



Sexto  
Congreso Nacional de  
Riego, Drenaje y Biosistemas  
COMER- 2021 / Hermosillo, Sonora



Artículo: COMER-21045

Hermosillo, Son., del 9 al 11 de junio de 2021

## IMPACTO DEL BOMBEO DEL AGUA DE RESCATE EN LA OPERACIÓN DEL DISTRITO DE RIEGO 010 CULIACÁN-HUMAYA, SINALOA

Mario Alberto Montiel Gutiérrez<sup>1</sup> y Sirio Moreno Armenta<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P. 62550. México. [mmontiel@tlaloc.imta.mx](mailto:mmontiel@tlaloc.imta.mx). (777) 2575503.

<sup>2</sup>Jefe de los Distritos de Riego 010 Culiacán-Humaya y 074 Mocorito, de la Comisión Nacional del Agua. México. [sirio.moreno@conagua.gob.mx](mailto:sirio.moreno@conagua.gob.mx) (667) 3907038

### Resumen

Se presenta un diagnóstico sobre los equipos de bombeo instalados, 45 pozos de extracción de agua subterránea y 86 plantas de bombeo para el volumen de rescate en drenes y arroyos del Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya. Los pozos agrícolas, se estima que aportan un gasto actual del orden de los 4.055 m<sup>3</sup>/s y una potencia instalada total de 2,665 HP, sin embargo, la fuente de mayor aportación en gasto de reúso en un total de 86 equipos con 16.08 m<sup>3</sup>/s de gasto bombeado principalmente de los drenes con agua de reúso provenientes de los sobre riegos en las parcelas. La potencia total instalada en estas plantas de bombeo es de 8,510 HP. En el presente año agrícola 2020-2021, de acuerdo con datos de la Jefatura del Distrito de Riego, el volumen total bombeado fue de **207.39 Millones de m<sup>3</sup>** un consumo estimado de energía de 29.885 MW-hr. El costo anual de la energía eléctrica es de aproximadamente \$30 Millones de pesos, por lo que se estima un costo aproximado de 1 peso/kw-hr bombeado y un costo de \$144.65 pesos el millar de m<sup>3</sup>, lo cual representa un cargo de \$1,117 pesos/ha de riego. Se presenta una metodología para estimar el impacto del bombeo de rescate a nivel distrito considerando la información promedio de superficie sembrada, volúmenes requeridos, netos y brutos de los últimos 5 años de operación del Distrito (CONAGUA, 2019). La eficiencia global calculada a partir de estos datos es de **39.68%**. Por lo que, en una condición hipotética, sumando el volumen bombeado al volumen promedio utilizado a nivel de presa, la eficiencia resultante resultaría del orden de 35.89%, por lo que el impacto del volumen bombeado de rescate para riego en la eficiencia global del Distrito es de **+3.78** puntos. La superficie y usuarios beneficiados es de 25,896 ha y 2,236 usuarios, considerando un volumen por hectárea a nivel de punto de control de 7,723 m<sup>3</sup>/ha. Se estima un incremento en el volumen de producción de 284,856 toneladas adicionales de maíz, que con un precio medio rural de \$6,000 pesos por tonelada, se obtiene un volumen de producción de **\$1,709.136 millones de pesos** y una productividad del agua bombeada de **\$8.24/m<sup>3</sup>**. Se presentan cuadros y gráficos que resumen los resultados y una breve discusión de los mismos.

**Palabras claves:** bombeo para riego, operación de distritos, eficiencia global

## Introducción

El Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya, comprende una superficie total de 212,141 hectáreas regables, con 18,869 usuarios en su padrón y se localiza en los municipios de Culiacán, Navolato, Mocorito, Angostura y Salvador Alvarado en el Estado de Sinaloa. Se encuentra en la Región Hidrológica Administrativa III Pacífico Norte, en donde, de acuerdo con los datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). La figura 1 muestra el plano general del Distrito de riego 010 Culiacán-Humaya, 074 Mocorito y 109 San Lorenzo que integra el sistema interconectado formado por las presas Adolfo López Mateos, Sanalona, José López Portillo y Eustaquio Buelna.



**Figura 1.-** Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya, en el Estado de Sinaloa

La superficie física regable del distrito de Riego 010 es de 212,141 ha para un total de 18,688 usuarios beneficiados. El volumen concesionado en puntos de control de agua de gravedad proveniente de las presas es del orden de 1917.40 Millones de m<sup>3</sup> y del agua subterránea es de 156.37 Millones de m<sup>3</sup> para un gran total de volumen concesionado de 2,073.77 Millones de m<sup>3</sup>.

En los últimos nueve años agrícolas, en el Distrito de Riego se han implementado acciones tendientes a mejorar la operación del sistema, debido a un problema grave que se presentó en el ciclo agrícola 2010-2011, como lo fue la ocurrencia de una contingencia climática que afectó más de 148,000 ha en pie de cultivo, que obligó a los usuarios a resembrar dobles cultivos por la presencia de heladas en enero de 2011. Esto provocó un problema de falta de volúmenes en el sistema de presas que obligó al Distrito a reducir



cultivos de alta demanda y realizar acciones para hacer el uso eficiente del agua en todos los niveles operativos del Distrito, además de invertir en rescates de agua de reúso, mediante plantas de bombeo en la red de drenaje (Moreno, et al. ,2011).

### Capacidad de bombeo de rescate

De acuerdo con el diagnóstico realizado de los equipos de bombeo instalados, el Distrito de Riego 010 Culiacán-Huma, tiene 45 pozos en sus inventarios todos pertenecientes a los Acuíferos del Río Culiacán (clave 024) y Río Mocorito, (clave 025) que en total se estima aportan un gasto actual del orden de los 4.055 m<sup>3</sup>/s y una potencia instalada total de 2,665 HP. Sin embargo, la fuente de mayor aportación en gasto de reúso, la aportan las plantas de bombeo que los usuarios han venido construyendo desde el año 2003, con apoyos a la sequía de CONAGUA y que a la fecha resulta en un total de 86 equipos con un total de 16.08 m<sup>3</sup>/s de gasto bombeado principalmente de los drenes con agua de reúso provenientes de los sobre riegos y mala eficiencia de aplicación en las parcelas aunque un porcentaje importante de éste volumen es de bombeos de rio, y arroyos intermitentes. La potencia total instalada en estas plantas de bombeo es de 8,510 HP tal y como se muestra en el cuadro siguiente.

**Tabla 1.-** Pozos y Plantas de Bombeo en el inventario de los Módulos de Riego del Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya, Sinaloa.

MODULO DE RIEGO	No EQUIPOS/BOMBAS		GASTO BOMBEO		POTENCIA		TOTAL	
			PB	POZO	PB	POZOS		
	PB	POZOS	l/s	l/s	HP	HP	l/s	HP
I-1 LA PALMA	6	12	400	1,350	400	680	1,750	1,080.00
I-2 BACHIMETO	2	4	1,800	430	485	270	2,230	755.00
I-3 OTAMETO	2	5	580	500	300	415	1,080	715.00
II-1 PANAC 7	0	13	0	1,025	0	730	1,025	730.00
II-2 PRODUAGRA	0	2	0	0	0	0	0	0.00
II-3 EL GRANDE	5	0					0	0.00
IV-1 CULIACANCITO	25	0	3,190	0	1,990	0	3,190	1,990.00
IV-2 EL TAMARINDO	7	0	1,000	0	725	0	1,000	725.00
IV-3 LA GUAMUCHILERA	6	0	1,380	0	720	0	1,380	720.00
IV-4 MONTELARGO	5	0	4,080	0	1,340	0	4,080	1,340.00
V-1 CHINITOS	9	0	1,800	0	1,200	0	1,800	1,200.00
V-II NORTE VALLE ANGOSTURA	19	9	1,850	750	1,350	560	2,600	1,910.00
74-1 VALLE DEL EVORA								
74-2 EUSTAQUIO BUELNA								
<b>TOTAL</b>	<b>86.00</b>	<b>45.00</b>	<b>16,080.00</b>	<b>4,055.00</b>	<b>8,510.00</b>	<b>2,655.00</b>	<b>20,135.00</b>	<b>11,165.00</b>
<b>GRAN TOTAL</b>	<b>131.00</b>		<b>20,135.00</b>		<b>11,165.00</b>			

Fuente: Inventario 2019 Infraestructura Hidroagrícola de los Módulos del DR 010 CONAGUA.

En total se estiman 131 equipos de bombeo, que proporcionan un gasto total bombeado de 20.135 m<sup>3</sup>/s entre la totalidad de los pozos y plantas de bombeo en el Distrito con una potencia hidráulica instalada de 11,165 HP.

## Impacto en la eficiencia global del Distrito

De acuerdo con **Montiel et al. (2019)**, partiendo de un balance de humedad en la zona radical de las plantas, se puede demostrar que las necesidades de riego de los cultivos se calculan directamente como la sumatoria de evapotranspiración real ( $E_{tr}$ ) del cultivo en todo el ciclo, menos la precipitación efectiva ( $P_e$ ) que se presente durante el ciclo agrícola para una zona de riego, las necesidades de riego a nivel de toma parcelaria ( $NR_b$ ) expresadas en volúmenes requeridos para un cultivo determinado, al inicio del ciclo agrícola, serán iguales a:

$$NR_b = \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N [E_{tr_i} - P_{e_i}] * S_j}{E_{a_j}} \quad (1)$$

Donde:

$J$  es el número total de parcelas sembradas con ese cultivo.

$N$  es el número de días  $i$  del ciclo agrícola del cultivo.

$j$  es la parcela considerada

$i$  es el día considerado del ciclo vegetativo.

$S$  es la superficie sembrada con ese cultivo (ha)

$E_a$  es la eficiencia de aplicación de sistema de riego (dec)

Cuando se consideran todos los  $k$ -ésimos cultivos existentes en la zona de riego, la ecuación a nivel Distrito de Riego se convierte a la forma:

$$NR_b = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N [E_{Tr_{ijk}} - P_{e_{ijk}}] * S_j}{E_{a_j}} \quad (2)$$

Donde:

$K$  es el número total de cultivos establecidos.

$k$  es el cultivo considerado.

Se puede observar que la multiplicación de  $J * K$  en la ecuación anterior, resulta el total de parcelas sembradas en el Distrito de Riego. Cuando se considera la eficiencia de conducción de red menor y en red mayor en los canales y tramos muerto del Distrito de Riego, estas necesidades de riego se proyectan a nivel de presa y considerando el caso de una eficiencia de conducción del Distrito de Riego ( $E_{CDR}$ ), lo cual, no es el caso, ya que esta varía a lo largo del año, para fines del ejemplo, la ecuación 2 se cambia a la forma siguiente:

$$NR_{DR} = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N [E_{Tr_{ijk}} - P_{e_{ijk}}] * S_j}{E_{a_j} E_{CDR}} \quad (3)$$

Si llamamos eficiencia global a nivel de presa ( $E_G$ ) al producto de las eficiencias de conducción del Distrito de riego ( $EC_{DR}$ ) y eficiencia de aplicación por cultivo ( $E_a$ ), tal y como se presenta a continuación:

$$E_G = E_a \cdot EC_{DR} \quad (4)$$

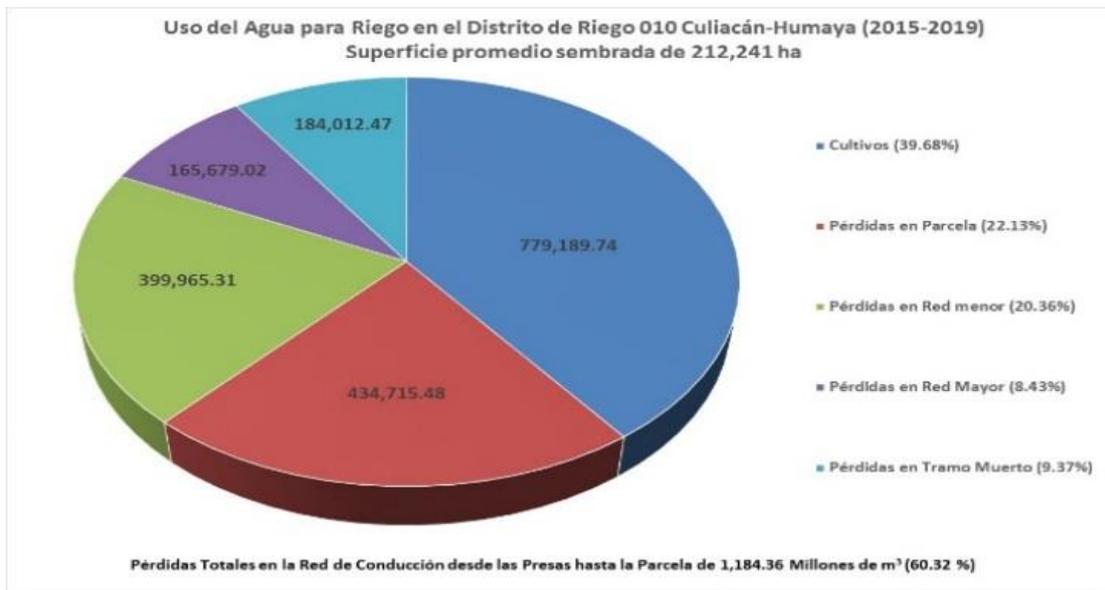
Entonces la ecuación 3 se convierte ahora a la forma:

$$NR_{DR} = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N [ETr_{ijk} - Pe_{ijk}] \cdot S_j}{E_G} \quad (5)$$

Y si las necesidades de Riego a nivel Distrito de Riego ( $NR_{DR}$ ) se igualan o se convierten en los Volúmenes Brutos para Riego agrícola en presa ( $VBR_P$ ) utilizados por el Distrito, la eficiencia global a nivel de Presa se puede estimar de la forma siguiente:

$$E_G = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N [ETr_{ijk} - Pe_{ijk}] \cdot S_j}{VBR_P} \quad (6)$$

El cual es un indicador que depende los volúmenes brutos de agua en bloque entregados a nivel de presa y el cálculo de los volúmenes requeridos por los cultivos con base a la superficie sembrada del Distrito de Riego y los volúmenes brutos se consideran como válidos al ser llevados por la CONAGUA en su control hidrométrico diario. De acuerdo con los datos del plan director del Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya, los volúmenes requeridos por los cultivos y perdidos en la red en promedio los últimos 5 años (2014-2019), para una superficie sembrada de 212,241 ha es la siguiente (figura 2):



**Figura 2.-** Volúmenes requeridos por los cultivos y perdidos en los diferentes niveles de conducción y de operación del Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya, Sinaloa. Fuente Plan Director del DR 010. (2019).



El volumen requerido corresponde a un total de 779.189 Millones de m<sup>3</sup>, El volumen total operado en presas promedio es de 1,963.562 Millones de m<sup>3</sup>. **CONAGUA, (2019)**. La eficiencia global (E<sub>G</sub>) considerando sólo el agua de presa se calcula a partir de la ecuación 6es del **39.68%**.

### Impacto del volumen de rescate

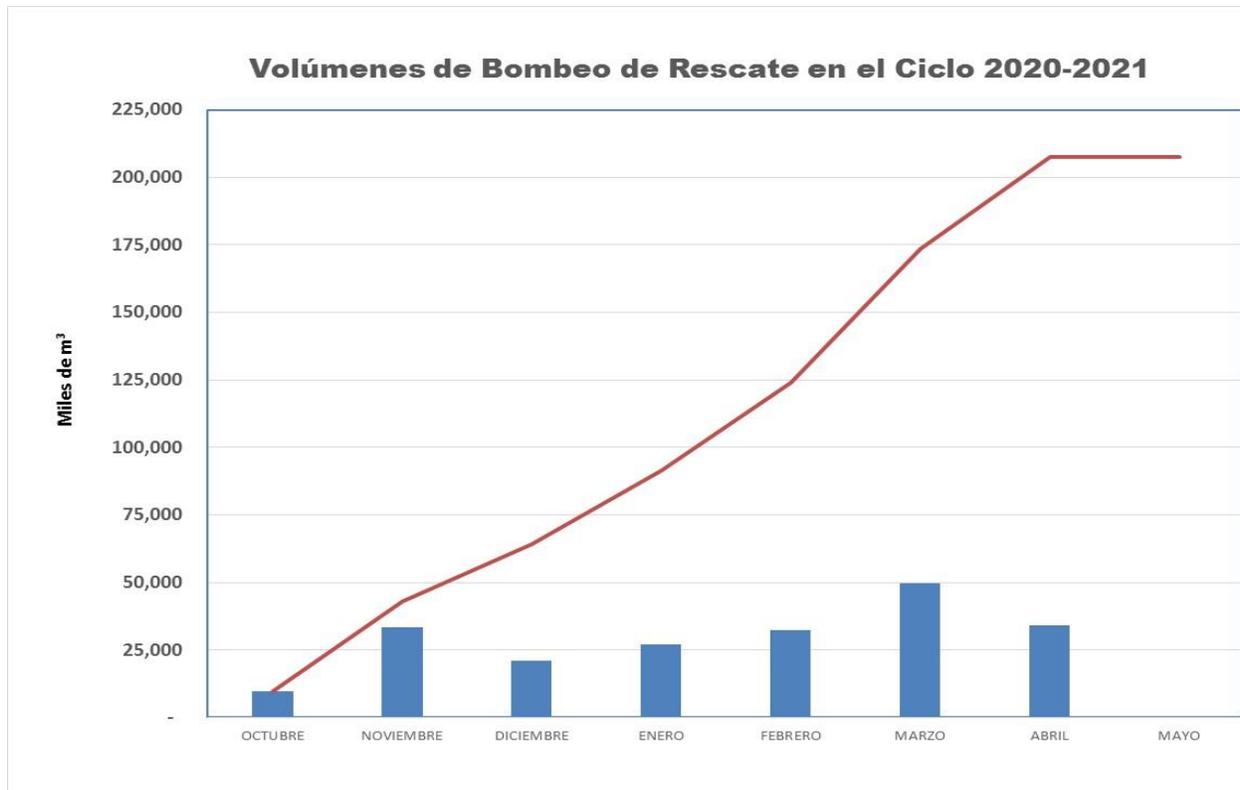
De acuerdo con los pozos y plantas de bombeo se activan para su uso desde el mes de noviembre hasta el mes de mayo de manera continua, disminuyendo su gasto en los meses de diciembre y enero. Este dato por sí solo representa un estimado de bombeo anual potencial del orden de **261 Millones de m<sup>3</sup> anuales** (considerando sólo 5 meses efectivos continuos) que descargan a la red menor y las parcelas.

Este dato ha sido corroborado con los volúmenes bombeados por Módulo de Riego y el reportados por el Banco de Agua del Distrito de Riego en el caso de los Pozos del DR 010, quien en promedio reporta un volumen bombeado por los pozos de 60 Millones de m<sup>3</sup>, por lo que el volumen sólo de reúso de las plantas de bombeo es del orden de los **200 Millones de m<sup>3</sup>**, el cual beneficia a un total de **25,896 ha** con un promedio de 7,723 m<sup>3</sup>/ha o una lámina neta de 77.23 cm de acuerdo con el plan director del distrito.

De acuerdo con los datos del último ciclo agrícola 2020-2021, el cual fue un año extraordinario por la sequía persistente en el último trienio, el volumen total bombeado fue de 207.39 millones de m<sup>3</sup> (Figura 3), de acuerdo con los datos de la Tabla 2.

**Tabla 2.-** Volúmenes de bombeo de recate de drenes y arroyos de los Módulos de Riego del Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya, Sinaloa durante el ciclo agrícola 2020-2021.

CICLO 20-21	OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE		ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO	
	VOL MES	VOL ACUM.	VOL MES	VOL ACUM.	VOL MES	VOL ACUM.	VOL MES	VOL ACUM.	VOL MES	VOL ACUM.	VOL MES	VOL ACUM.	VOL MES	VOL ACUM.	VOL MES	VOL ACUM.
I-1	235.90	235.90	328.15	564.05	725.32	1,289.37	910.28	2,199.65	695.80	2,895.45	3,980.16	6,875.61	4,050.12	10,925.73		10,925.7
I-2	380.05	380.05	198.15	578.20	795.13	1,373.33	1,315.20	2,688.53	990.10	3,678.63	4,320.19	7,998.82	4,110.08	12,108.90		12,108.9
I-3	1,310.82	1,310.82	1,890.12	3,200.94	2,315.19	5,516.13	1,915.25	7,431.38	1,855.32	9,286.70	7,081.08	16,367.78	7,415.18	23,782.96		23,783.0
I UNIDAD	1,926.77	1,926.77	2,416.42	4,343.19	3,835.64	8,178.83	4,140.73	12,319.56	3,541.22	15,860.78	15,381.43	31,242.21	15,575.38	46,817.59	-	46,817.6
II-1	1,691.20	1,691.20	2,347.10	4,038.30		4,038.30	1,504.90	5,543.20	2,649.80	8,193.00	2,566.70	10,759.70		10,759.70		10,759.7
II-2		-		-		-		-	7,464.00	7,464.00	4,662.00	12,126.00		12,126.00		12,126.0
II-3		-		-		-		-		-				-		-
II UNIDAD	1,691.20	1,691.20	2,347.10	4,038.30	-	4,038.30	1,504.90	5,543.20	10,113.80	15,657.00	7,228.70	22,885.70	-	22,885.70	-	22,885.7
SRL Culiacan	3,617.97	3,617.97	4,763.52	8,381.49	3,835.64	12,217.13	5,645.63	17,862.76	13,655.02	31,517.78	22,610.13	54,127.91	15,575.38	69,703.29	-	69,703.3
IV-1	571.39	571.39	3,393.70	3,965.09	5,078.20	9,043.29	7,599.00	16,642.29	3,273.00	19,915.29	4,818.60	24,733.89	4,810.50	29,544.39		29,544.4
IV-2	729.00	729.00	2,091.00	2,820.00	470.00	3,290.00	1,250.00	4,540.00	1,620.00	6,160.00	2,722.00	8,882.00	2,519.00	11,401.00	-	11,401.0
IV-3	380.20		1,049.80	1,049.80	1,292.50	2,342.30	1,083.50	3,425.80	1,006.60	4,432.40	1,741.00	6,173.40	1,879.20	8,052.60	-	8,052.6
IV-4	520.00	520.00	12,120.00	12,640.00	4,900.00	17,540.00	7,300.00	24,840.00	8,570.00	33,410.00	9,600.00	43,010.00	9,200.00	52,210.00		52,210.0
IV UNIDAD	2,200.59	1,820.39	18,654.50	20,474.89	11,740.70	32,215.59	17,232.50	49,448.09	14,469.60	63,917.69	18,881.60	82,799.29	18,408.70	101,207.99	-	101,208.0
V-1	1,502.68	1,502.68	2,286.52	3,789.20	2,245.02	6,034.22	19,244.77	7,958.99		7,958.99		7,958.99		7,958.99		7,958.0
V-2	2,388.31	2,388.31	7,633.58	10,021.89	3,334.61	13,356.50	2,366.71	15,723.21	4,372.09	20,095.30	8,045.35	28,140.65		28,140.65		28,140.6
V UNIDAD	3,890.99	3,890.99	9,920.10	13,811.09	5,579.63	19,390.72	4,291.48	23,682.20	4,372.09	28,054.29	8,045.35	36,099.64	-	36,099.64	-	36,099.6
SRL Humaya	6,091.58	5,711.38	28,574.60	34,285.98	17,320.33	51,606.31	21,523.98	73,130.29	18,841.69	91,971.98	26,926.95	118,898.93	18,408.70	137,307.63	-	137,307.6
TOTAL	9,709.55	9,329.35	33,338.12	42,667.47	21,155.97	63,823.44	27,169.61	90,993.05	32,496.71	123,489.76	49,537.08	173,026.84	33,984.08	207,010.92	-	207,010.9



**Figura 3-** Volúmenes de bombeo de recate de drenes y arroyos de los Módulos de Riego del Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya, Sinaloa durante el ciclo agrícola 2020-2021.

Así mismo, con la potencia instalada, se estima un consumo de energía de 29,885 MW-hr anual misma que es pagada con la cuota de riego de los productores considerando el apoyo de la tarifa 9M apoyo para riego agrícola. El costo anual de la energía eléctrica y su mantenimiento que incluye labores de instalación y desinstalación durante la temporada de riegos es de aproximadamente \$30 Millones de pesos, por lo que se estima un costo aproximado de 1 peso/kw-hr bombeado y un costo de \$144.65 pesos el millar de m<sup>3</sup> de bombeo, lo cual representa un cargo de \$1,117 pesos/ha de riego. Los Módulos de Riego cobran en promedio un monto de \$200 pesos/ha mismo que representa un 17.9% del costo de bombeo de rescate, por lo que se subsidia el servicio.

## Conclusiones

De acuerdo con el gráfico de la figura 2, si consideramos que el volumen bombeado no está dentro de la estadística oficial del Distrito, el volumen bruto en presa utilizado real, sería del orden de 2,170,952 millones de m<sup>3</sup>, por lo que, considerando el mismo volumen requerido de la superficie regable, aplicando la ecuación (6) la eficiencia global a nivel Distrito sería ahora de **35.89%**.

En una condición hipotética, el impacto del volumen bombeado de reúso para riego en la eficiencia global del Distrito es de **3.78** puntos. Este dato es importante de acuerdo con



las inversiones estimadas a nivel plan director, cada punto de incremento global de la eficiencia a nivel Distrito cuesta del orden de los **\$2,000 millones de pesos**.

Otros valores de impacto son la superficie y el número de usuarios beneficiados la cual es de 25,896 ha regadas considerando un volumen por hectárea a nivel de punto de control de 7,723 m<sup>3</sup>/ha, beneficiando a un total de 2,236 usuarios. Sí se considera, un promedio de rendimiento de 11 ton/ha en el caso del maíz blanco, se tiene entonces una producción de 284,856 toneladas adicionales, que con un precio medio rural de \$6,000 pesos por tonelada se obtiene un volumen de producción de **\$1,709.136 millones de pesos anuales**, una productividad del agua bombeada de **\$8.24/m<sup>3</sup>**.

### Referencias Bibliográficas

**CONAGUA, Gerencia de Distritos de Riego (2019).** *Estadísticas agrícolas de los Distritos de Riego en México Comisión Nacional del Agua 2002-2017*. México D.F.

**CONAGUA. Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya, Sinaloa. (2019).** Actualización del Plan Director para la Modernización Integral del Riego en el Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya, Sinaloa. LEME Constructores. Culiacán Sinaloa.

**Montiel G. M., Velázquez S. L.F. (2019)** *Análisis histórico de la eficiencia a nivel de punto de control del Módulo de riego iv-1 "Culiacancito" A.C.* Memorias del V CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMETII 2019. Mazatlán, Sinaloa.

**Moreno A. Sirio. Et al.** *Operación del Distrito de Riego 010 en condiciones de contingencia climática.* Memorias del XVI Congreso Nacional de Irrigación. Edición 1ra. Culiacán.