



## III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2017

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

### EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA OPERACIÓN Y PRODUCTIVIDAD DE MÓDULOS DE RIEGO

**Ernesto Sifuentes Ibarra<sup>1</sup>; Waldo Ojeda Bustamante<sup>2</sup>; Daniel Arturo Salinas Verduzco<sup>3</sup>;  
Mauro Iñiguez Covarrubias<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Estudiante de Doctorado en Ciencias y Tecnología del Agua (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua), Jiutepec, Morelos, México C.P. 62550 e investigador de INIFAP-Campo Experimental Valle del Fuerte, Juan José Ríos, Sinaloa, México C.P. 81110

ernesto.sifuentes@posgrado.imta.edu.mx; Tel. (777) 329-3600 Ext. 442 y (55) 3871-8700 Ext. 81512  
(\*Autor de correspondencia)

<sup>2</sup>Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P. 62550. México.

<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Sinaloa. C.U. Fuente de Poseidón y Ángel Flores s/n, Col. Jiquilpan Módulo B2, C.P. 81226, Los Mochis, Sinaloa.

#### Resumen

La evaluación del desempeño de la operación y productividad de los distritos y módulos de riego tiene como objetivo identificar áreas de mejora en los diferentes niveles de operación, desde la planeación hasta la conducción y entrega del agua en la parcela, de tal manera que los costos operativos se traduzcan en mejores ingresos para los usuarios. Sin embargo, esto no siempre sucede, ya que tradicionalmente este proceso se realiza solo con el análisis de estadísticas hidroagícolas de los propios módulos de riego, sin considerar información agronómica generada localmente, variabilidad climática ni herramientas tecnológicas de vanguardia, lo cual podrían ayudar no solo a mejorar la eficiencia del sistema de riego sino a tener una mejor planeación y seguimiento del patrón de cultivos mejorando la productividad y rentabilidad de estos. En el presente trabajo se realizó un análisis general del desempeño de la operación del ciclo agrícola otoño-invierno 2016/2017 del módulo de riego Santa Rosa del DR075 ubicado en el norte de Sinaloa. Se realizó un análisis de los siguientes indicadores: 1) almacenamiento histórico del sistema de presas, 2) entregas decenales de volúmenes a nivel puntos de control y toma-granja, 3) variación de eficiencias de conducción y 4) patrón del cultivos. Posteriormente se identificaron deficiencias y sus posibles causas-consecuencias y finalmente se recomendaron algunas acciones de mejora apoyadas con información agronómica y uso de tecnología de punta. Para cada índice se encontraron al menos dos áreas de mejora detectándose la urgencia de la incorporación de nuevas tecnologías.

**Palabras clave:** Índices de desempeño, variabilidad climática, manejo agronómico, reordenamiento.



## Introducción

Las grandes zonas de riego son y seguirán siendo las principales productoras de alimentos en el mundo para poder satisfacer la demanda de alimentos de una población en constante crecimiento. A pesar del incremento de la infraestructura hidroagrícola en las últimas décadas, los problemas de alimentación y pobreza se mantienen (Bos, Burton y Molden, 2005). En México más de 6 millones de ha son de riego, en su mayoría operadas por distritos de riego (DR) y asociaciones de usuarios (módulos); los más extensos y productivos se encuentran ubicados en la región noroeste en los estados de Sinaloa y Sonora, como es el caso del DR075 con casi 300,000 ha de riego y el mayor productor de maíz con rendimiento medio de 10.7 t ha<sup>-1</sup> y una producción mayor a los 3 millones de toneladas grano por año (SIAP, 2016).

No obstante lo anterior, la actividad agrícola de estas regiones (considerada como la principal actividad productiva), constantemente se ve amenazada por períodos de escasez de agua de riego y en los últimos años incrementos en la variabilidad climática afectando el desarrollo y productividad de los cultivos, haciéndose necesario tecnologías que permitan adaptar el manejo a los nuevos escenarios climáticos. Aunado a lo anterior, las bajas eficiencias de riego agudizan esta situación ya que en promedio se tienen eficiencias de aplicación globales a nivel módulo de 30 a 40% (Sifuentes et al., 2013).

Para poder afrontar estos nuevos escenarios es urgente en primer lugar evaluar el desempeño de la operación y productividad de distritos y módulos de riego, para identificar áreas de mejora en los diferentes niveles de operación, desde la planeación hasta la conducción y entrega del agua en la parcela, de tal manera que los costos operativos se traduzcan en mejores ingresos para los usuarios. Sin embargo, esto no siempre sucede ya que tradicionalmente este proceso se ha llevado a cabo solo con el análisis de estadísticas hidroagrícolas de los propios módulos de riego, sin considerar información agronómica generada localmente, variabilidad climática ni herramientas tecnológicas de vanguardia, lo cual podrían ayudar no solo a mejorar la eficiencia del sistema de riego sino a tener una mejor planeación y seguimiento del patrón de cultivos mejorando la productividad y rentabilidad de estos.

El objetivo del presente trabajo fue realizar un análisis general del desempeño de la operación del ciclo agrícola otoño-invierno 2016/2017 del módulo de riego Santa Rosa del DR075 ubicado en el norte de Sinaloa, considerando las siguientes variables: 1) almacenamiento histórico del sistema de presas, 2) entregas decenales de volúmenes a nivel puntos de control y toma-granja, 3) variación de eficiencias de conducción y 4) plan de riego. Con esta información se identificaron deficiencias y sus posibles causas-consecuencias y finalmente se recomendaron algunas acciones de mejora apoyadas con información agronómica y uso de nuevas tecnologías.



## Materiales y Métodos

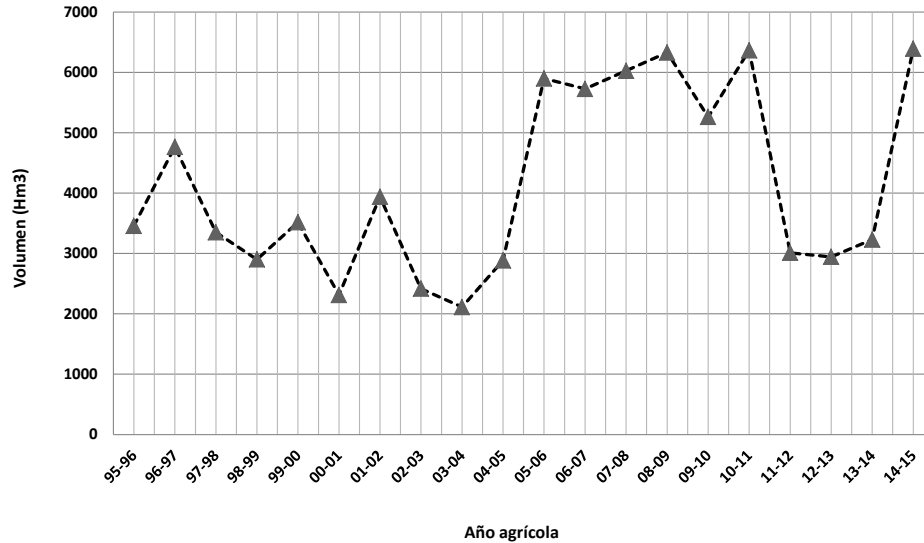
El estudio se realizó en el módulo de riego Santa Rosa perteneciente al distrito de riego 075 (valle del Fuerte) situado en las coordenadas 25° 45' N y -108° 51' W. Esta región recibe una precipitación anual de 352 mm, tiene una temperatura media anual de 25°C y una altitud de 15 msnm. El clima es cálido, seco estepario (tipo desértico) durante el verano con suelos predominantemente franco arcillosos. El módulo de riego Santa Rosa es el más extenso del DR-075 con una superficie de más de 33000 ha y 2911 usuarios, como se muestra en la Tabla 1

**Tabla 1.** Distribución de superficie de riego y usuarios por sección en el módulo de riego Santa Rosa, DR075. (INIFAP-IMTA, 2010)

Sección	Superficie regable (ha)			Usuarios		
	Ejidal	*PP	Total	Ejidal	*PP	Total
31	2760.67	199.98	2960.65	298	8	306
32	2450.49	298.96	2749.45	261	14	275
33	2083.39	0	2083.39	238	0	238
34	2443.91	514.09	2958	279	13	292
35	2167.6	924	3091.6	196	52	248
36	2719.16	540.56	3259.72	264	22	286
37	1478.28	0	1478.28	172	0	172
43	1116.64	2816.31	3932.95	115	102	217
44	1734.59	328	2062.59	208	10	218
45	1626.25	64	1690.25	173	2	175
46	928	2363.6	3291.6	117	73	190
47	2518.03	967.7	3485.73	254	40	294
<b>TOTAL</b>	<b>24027.01</b>	<b>9017.2</b>	<b>33044.21</b>	<b>2575</b>	<b>336</b>	<b>2911</b>

(\*) PP-pequeña propiedad

La agricultura de esta región depende de la disponibilidad de agua del sistema de presas, la cual históricamente ha sido muy variada con períodos de alta y baja disponibilidad, este último registrado del 2011 al 2014 (Figura 1) el cual afectó significativamente la economía de la zona dependiente de la agricultura.



**Figura 1.** Almacenamiento anual del sistema de presas del norte de Sinaloa, al 1º de octubre.  
Fuente: S de RL de IP y CV del DR-075 (2015)

La inestabilidad de los volúmenes disponibles hace necesario el uso de tecnologías que permitan estimar con anticipación los escurrimientos, para mejorar la elaboración de planes de riego. Para la evaluación de la operación y productividad del módulo se analizaron las estadísticas hidroagrícolas del ciclo otoño-invierno 2016/2017 contenidas en el sistema de pronóstico del riego en tiempo real (Spriter versión.3.0) desarrollado por el IMTA, cuya interfaz principal se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** Interfaz principal del sistema Spriter versión 3.0 utilizado en el módulo de riego Santa Rosa.

Las variables analizadas fueron: 1) entregas decenales de volúmenes a nivel puntos de control y toma-granja, 2) variación de eficiencias de conducción y 3) plan de riegos. Después de lo anterior se identificaron deficiencias y sus posibles causas-consecuencias de cada índice y finalmente se recomendaron algunas acciones de

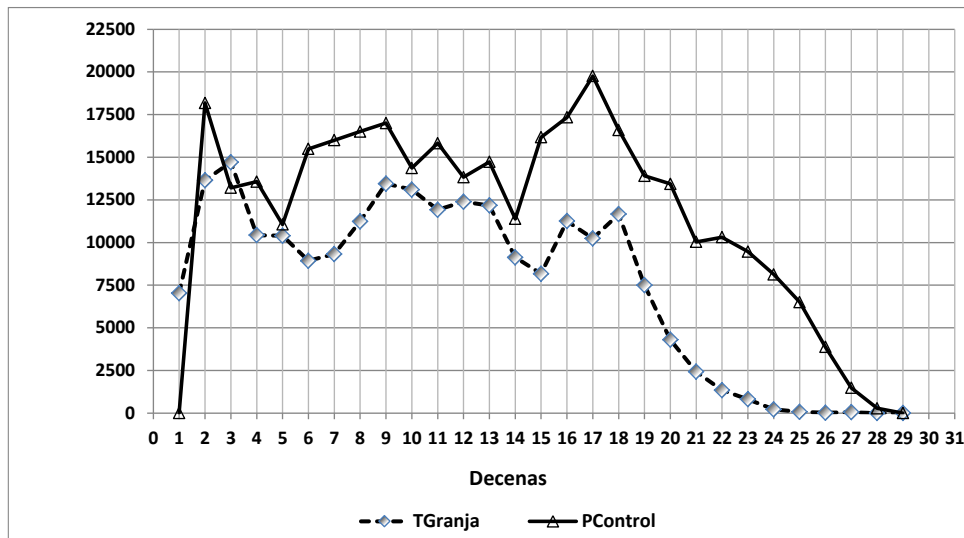


mejora basadas en información agronómica y uso de nuevas tecnologías como uso de modelos de crecimiento e imágenes de alta resolución.

## Resultados y discusión

### Entrega decenal de volúmenes a nivel puntos de control (PC) y toma-granja (TG)

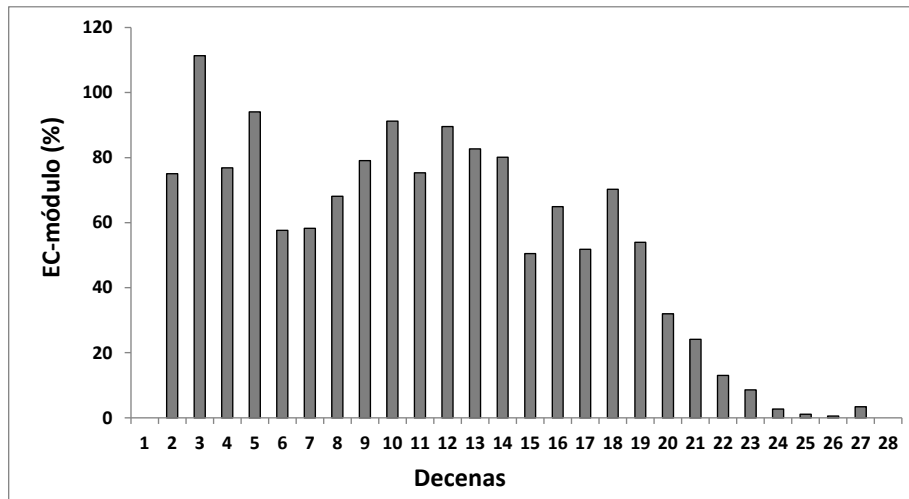
En esta variable se observaron algunas discrepancias en el comportamiento entre los volúmenes decenales reportados a nivel punto de control y de toma-granja (Figura 3). De la segunda a la tercera decena se notan valores similares entre los dos niveles de entrega, lo mismo sucede de la 9 a la 14. En la decena 17 se observa una separación muy grande (pico) lo cual representa una muy baja eficiencia en la conducción, la cual se mantiene hasta la decena 25. Lo anterior refleja una mala operación de la distribución y entrega de agua y se deben buscar las principales causas que la están generando.



**Figura 3.** Comparación de volúmenes entregados por decena a nivel puntos de control y toma-granja en el módulo Santa Rosa del DR-075, ciclo OI 2016/2017

### Variación de eficiencias de conducción

La variación decenal de las eficiencias de conducción se muestra en la Figura 4. Es evidente observar períodos que reflejan una deficiente operación de la red de distribución debida a diversas causas que se tiene que identificar. Existen valores anormales de eficiencias superiores a 100% o demasiado bajos menores a 20%, que representan alertas en la operación. La eficiencia promedio estimada con los registros del ciclo fue de 54.5%.



**Figura 4.** Variación de eficiencias de conducción por decena en el módulo Santa Rosa del DR-075, ciclo OI 2016/2017

## Plan de riegos

Un resumen del manejo del plan de riegos se presenta en la Tabla 2, se encontraron diversos aspectos que podrían estar repercutiendo en la baja eficiencia de riego y productividad agrícola, entre las que se destacan:

- La superficie sembrada de frijol fue mayor 1617.3 ha con respecto a la programada, lo cual representa un incremento del 49%.
- La superficie sembrada de garbanzo fue mayor 290.1 ha con respecto a la programada, lo cual representa un incremento del 48.3%.
- La superficie sembrada de maíz se redujo en 868.2 ha con respecto a la programada, lo cual representa una disminución del 5.1%.
- El maíz sigue siendo el cultivo más importante con 16131.8 ha establecidas, es decir 55% de la superficie total.
- La superficie sembrada de papa fue mayor 920.5 ha con respecto a la programada, lo cual representa un incremento del 19.2%.
- El volumen servido fue mayor 55639 m<sup>3</sup> con respecto al programado, lo cual representa un incremento de 30%.



**Tabla 2.** Comparación de superficie programada vs. sembrada y volumen programado vs. servido en el módulo de riego Santa Rosa, DR-075, ciclo OI 2016/2017

Cultivo	Superficie (ha)				Volumen (mM3)	
	Programada	Autorizada	Sembrada	Dif.	Programado	Servido
Calabaza	200.0	228.0	41.3	-158.7	1140.0	205.1
Cebolla	200.0	181.0	92.3	-107.7	1357.5	549.1
Chile verde	400.0	349.4	476.2	76.2	4367.4	2773.4
<b>Frijol</b>	<b>3300.0</b>	<b>5277.9</b>	<b>4917.3</b>	<b>1617.3</b>	<b>22167.2</b>	<b>24470.1</b>
<b>Garbanzo</b>	<b>600.0</b>	<b>43.7</b>	<b>890.1</b>	<b>290.1</b>	<b>105.0</b>	<b>2462.8</b>
<b>Maíz</b>	<b>17000.0</b>	<b>15331.1</b>	<b>16131.8</b>	<b>-868.2</b>	<b>113449.8</b>	<b>163966.4</b>
Otras hortalizas	130.0	154.3	115.9	-14.1	926.0	613.6
<b>Papa</b>	<b>4800.0</b>	<b>4436.0</b>	<b>5720.5</b>	<b>920.5</b>	<b>32382.9</b>	<b>34679.3</b>
Pepino	60.0	48.1	249.3	189.3	259.5	945.9
Sorgo	50.0	50.0	57.5	7.5	370.0	447.7
Tomate	300.0	212.1	270.9	-29.2	1229.9	2007.2
Tomatillo	350.0	366.0	501.4	151.4	2122.8	2396.8
Trigo	20.0	0.0	0.0	-20.0	0.0	0.0
Zempoalxochitl	2.0	0.0	0.0	-2.0	0.0	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>27412.0</b>	<b>26677.6</b>	<b>29464.5</b>	<b>-734.4</b>	<b>179878.0</b>	<b>235517.2</b>

### Diagnóstico y propuesta de mejora

En la Tabla 3 se presenta un resumen de la evaluación del módulo de riego, en cada variable analizada se detectaron al menos dos problemas que afectan la operación del módulo y ponen en riesgo la productividad de los cultivos. Es urgente la implantación de tecnologías que ayuden a tener una mejor planeación a partir de la estimación probable de la disponibilidad de agua en presa, nuevas tecnologías para una mejor supervisión y seguimiento del plan de riegos como el pronóstico climático a corto plazo, modelación de cultivos y el uso de imágenes de alta resolución.

**Tabla 3.** Problemas observados por variable analizada y propuesta de mejora para el módulo de riego Santa Rosa, DR-075, ciclo OI 2016/2017

Variable	Problema observado	Causa-efecto	Propuesta de mejora
Almacenamiento de agua en presa	Periodos recurrentes de baja disponibilidad	La variabilidad en la disponibilidad hídrica está asociada a la variabilidad climática poniendo en riesgo la actividad agrícola de la región	Tecnologías para la estimación de almacenamientos y elaboración de plan de riegos.
	Variabilidad en la disponibilidad de agua		
Entrega de volúmenes decenales a nivel PC y TG	Volúmenes similares en los dos niveles en algunos periodos	Deficiencia en la medición y registros de aforos, deficiente planeación y supervisión decenales.	Implementar sistemas de medición con tecnología de vanguardia, certificación de supervisores de
	Alta variabilidad en la relación PC-TG durante		



Variable	Problema observado	Causa-efecto	Propuesta de mejora
	todo el ciclo agrícola	Lo anterior genera bajas eficiencias modulares,	riego, capacitación a productores, uso de imágenes de satélite
Eficiencias de conducción	Eficiencias cercanas o mayores a 100% al inicio del ciclo	Deficiente planeación y supervisión decenales. Lo anterior genera bajas eficiencias modulares,	Implementar sistemas de medición con tecnología de vanguardia, certificación de supervisores de riego, capacitación a productores
	Eficiencias muy bajas a la mitad (55%) y al final del ciclo (<20%)		
	Alta variación en la eficiencia de conducción		
Plan de riegos	Incremento de 1617.3 ha sembradas de frijol con respecto a las programada	El productor busca buen precio de comercialización. El exceso de superficie puede generar escasez de semilla de buena calidad incrementando la susceptibilidad a plagas y enfermedades. La alta sensibilidad del cultivo a altas temperaturas podría reducir el rendimiento.	Pronóstico climático a corto plazo (3 a 6 meses), modelación biológica, ajuste de paquetes tecnológicos, uso de imágenes de satélite.
	El maíz sigue siendo el cultivo más importante con el 55% de la superficie sembrada (16131.8 ha)	Los subsidios recibidos motivan su siembra. La alta demanda de insumos provoca incremento de costos. El monocultivo genera problemas de enfermedades. La alta sensibilidad del cultivo a altas temperaturas podría reducir el rendimiento	Pronóstico climático a corto plazo (3 a 6 meses), modelación biológica, ajuste de paquetes tecnológicos, imágenes de satélite
	La superficie sembrada de papa fue mayor 920.5 ha con respecto a la programada (incremento del 19.2%)	La rentabilidad del cultivo sigue siendo atractiva para el productor. El cultivo es altamente sensible al clima, riego y nutrición	Pronóstico climático a corto plazo (3 a 6 meses), modelación biológica, ajuste de paquetes tecnológicos, monitoreo del cultivo con imágenes de alta resolución
	El volumen servido fue mayor 55639 m <sup>3</sup> con respecto al programado, (incremento de 30%)	Incremento en la superficie sembrada y deficiente operación. En periodos de baja disponibilidad estas prácticas ponen en riesgo la actividad agrícola.	Implementar sistemas de medición con tecnología de vanguardia, certificación de supervisores de riego, capacitación a productores





## Conclusiones

Para cada variable se encontraron al menos dos áreas de mejora, es urgente la implantación de tecnologías que ayuden a tener una mejor elaboración de planes de riego a partir de la estimación probable de la disponibilidad de agua en presa, nuevas tecnologías como el uso de imágenes de alta resolución y modelación de cultivos de para una mejor supervisión y seguimiento del plan de riegos así como el pronóstico climático a corto plazo. Es indispensable el ajuste de paquetes tecnológicos de los cultivos considerando la variabilidad climática.

## Referencias bibliográficas

Bos M.G., Burton M.A. y Molden D.J. 2005. Irrigation and drainage performance assessment: practical guidelines. 1a. edición. Cabi Publishing. Cambridge, USA. 158pp.

Rivera H.JC. 2010. La gestión de módulos de riego en el DR-075. En memorias: "Jornada sobre impacto y adaptación al cambio climático de la agricultura del estado de Sinaloa". INIFAP-IMTA. Los Mochis, Sinaloa. Marzo de 2010.

SIAP (2016). Estadística. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap>. Fecha de consulta 01/10/2017.

Sifuentes I.E., Macías C.J., Ojeda B.W., Soto F.J., Mendoza P.C. 2013. Estrategia integral para el uso eficiente del agua en módulos de riego del distrito 075, Río Fuerte, Sinaloa. Memorias del XVII Congreso Nacional de Irrigación ANEI 2013. NUS045. Puerto Vallarta, Jalisco, México. 1-8pp.