



## IV CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2018

Aguascalientes, Ags., del 15 al 18 de octubre de 2018

### EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN LOS DISTRITOS DE RIEGO, CUENCA RÍO BRAVO, MÉXICO

Íñiguez-Covarrubias Mauro<sup>1\*</sup>; Ojeda-Bustamante Waldo<sup>1</sup>; Herrera-Ascencio Patricia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac No. 8532, Col. Progreso, Jiutepec Morelos, México. C.P. 62550

mic\_tlalte@hotmail.com (\*Autor de correspondencia)

#### Resumen

Para lograr un beneficio común en las zonas de riego, es necesario alcanzar un uso más eficiente de los recursos hídricos con satisfacción plena de los usuarios, sin embargo esto no se logra en los distritos de riego (DR) por el deterioro en la gestión y el no incremento de la productividad entre otros factores. Esta situación se muestra para el caso de los DR de la cuenca del río Bravo (CRB), que a su vez comparten las aguas con los Estados Unidos de América. La base de este estudio parte de las estadísticas agrícolas e hidrométricas, se determina el indicador de desempeño eficiencia de conducción ( $E_c$ ) de los DR de la CRB y se constituye su relación con los sistemas de regulación y la capacidad de los canales de riego, además se deduce la eficiencia parcelaria y global del uso del agua para el DR 05. El procedimiento consistió en configurar los valores de  $E_c$  a través de la distribución del conjunto de datos para cada año agrícola, por distrito, relacionándolos con sus estadísticas con una presentación en BoxPlot. Para los DR de la CRB se comparan los valores de la  $E_c$  actual contra la  $E_c$  utilizada en el diseño original de la infraestructura. Con los resultados, se muestra, con el análisis de los valores de la  $E_c$  se refleja que no hay variación en las formas de operar los DR en el período estudiado y que al comparar los valores de la  $E_c$  actual contra la  $E_c$  del diseño original de la infraestructura resulta factible recuperar volúmenes de agua. Por último se observa en el DR 05 una baja eficiencia global en el uso del agua a pesar de la modernización reciente. Se recomienda que antes de hacer la inversión y/o modernización, primero valorar esta metodología y a partir de allí, iniciar el cambio en la gestión de los recursos hídricos para lograr mayor beneficio común en las zonas de riego.

**Palabras claves:** Zonas de riego, Infraestructura hidroagrícola



## Introducción

En México, los distritos de riego son proyectos de irrigación desarrollados por el Gobierno Federal y establecidos mediante decreto presidencial en 1926, año de creación de la Comisión Nacional de Irrigación (CNI), están conformados por una o varias superficies previamente delimitadas y dentro de un área cuyo perímetro delimita la ubicación de la zona de riego. Cuenta con obras de infraestructura hidráulica para aguas superficiales y/o del subsuelo, así como presas y vasos de almacenamiento, zona federal, zona de protección y demás bienes y obras conexas, pudiendo establecerse también con una o varias unidades de riego.

Actualmente la organización de un distrito de riego es por tres organismos de dirección: Distrito (CONAGUA), Sociedad de Responsabilidad Limitada (SRL), y Asociaciones Civiles de Usuarios de Riego (ACUR). Esta forma de organización tiene por objetivo la operación, conservación y administración de la infraestructura, concesionada por el Gobierno Federal a los usuarios para proporcionar el servicio de riego a los usuarios.

Los niveles de entrega del agua son: Obra de cabeza por la CONAGUA a la SRL, de ésta a las ACUR y finalmente de la ACUR a los usuarios. En México, al método de distribución del agua en los distritos de riego, dadas sus características físicas y sociales se le ha denominado: Distribución por demanda controlada. Esta distribución consiste en programar la extracción del agua de la fuente de abastecimiento de acuerdo a la demanda de los usuarios en períodos de 3 a 7 días. Este es el método que se practica en los distritos de riego de México, (Iñiguez, et. al., 2011).

Por otro lado, en el volumen total de agua extraída de la fuente de abastecimiento por área regada (miles de  $m^3/ha$ ) están incluidas las necesidades hídricas del cultivo, la eficiencia parcelaria y la eficiencia de conducción ( $E_c$ ). El conocimiento de las eficiencias de uso de agua en sistemas de riego es indispensable para llevar acciones de planeación, diseño, revisión, programación de los riegos, selección de revestimiento a los canales.

Las pérdidas de agua en un canal de transporte y distribución de agua para riego básicamente se pueden clasificar en: intrínsecas y de operación, (Palacios y Exebio, 2012). Estas corresponden al agua que se pierde por filtraciones, evaporación en los canales y por fugas en las estructuras. Estas pérdidas propias a la infraestructura dependen del estado de conservación y en general son independientes de la forma o método de operación de las obras.

Las eficiencias de conducción de un distrito de riego (miles  $m^3$ / miles  $m^3$ ) es el volumen total de agua extraída de la fuente de abastecimiento (VB), miles  $m^3$  (Presas + Pozos) entre el volumen total de agua entregada a usuarios (VN) (miles  $m^3$ ) en los puntos de control. Las eficiencias de conducción ( $E_c$ ) de algunos DR de México, reportados por Enrique Palacios V. (Buenfil, y Campa, 1981) son: DR, Río

Colorado Ec igual a 0.464, DR, Río Tula, Ec igual a 0.497, DR, La laguna, Ec igual a 0.453, DR, Valsequillo, Ec igual a 0.424 y por último el DR, Tehuantepec, Ec igual a 0.412.

Con fines de diseño y para determinar la capacidad de conducción del canal se aplican las eficiencias de conducción y aplicación reportadas por la SRH, 1973. La eficiencia total  $\eta$  para diseño se estima como  $\eta_{\text{conducción}} * \eta_{\text{aplicación}}$ . Los valores de las eficiencias con fines de diseño usados por SRH, 1973 para la conducción y distribución propone tres alternativas según el revestimiento del canal, la primera es de  $\eta=70\%$  para los canales con revestimiento de tierra; para los revestidos de mampostería la eficiencia es de  $\eta=75\%$  y por último para canales revestidos de concreto hidráulico la eficiencia es de  $\eta=85\%$ .

La eficiencia de aplicación parcelaria reportada por SRH, 1973, se considera de eficiencia parcelaria de  $\eta=70\%$  para riego por gravedad, esta distribución al avanzar el agua sobre la superficie del suelo se produce simultáneamente la distribución del agua en la parcela y la infiltración de la misma en el perfil del suelo. La eficiencia de aplicación actualmente varía según la tecnología aplicada y puede alcanzar valores cercanos al de  $\eta=90\%$ .

Se conocen tres métodos de cálculo de capacidad de conducción de canales (Iñiguez, et. al., 2007): Método de los coeficientes unitarios de riego: El método de los coeficientes unitarios de riego (CUR) se encuentra en SRH, 1973, el método de Clément: Clement su metodología se encuentra en Clement (1965), el método de Clemmens la metodología se encuentra en Clemmens (1987).

Los métodos de cálculo de capacidad de conducción de canales descritos en el párrafo anterior pueden cambiar el valor de las eficiencias de conducción si cambia el método de la regulación del canal. Se detallan tres sistemas para el estudio de la regulación de canales.

La regulación aguas arriba consiste en mantener un nivel constante aguas arriba de las estructuras de regulación, figura 1. El funcionamiento hidráulico depende de la maniobra o el caudal que se introduzca aguas arriba del sistema. La posición favorable de la toma es justo al control de nivel de agua, en los puntos de extracción sobre el canal no existe reservas de agua. Los valores de las eficiencias de conducción son las reportadas por la SRH, 1973.

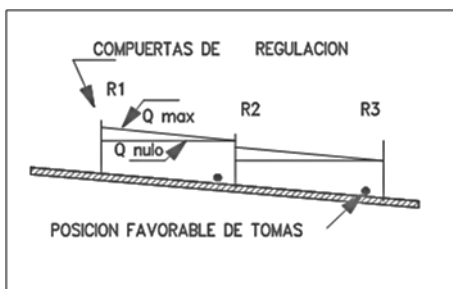


Figura 1. Regulación aguas arriba

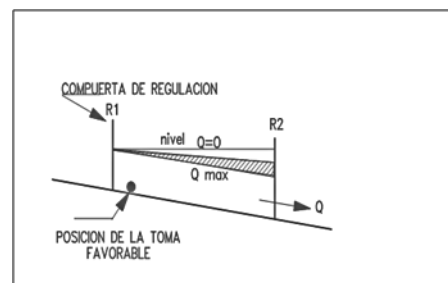


Figura 2. Regulación aguas abajo



Regulación aguas abajo: La regulación aguas abajo consiste en mantener un nivel constante aguas abajo de las estructuras de regulación figura 2, la posición favorable de la toma es justo al control de nivel de agua, en los puntos de extracción sobre el canal existe reservas de agua, En la figura 2 se muestra un equipo tradicional de regulación aguas abajo. Los valores de las eficiencias de conducción varían hasta un más 30 % de los valores las reportadas por la SRH, 1973.

Sistemas de regulación automatizados (mixtos): Estos sistemas de regulación de canales pueden ser con variantes de los métodos de regulación aguas arriba y aguas abajo incluyendo la posición favorable de la toma respecto al control de nivel de agua, ya que se desarrollan para la aplicación de nuevas tecnologías en transmisión de información, informática y automática. Los valores de las eficiencias de conducción varían hasta de acuerdo a la ubicación de la toma de salida y el valor varía desde los mismos valores o un más 30 % de las reportadas por la SRH, 1973.

Las Estadísticas de los Distritos de Riego en México son recolectadas y ordenadas para posteriormente ser publicadas, estos registros agrícolas e hidrométricos de las Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego son responsabilidad de CONAGUA. En la estadística descriptiva se permite realizar un análisis más detallado y conciso respecto a la distribución de los datos en la muestra. Esto se complementa, de manera cualitativa, con los resultados cuantitativos obtenidos a través de los estadísticos de la muestra. Adicionalmente, un diagrama de cajas permite determinar si la muestra tiene elementos “outliers” y si presenta un sesgo a la izquierda a la derecha o izquierda, Di-Rienzo J. A. y Casanoves F., 2009.

Infante-Said G. y Zárate de Lara G. P., 1984 muestran los elementos de la estadística descriptiva y la inferencia estadística, es aquí en donde se puede analizar los indicadores de desempeño en base a estudios de métodos estadísticos, ya que con la productividad se pone a prueba la capacidad de una estructura para desarrollar los productos y el nivel en el cual se aprovechan los recursos disponibles.

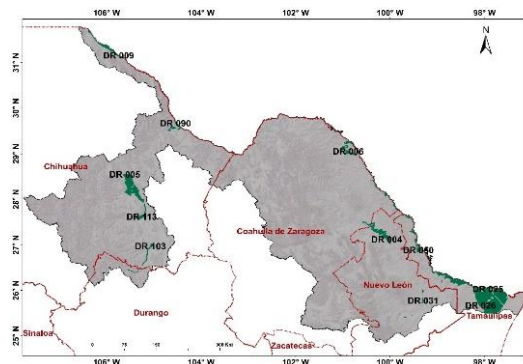
Con la historia de los distritos de riego se relata el proceso en donde han estado ligadas las políticas públicas al desarrollo del país, a la producción de alimentos y a la administración de los recursos hidráulicos. Han pasado varias décadas desde la construcción de los distritos de riego y ahora al concesionar a los usuarios la operación, conservación y administración de la infraestructura para beneficio de los usuarios de riego es necesario revisar.

La mejor productividad supone una mayor rentabilidad en cada distrito de riego. De esta manera, la gestión de la calidad busca que los DR logren incrementar su productividad.

Revisar el índice de productividad de los DR de la cuencas Río Bravo en relación a la infraestructura hidroagrícola así como analizar la gestión de los recursos hídricos para un aprovechamiento integral son tareas permanentes para los especialistas como soporte a labores técnicas con fines que permitan recomendar acciones antes de ejercer cualquier tarea de inversión y/o modernización en los DR, sin olvidar, que este estudio contribuye finalmente a encontrar el mejor escenario para la sustentabilidad de la cuenca con sus implicaciones de ser compartida.

## Materiales y Métodos

Para el caso de estudio de los Indicadores de desempeño de los distritos de riego se proponen los que integran la región colindante del Río Bravo, México, por ser una cuenca transfronteriza y compartir sus aguas superficiales para cumplir con el tratado entre México-USA de 1944, Orive-Alba, A., 1945.



**Figura 3.** Distritos de Riego en la cuenca Río Bravo

En la figura 3 se presenta cómo están distribuidos los Distritos de Riego en la cuenca Río Bravo (CRB), México. En la tabla 1 se inscriben los DR de la cuenca. En la columna 1 la clave con orden progresivo, en la dos el nombre oficial del DR y por último en la columna 3 la superficie total (ha) registrada en el título de concesión. Se obtuvieron estos registros agrícolas e hidrométricos de las Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego publicadas por CONAGUA.

**Tabla 1.** Distritos de Riego en la CRB, México

Clave	Nombre oficial	Superficie total (ha)
04	Don Martín, Coahuila.-N.L.	18,250
05	Delicias, Chihuahua.	73,002
06	Palestina, Coahuila.	12,918
09	Valle de Juárez, Chihuahua.	20,863
25	Bajo Río Bravo, Tamaulipas.	201,291
26	Bajo Río San Juan, Tamaulipas	75,930
31	Las Lajas, Nuevo León	4,046
50	Acuña-Falcón, Tamaulipas	14,036
90	Bajo Río Conchos, Chihuahua.	8,095
103	Río Florido, Chihuahua.	8,225
113	Alto Rio Conchos, Chihuahua.	11,943



Para la selección de los indicadores de desempeño se estableció aquel que podían ser estimados con los datos disponibles en fuentes oficiales y tengan relación directa con y la infraestructura hidroagrícola en los DR, (Altamirano-Aguilar et. al., 2017). La estimación de la eficiencia de conducción ( $E_c$ ) indicador de desempeño operativo se realizó usando la ecuación 1, donde: VB: Volumen total de agua extraída de la fuente de abastecimiento (miles  $m^3$ ) (Presas + Pozos); VN: Volumen total de agua entregada a usuarios (miles  $m^3$ ).

$$E_c = \frac{VN}{VB} \quad (1) \quad E_a = \frac{RR_{por\ cultivo}}{VN} \quad (2)$$

La estimación de la eficiencia de aplicación ( $E_a$ ) indicador de desempeño operativo se realizó usando la ecuación 2, donde: RR: Requerimiento de riego por cultivo (miles  $m^3$ ); VN: Volumen total de agua entregada a usuarios (miles  $m^3$ ).

El procedimiento metodológico de análisis consistió en figurar las estadísticas por medio de la distribución del conjunto de datos como es el diagrama de caja y bigotes y relacionar cada índice con sus compendios. Adicionalmente por BoxPlot se analizan los índices, con el diagrama de cajas, lo cual permite determinar si la muestra tiene elementos "outliers" y si presenta un sesgo a la izquierda o a la derecha (Di-Rienzo J. A. y Casanoves F., 2009). Se realiza la representación de la evolución anual por medio del dibujo y se muestran los datos graficados para los años agrícolas disponibles. Este planteamiento se realiza conjuntamente entre todos los distritos de riego de la CRB.

Además, se determina la  $E_a$  deducida del conocimiento de los RR: Requerimiento de riego por cultivo (miles  $m^3$ ), estos valores son proporcionados por conagua, Plan director del DR 05 (2005) y de estudios varios de INIFAP (2007); VN: Volumen total de agua entregada a usuarios (miles  $m^3$ ), determinando la  $E_{total}$  del sistema.

Se compara la  $E_c$  actual con la  $E_c$  de diseño reportados por SRH, 1973 para control aguas arriba, además de comparar la opción el diseño actual contra el control mixto y diferente tipo de operación con fines comparativos de funcionamiento.

Finalmente se busca encontrar soluciones y acciones diferentes en la gestión de los recursos hídricos para un aprovechamiento integral que satisfagan a los usuarios.

## Resultados y Discusión

De las estadísticas agrícolas y económicas de los distritos de riego, en las siguientes tablas se muestran las estadísticas agrícolas de los DR de la CRB: volumen total de agua extraída, área total regada y volumen total de agua





entregada a los usuarios. Los datos fueron extraídos de la base de datos de la CONAGUA, (CONAGUA, 2015b).

La Ec resultado de las estadísticas hidrométricas (Conagua, 2015b) para los ciclos agrícolas 2011-2012 al 2015-2016 en las tablas 2 y 3 se muestran los valores obtenidos con la ecuación 1 para cada año agrícola. Como resultados del análisis de indicador de la operación, eficiencias de conducción, se obtuvieron valores de rango desde 0.29 al 0.90 estos indicadores se obtuvieron en los 11 distritos.

**Tabla 2.** Eficiencias de conducción para 6 DR (miles m<sup>3</sup>/ miles m<sup>3</sup>)

Ciclo agrícola	Distrito de Riego										
	04	05	06	09	25	26	31	50	90	103	113
2016	0.46	0.68	0.37	0.62	0.51	0.68	0.90	0.77	0.51	0.65	0.65
2015	0.47	0.66	0.29	0.61	0.45	0.63		0.73	0.51	0.57	0.59
2014	0.41	0.58	0.31	0.59	0.55	0.66	0.86	0.77	0.52	0.70	0.64
2013	0.41	0.47	0.37	0.51	0.56	0.64	0.75	0.77	0.55	0.63	
2012	0.48	0.63	0.40	0.59	0.48	0.60	0.72	0.77	0.56	0.64	

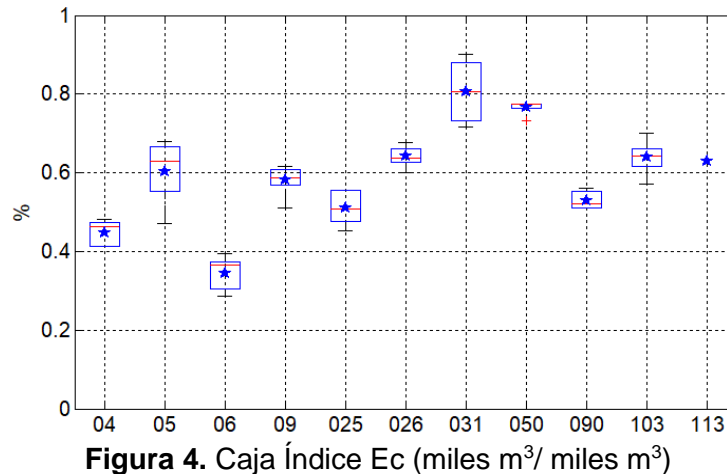
Con los valores de la tabla 2 se realiza el análisis descriptivo con el BoxPlot y en las tablas 4 y 5 de muestran los resultados. La primera variable es la media de los datos. La segunda es la mediana (Q2). El lado inferior del rectángulo representa el primer cuartil (Q1, el 25 % de los datos), y el lado superior, el tercer cuartil, (Q3, el 75% de los datos) Bigote Inferior y Bigote Superior.

**Tabla 4.** Resultados por BoxPlot DR (miles m<sup>3</sup>/ miles m<sup>3</sup>)

Paramétrica	Distrito										
	04	05	06	09	25	26	31	50	90	103	113
Media	0.45	0.60	0.35	0.58	0.51	0.64	0.81	0.77	0.53	0.64	0.63
Mediana (Q2)	0.46	0.63	0.37	0.59	0.51	0.64	0.81	0.77	0.52	0.64	0.64
Desviación Estándar	0.03	0.08	0.04	0.04	0.05	0.03	0.09	0.02	0.02	0.05	
Mínimo	0.41	0.47	0.29	0.51	0.45	0.60	0.72	0.73	0.51	0.57	0.59
Máximo	0.48	0.68	0.40	0.62	0.56	0.68	0.90	0.77	0.56	0.70	0.65
Cuartil 25 % (Q1)	0.41	0.52	0.30	0.55	0.47	0.62	0.72	0.75	0.51	0.60	
Cuartil 75 % (Q3)	0.48	0.67	0.38	0.61	0.56	0.67	0.89	0.77	0.56	0.68	
Bigote Inferior	0.41	0.47	0.29	0.51	0.45	0.60	0.72	0.73	0.51	0.57	0.59
Bigote Superior	0.48	0.68	0.40	0.62	0.56	0.68	0.90	0.77	0.56	0.70	

En la figura 4 se muestran graficados los resultados, también conocido como diagrama de caja. Las líneas verticales que sobresalen de la caja, los 'bigotes' o ejes, se extienden, respectivamente, hasta al mínimo Bigote Inferior y el máximo Bigote Superior. Los valores, indicados por +, por debajo y por encima de los bigotes inferior y superior se consideran valores atípicos, que para el caso no existen.

Como resultados del análisis de indicadores de la operación de eficiencias globales de conducción se obtuvieron valores del rango de la media desde 37 al 81% estos indicadores se realizaron para los 11 distritos.



De la figura 4 realizando un ejemplo de los resultados del BoxPlot, se expone para el DR 05, el cual es la segunda caja de izquierda a derecha en la figura. El símbolo \* es la media con Ec igual a **0.60**. La mediana (Q2, línea roja) es Ec igual a 0.63. El primer cuartil (Q1), Ec igual a 0.52, el tercer cuartil, (Q3), Ec igual a 0.67. Las líneas verticales que sobresalen de la caja, los 'bigotes' o ejes, se extienden, respectivamente, hasta al mínimo Bigote Inferior Ec igual a 0.47 y el máximo Bigote Superior Ec igual a 0.68. Los extremos de los bigotes están marcados por dos líneas horizontales cortas. Las gráficas de DR que muestran los índices anuales se dividieron en dos grandes grupos (tabla 6), el primero que incluye a los DR dentro de la cuenca del Río Bravo y el otro los del Conchos; las simbologías son las siguientes:

**Tabla 6.** Simbología de representación de los DR. CRB

Clave	DR, Río Bravo	Simbología
04	Don Martín, Coahuila, Nuevo León.	★
06	Palestina, Coahuila.	■
09	Valle de Juárez, Chihuahua.	●
25	Bajo Río Bravo, Tamaulipas.	*
26	Bajo Río San Juan, Tamaulipas	▲
50	Acuña-Falcón, Tamaulipas	◆
05	Delicias, Chihuahua.	★
31	Las Lajas, Nuevo León	●
90	Bajo Río Conchos, Chihuahua.	◆
103	Río Florido, Chihuahua.	■
113	Alto Río Conchos, Chihuahua.	▲

Se realiza la representación de la evolución anual por medio de la Figura 5a y 5b, se muestran los años agrícolas disponibles del 2012-2016. Este planteamiento se realiza conjuntamente entre todos los distritos de riego. Observa en la figura que los DR 31 y DR 050 son los distritos que tiene Ec por arriba de los otros DR en todos los años, el DR 06 es el del valor más bajo con valores de Ec=0.3, valores no permitidos en una zona con tanta escases.



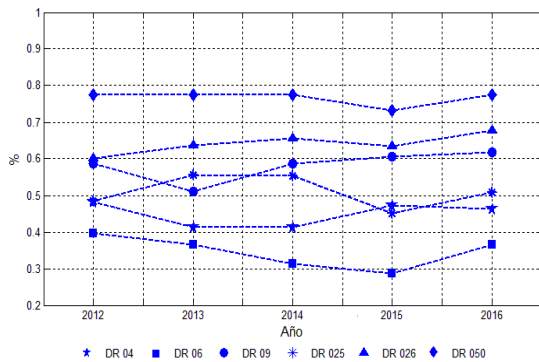


Figura 5a. Ec por año agrícola y DR

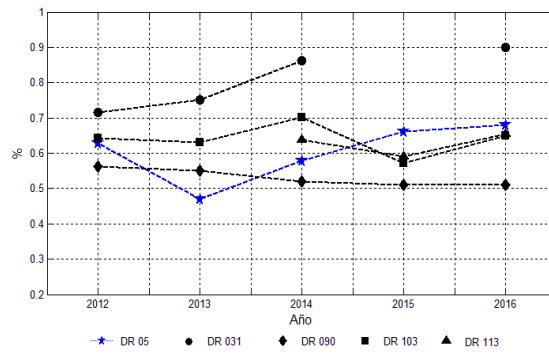


Figura 5b. Ec por año agrícola y DR

**Caso DR 05, Delicias Chihuahua:** Se compara la *Ec* actual con la *Ec* de diseño reportados por SRH, 1973 para control aguas arriba, además de comparar la opción el diseño actual contra el control mixto y diferente tipo de operación con fines comparativos de funcionamiento.

a) Sistema de regulación aguas arriba. Este método supone una distribución por demanda programada, si se realiza acciones no estructurales la eficiencia de operación aumentará de una condición actual a la *Ec* de diseño del 85%, tal como fue elaborado el proyecto (canales revestidos de concreto), pudiendo recuperar hasta 218 millones de m<sup>3</sup>, los datos se muestran en la tabla 7 b.

b) Sistema de regulación aguas abajo. Este método supone una distribución por demanda libre, si se realiza una modernización con acciones estructurales e instrumentación la eficiencia de operación aumentará y se tendrán volúmenes adicionales y en términos de flexibilidad gasto, frecuencia y duración, aumentando la *Ec* actual al 90% de diseño, pudiendo recuperar hasta 260 millones de m<sup>3</sup>, los datos se muestran en la tabla 7 b

c) Sistema de regulación control Bival o control asociado de nivel, con infraestructura o control automatizado. Este método supone una distribución por demanda libre con una *Ec* para diseño que varía del 85% al 90 %, si se realiza una modernización con acciones estructurales e instrumentación, la eficiencia de operación aumentará y se tendrán volúmenes adicionales y en términos de flexibilidad gasto, frecuencia y duración y el gasto recuperado varia del recuperado con regulación aguas arriba al del recuperado con regulación aguas abajo.

**Tabla 7.** Condición actual y VN y Condición futura de *Ec* y VN<sub>Recuperado</sub> DR 05, CRB

Año	Condición actual				VN <sub>Recuperado</sub>			
	Usuarios	VB	VN	Ec	Ec 0.70	Ec 0.75	Ec 0.85	Ec 0.90
2016	8107	846,828	576,296	0.681	16,484	58,825	143,508	185,847
2015	7749	886,862	587,434	0.662	33,369	77,713	166,399	210,742
2014	8108	805,197	466,037	0.579	97,601	137,861	218,380	258,640
2013	5701	526,673	247,403	0.470	121,268	147,602	200,269	226,603
2012	5701	958,073	601,916	0.628	68,735	116,639	212,446	260,350

Donde: VN<sub>Recuperado</sub>: Volumen total de agua (miles m<sup>3</sup>).



En la tabla 7, se muestra el indicador de desempeño operativo que es la Ec en el DR 05 que al cambiar la Ec al valor de diseño se pudo rescatar los millones de m<sup>3</sup> en relación al Volumen total de agua entregada a usuarios (miles m<sup>3</sup>).

En la tabla 8 se muestra el indicador de desempeño operativo que es la Ec en los DR de toda la CRB que al cambiar la Ec del año agrícola 2016 al valor de diseño, se pudo rescatar los millones de m<sup>3</sup> en relación al Volumen total de agua entregada a usuarios (miles m<sup>3</sup>), lo cual resulta un VN Recuperado de 505 Millones de m<sup>3</sup>.

**Tabla 8. Condición actual y VN Recuperado DR 05, CRB**

Distrito	EC 2016	VB	VN	VN Recuperado
04	0.46	97,960	45,355	37,910
05	0.68	846,828	571,900	143,925
06	0.37	28,840	10,671	13,843
09	0.62	126,837	78,639	29,172
25	0.51	511,139	260,681	173,787
26	0.68	323,983	220,308	55,077
31	0.90	7,477	6,729	
50	0.77	8,094	6,232	648
90	0.51	64,451	32,870	21,913
103	0.65	69,880	45,422	13,976
113	0.65	77,390	50,304	15,478
			Total	505,731

**Caso DR 05, Delicias Chihuahua:** Se determina la Ea deducida del conocimiento por los RR: Requerimiento de riego por cultivo (miles m<sup>3</sup>), y los VN: Volumen total de agua entregada a usuarios (miles m<sup>3</sup>), determinando la E<sub>total</sub> del sistema.

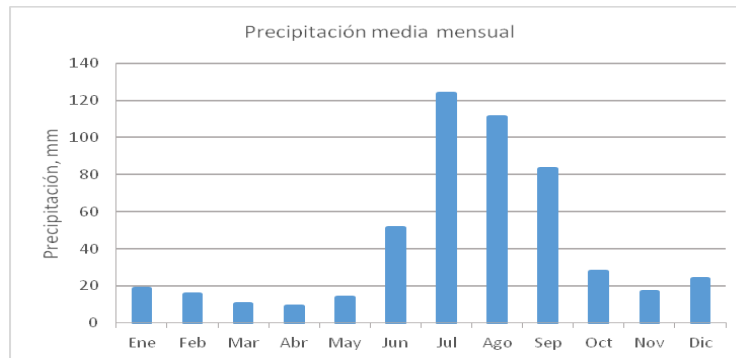
**Tabla 9. Condición actual y eficiencias del DR 05, CRB**

	Superficie (Ha)	Volumen Presa (millones m <sup>3</sup> )	Volumen Toma (millones m <sup>3</sup> )	Volumen Necesario PD (millones m <sup>3</sup> )	Lámina (m) Plan Director	Lámina (m) Plan consulta	No Riego	Volumen Necesario Consulta (millones m <sup>3</sup> )
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>PV- Cultivo</b>								
Algodón	1367	18.86	12.85	10.25	75.00	69.0	5.6	9.43
Cacahuete	7331	101.17	68.90	45.45	62.00	45.0	4.0	32.99
Cebolla	2260	31.19	21.24	19.21	85.00	44.0	15.0	9.94
Chile Verde	3949	54.50	37.11	32.38	82.00	71.0		28.04
Maíz Forrajero Verde	6794	93.76	63.85	35.33	52.00	52.0		35.33
Otros Cultivos	1215	16.77	11.42	7.05	58.00	58.0	6.1	7.05
Sandía	4236	58.46	39.81	23.17	54.70	54.0		22.87
<b>PE- Cultivo</b>								
Alfalfa	25536	352.40	239.98	242.59	95.00	73.8	9.5	188.43
Nogal (Nuez)	8673	119.69	81.51	68.52	79.00	75.0	7.2	65.65
Total	61361	846.78	576.66	484.0				399.7



En la Tabla 9 se resume como ejemplo el caso DR 05, Delicias Chihuahua ciclo 2015-2016, en la columna 1 se reporta los cultivos establecidos, y en la columna 2 su superficie. Para este ciclo agrícola se reporta el volumen nivel presa de VB= 846.78, millones de m<sup>3</sup>, y un VN= 576.66 millones de m<sup>3</sup>.

De la revisión del Plan director y estudios de INIFAP se reporta una lámina de RR y otra de consulta, observándose que es muy alta la del PD, se anexa el N° de riegos por cultivo reportado por método de riego.



**Figura 6.** Hietograma medio en la cuenca del río Conchos.

La precipitación efectiva (Pe) se determina de acuerdo a las ecuaciones 3 y 4 donde Pt es la precipitación mensual en milímetros. Para el caso de la parte alta del río Conchos la Pe es mayor a 100 mm para el ciclo de cultivo de la nuez.

$$Pe = 0.6 Pt - 10 \text{ para } < 70 \text{ mm} \quad (3) \quad Pe = 0.6 Pt - 24 \text{ para } > 70 \text{ mm} \quad (4)$$

Con estos datos se determina el volumen necesario para el PD y otro con datos de INIFAP, por lo que se determina una eficiencia parcelaria de 0.69 y la eficiencia de conducción 0.681, esto permite determinar eficiencia total 0.49, teniendo una lámina presa = 1.38 m., lámina toma = 0.94 m, lámina en parcela = 0.65 m.

## Conclusiones

El índice operativo que se estudió, realmente lo que revela es cuánto los usuarios están dispuestos a ocuparse de la operación, administración y conservación de la infraestructura de los DR. Con este planteamiento se comprueba para el caso de los DR de la cuenca del río Bravo que a su vez comparten las aguas con los Estados Unidos de América las baja eficiencias en el uso del recurso hídrico.

Se concluye que el Indicador de Desempeño Operativo debe de ser de estudio permanente ya que con los valores de la Ec se documenta la historia de la operación, dependiente del manejo en la capacidad de canal y la infraestructura de regulación.



Con el análisis por Box-Plot de las eficiencias de conducción de los DR se manifiesta por los resultados que la operación de la infraestructura no varían e indica no cambio en las formas de trabajo, por lo que se recomienda hacer la preparación necesaria en apoyo a los DR.

La comparación de las eficiencia de conducción actuales versus la  $E_c$  de diseño nos muestra lo factible que puede ser el conseguir rescate de volúmenes de agua en los DR, que para el caso de los DR de la CRB resulta ser un  $VN_{Recuperado}$  de 503 Millones de  $m^3$  en el último año de operación, este puede ser un parámetro de inicio para mejorar la productividad en los DR.

Es necesario seguir realizando investigaciones sobre los requerimientos de riego de los diferentes cultivos, para los distintos paquetes tecnológicos y técnicas de riego.

Por último, se recomienda antes de ejercer cualquier acción de inversión y/o modernización, primero aplicar y valorar esta metodología y a partir de ahí iniciar el cambio en la gestión para un aprovechamiento integral que satisfagan a los usuarios, tomando en cuenta que éste estudio contribuye finalmente a encontrar el mejor escenario para la sustentabilidad de la cuenca.

### Referencias Bibliográficas

- Altamirano-Aguilar, A. Valdez-Torres, J. B., Valdez-Lafarga. C. León-Balderrama, J. I. Betancourt-Lozano, M. Osuna-Enciso, T. (2017). Clasificación y evaluación de los distritos de riego en México con base en indicadores de desempeño. *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. VIII, núm. 4, julio-agosto, pp. 79-99
- Buenfil, R. M. O, Campa, R. J. A. (1981). *Curso Sistemas de Regulación en Canales de Distribución*. Instituto Tecnológico de Sonora, Comisión Plan Nacional Hidráulico, S. E. P. Ciudad Obregón, Son.
- Clement, R. (1965). *Computation of flow in Irrigation Systems Operating 'On Demand'* La Société du canal de Provence et d'Aménagement de la Region Provencale, Le Tholonet, 13 December, 1965. Traducción al inglés por U. S. Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, 1979.
- Clemmens, A. J. (1987). *Delivery System Schedules and Required Capacities, Planning, Operation, Rehabilitation and Automation of Irrigation Water Delivery Systems*. Symposium Proceedings, ASCE, New York, U.S.A.
- Conagua (2005). *Plan director para la modernización integral del riego del distrito de riego 005, delicias, chihuahua*, proporcionado por Conagua.
- Conagua (2015b). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. Consultado el 17 de julio de 2015. Recuperado de [http:// www.edistritos.com/DR/](http://www.edistritos.com/DR/).



- Di-Rienzo J. A. y Casanoves F. (2009), Estadística para la ciencia agropecuaria. Editorial Brujas, 7° Edición. Impreso en Argentina. Edición electrónica.
- Infante-Said G. y Zárate de Lara G. P., (1984). Métodos estadísticos, un enfoque interdisciplinario. Editorial Trillas, México
- Íñiguez-Covarrubias, M., De León, M. B., Prado, H. J. V. y Rendón, P. L. (2007). Análisis y comparación de tres métodos para determinar la capacidad de conducción de canales, aplicados en el distrito de riego La Begoña. Ingeniería Hidráulica. XXII (2): 81-90.
- Íñiguez-Covarrubias, M., Ojeda-Bustamante, W., y Rojano-Aguilar A. (2011). Metodología para la determinación de la evapotranspiración integrada y la capacidad de canales en una zona de riego. Rev. FCA UNCUYO. 43(2): 175-191.
- INIFAP (2005), Requerimientos hídricos y manejo del agua de riego en cultivos forrajeros, Rodolfo Jasso Ibarra, Investigador del campo experimental Delicias, CIRNOC-INIFAP.
- Orive Alba, A., (1945). Informe Técnico sobre el Tratado Internacional de Aguas: Revista Irrigación en México Comisión Nacional de Irrigación Núm. 3 'Julio-Agosto-Septiembre, Vol. 26, México.
- Palacios, V. E., y Exebio, A. E., (2012). La operación de los distritos de riego con apoyo de las técnicas de la información. Colegio de Posgraduados, pág. 311.
- S R H. (1973). Proyecto de Zonas de Riego. Dirección de Proyectos de Grande Irrigación Secretaria de Recursos Hidráulicos, México, D. F.