521.26, del km 29+900 al km 32+117.21, del km 32+560.14 al km 34+248.30 y del km 34+645.00 al km. 34+826.24. Canal Principal. Distrito de Riego 030 Valsequillo, Estado de Puebla. 195 pp.
- CONAGUA, 2002. "Compendio básico del agua en México". Programa Nacional de Hidráulica 2001-2006. México
- CONAGUA. 2009. Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego. México.
- CONAGUA, 2010. Manual de Infraestructura Hidroagrícola. En línea bajo la dirección: www.conagua.gob.mx.
- Distrito de Riego 030 Valsequillo, 2010. Subjefatura del área de Conservación e Hidrometría.
- Exebio, G. A., Palacios, V. E., Mejía, S. E. y Ruiz, C.V. 2005. Metodología para estimar pérdidas por infiltración en canales de tierra. Terra Latinoamericana 2: pp. 213-223
- FAO, 2003. Rethinking the approach to groundwater and food security. AGL Water Publication No. 24. Rome.
- Fritz, M. P. 1999. Manual de Agricultura Moderna. Tenax. México, D.F.
- Gamarra Santa Cruz, G. 1996. Arroz. Manual de producción. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 440 pp.
- Guillet, D. 2006. Rethinking Irrigation Efficiency: Chain Irrigation in Northwestern Spain. Human Ecology 34: pp. 305-327