



Quinto
Congreso Nacional
de Riego y Drenaje
COMEII-AURPAES 2019

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



AURPAES, S.C.

Artículo: COMEII-19035

Mazatlán, Sin., del 18 al 20

de septiembre de 2019

ANÁLISIS HISTÓRICO DE LA EFICIENCIA A NIVEL DE PUNTO DE CONTROL DEL MÓDULO DE RIEGO IV-1 “CULIACANCITO” A.C.

Mario Alberto Montiel Gutiérrez^{1*}; Luis Fernando Velázquez Serrano²;

¹Tecnólogo del Agua de la 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

²Presidente del Consejo de Administración de la AUPA Módulo IV-1 “Culiacancito” A.C. Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya, Sinaloa. Carretera Culiacán-Vitaruto Km 8 Estación Rosales, Culiacán, Sinaloa. luisfvelazquez@gmail.com

Resumen

Se presenta un análisis inédito del funcionamiento operativo de una Asociación de Usuarios de Riego desde el año 1995 hasta el ciclo agrícola 2019. El estudio consistió en el cálculo de la eficiencia global histórica del Módulo de Riego a nivel de punto de control, la cual considera implícitamente el producto de las eficiencias de conducción de red menor y la eficiencia de aplicación del Módulo de Riego. Debido a que no existen datos reales de estas variables, situación que no es ajena a muchos Módulos de Riego del país al no existir medición en las parcelas, es una limitante para calcular eficiencias de riego reales de riego. Ante esta situación se utilizó un procedimiento de análisis y obtención de la eficiencia a través de la relación entre los volúmenes brutos de agua en bloque entregados por la SRL Humaya a nivel de punto de control y el cálculo de los volúmenes requeridos por los cultivos con base a la superficie sembrada, la cual sí está bien registrada en los archivos del Módulo de Riego. Para el cálculo de los requerimientos de riego se utilizó el software CROPWAT 8.0 de la FAO. Un dato adicional al análisis es que desde el año 2010 el Módulo de Riego inició con un programa de recuperación de volúmenes de reúso mediante plantas de bombeo lo cual ha permitido sembrar mayor superficie de riego, mejorar el servicio de riego y por la tanto la operación del sistema. La eficiencia promedio a nivel punto de control fue del 42.07%, encontrándose un incremento de **5.8 puntos** porcentuales en promedio desde el año 2010 esto debido a acciones de supervisión y control de la operación y a las obras de modernización del Módulo. Cuando no se considera el volumen de bombeo de reúso, este incremento sube a **14.59 puntos**. Se estiman ahorros y recuperación de volúmenes para riego del orden de 25.35 hm³ de las cuales 18.96 son de bombeo de reúso y 6.17 son por el impacto de la modernización. Se presenta un análisis utilizando cuadros y gráficos de resultados, así como una breve descripción de los mismos.

Palabras claves: Eficiencias en punto de control de módulos de riego, Ahorros de agua

Introducción

El Módulo de Riego IV-1 “Culiacancito”, se encuentra localizado al Poniente de la Cd. de Culiacán, en parte de los Municipios de Culiacán y Navolato en el Estado de Sinaloa, en el área de influencia de la IV Unidad, del Distrito de Riego No. 010 Culiacán-Humaya, Sinaloa. Cuenta con una superficie física total de 15,863.02 ha, de las cuales son irrigadas 15,355.28 ha, de estas 8,913.85 pertenecen a 1,215 usuarios del sector social, que en promedio explotan una superficie de 7.33 ha por usuario; el resto de la superficie (6,441.43 ha) son de 413 productores del sector particular, que individualmente poseen en promedio 15.59 ha. En general a nivel de Módulo de riego la superficie media por usuario es 9.43 ha. Cuenta con 7 secciones de riego y tiene una proporción en cuanto a la distribución de la tierra por sector, del 58.05 % para el ejidal y el restante 41.95 % para el particular.

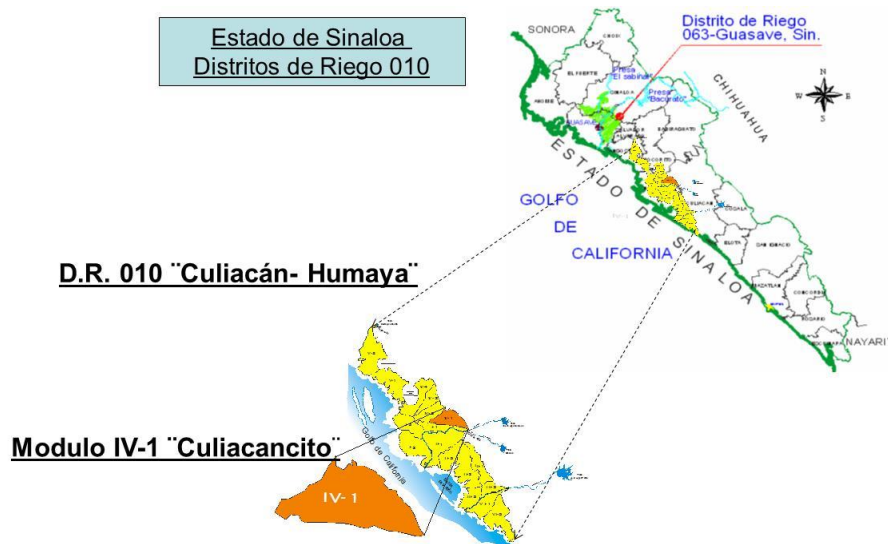


Figura 1. Módulo de Riego IV-1 “Culiacancito”. A.C dentro del Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya, Sinaloa.

Este Módulo de Riego, es el primero en utilizar las aguas de riego que conduce el Canal Principal Humaya a partir del km. 23+100, al término del tramo muerto (23.100 km.) que tiene este entre la Presa Derivadora Andrew Weiss y la zona de riego del Sistema Humaya. Cuenta con una Red General de Canales de 157.925 km. Los suelos de los productores de este Módulo de Riego, son de primera y de segunda clase (14,288.55 ha.) según la clasificación interpretativa de tierras con fines de riego; y sus principales factores de demerito son su textura (contenidos de arcilla cercanos al 60 %) y su profundidad (espesor de 1.00 a 0.50 m.); su topografía, con pendientes de ligeras a fuertes (del 2 al 4 %) y su relieve que va de ligera a moderadamente ondulado. Además, de su permeabilidad moderadamente lenta.

El presente estudio data sobre la eficiencia del Módulo de Riego IV-1 “Culiacancito” a nivel de su punto de control, la cual considera implícitamente el producto de las eficiencias de conducción de red menor y la eficiencia de aplicación del Módulo de Riego, aunque

sin cuantificarlas, debido a que no existen valores reales medidos del volumen neto en las tomas parcelarias, (los datos que existen fueron fabricados a partir de láminas de riego ficticias). Esta situación no es ajena a muchos Módulos de Riego del país al no existir medición en las parcelas, por lo que es una limitante para calcular eficiencias de riego reales de riego. A continuación, se presentan los procedimientos de cálculo para el análisis obtenido.

Volúmenes brutos en punto de control

A continuación, el gráfico de la Figura 2, muestra los volúmenes brutos para uso agrícola (presa y bombeo de reúso) operados en punto de control del Módulo de Riego.

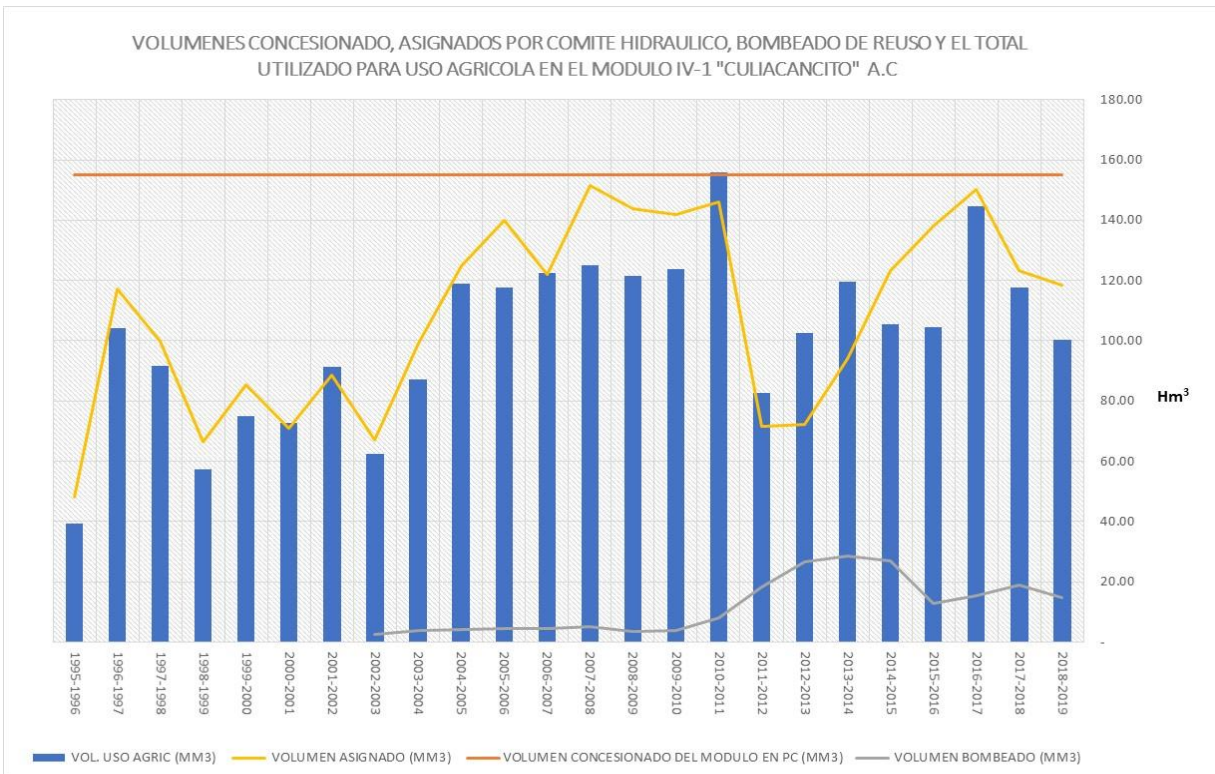


Figura 2. Volumen concesionado, asignados por Comité Hidráulico y utilizados para uso agrícola en el Módulo IV-1 “Culiacancito”, en el Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya, Sinaloa-

Estos volúmenes son los autorizados por el Comité Hidráulico y son medidos y entregados por la S de RL del Sistema Humaya-Mocorito, para la operación del Módulo. Cabe mencionar que desde el año 2016, el Módulo de Riego y la SRL instalaron con el apoyo de CONAGUA, compuertas automatizadas para el mejor control hidrométrico de los canales laterales km 37+320 y km 26+540 del Canal Principal Humaya, por donde se aporta más del 75% del volumen bruto del Módulo (Montiel, 2018). En el gráfico anterior puede apreciarse que el Módulo nunca ha sobrepasado su volumen concesionado y se ajusta en su mayor parte al volumen autorizado.

Cultivos y superficie sembrada.

A pesar de que en varios de los distritos de riego de nuestro país, el dato de la superficie sembrada es un dato poco confiable, en los Módulos de Riego, que tienden al monocultivo, sin segundos cultivos y con problemas de disponibilidad de agua como lo es el caso del Módulo IV-1, el dato de la superficie sembrada es un dato que tiende a ser confiable ya que la cédula de cultivos se adapta para sembrarse al 100% de la superficie total o cercana a éste dato en la mayoría de los ciclos agrícolas. Esto se logra aumentando los cultivos de baja demanda como frijol, garbanzo y sorgo.

Además, cuando la directiva informa con transparencia y objetividad la información hidroagrícola, son los propios usuarios quienes se supervisan entre ellos, ya que el que no siembra es un dato detectable, así como el cultivo sembrado y pagado registrado con el Sistema de Información Geográfico (SIG) del Módulo de Riego. Otro dato adicional, es el número de riegos autorizado por cultivo (equivalente el volumen neto) el cual varía desde 2 riegos para frijol, 4 para maíz y 6 para frutales y forrajes). En el Módulo IV-1, las hectáreas riego son reportadas semanalmente, lo cual con la superficie sembrada se tiene el número de riegos por cultivo, ya sea para cada parcela, sección o a nivel Módulo de Riego. Hacia a finales de los años 90's y a principios del milenio, se sembraban en el Módulo de Riego, cultivos de baja demanda como frijol, garbanzo y sorgo y el maíz era un cultivo secundario sin demanda. Sin embargo, por problemas de precio y comercialización, la tendencia a partir del año 2005 a la fecha, fue de sembrar maíz blanco y en el Módulo se estableció en superficie promedio de alrededor de 10,000 ha, dependiendo del volumen de agua, tal y como se observa en la Figura 3.

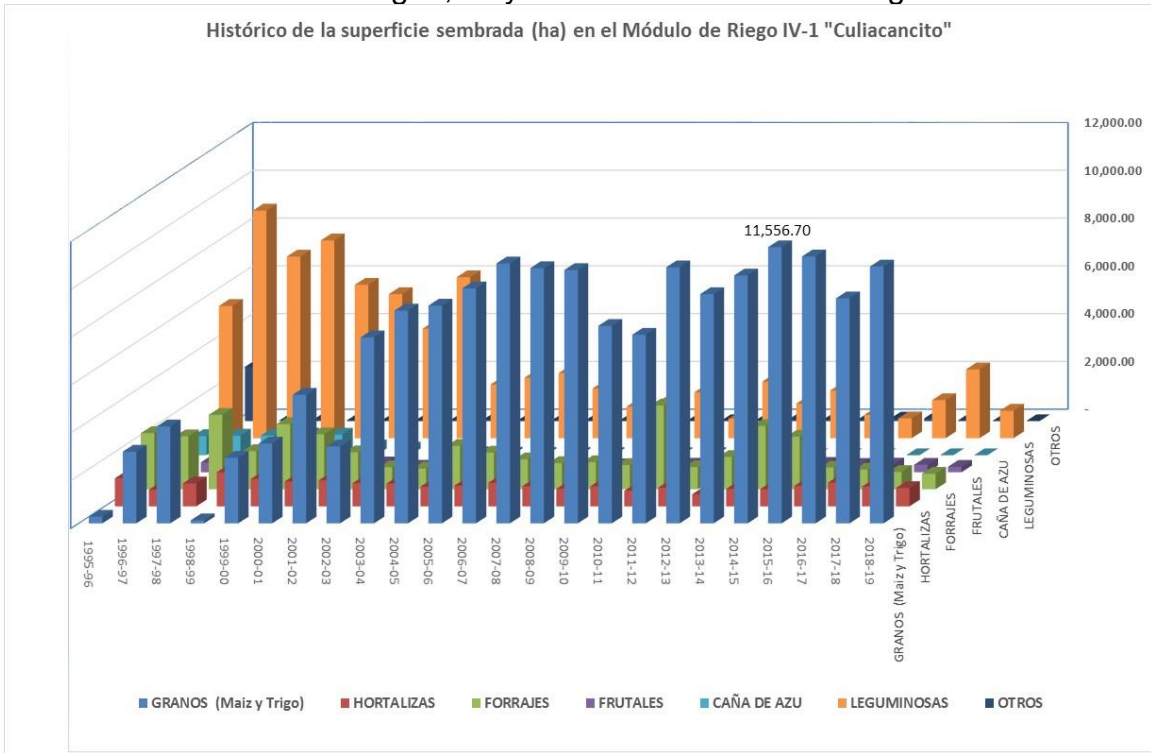


Figura 3. Cédulas de cultivos y superficies sembradas en el Módulo de Riego IV-1 “Culiacancito”, Sinaloa.

La Figura 4 muestra el promedio de la superficie sembrada en los 23 ciclos estudiados que es de 14,150 ha sembradas, en donde además del maíz, se puede decir que los cultivos de baja demanda se redujeron alrededor de unas 3,000 ha, frutales y forrajes alrededor de otras 1,000 ha y hortalizas en un total de 1,000 ha, sembrándose muy pocos cultivos de primavera verano con alrededor de 500 ha por año. Esta superficie ha tenido variaciones anuales y se utilizó como parámetro para estimar los requerimientos de riego de los cultivos, utilizando las fechas de siembra y ciclos fenológicos de la región, así como los datos climáticos de lluvia para la ciudad de Culiacán de los últimos 25 años.

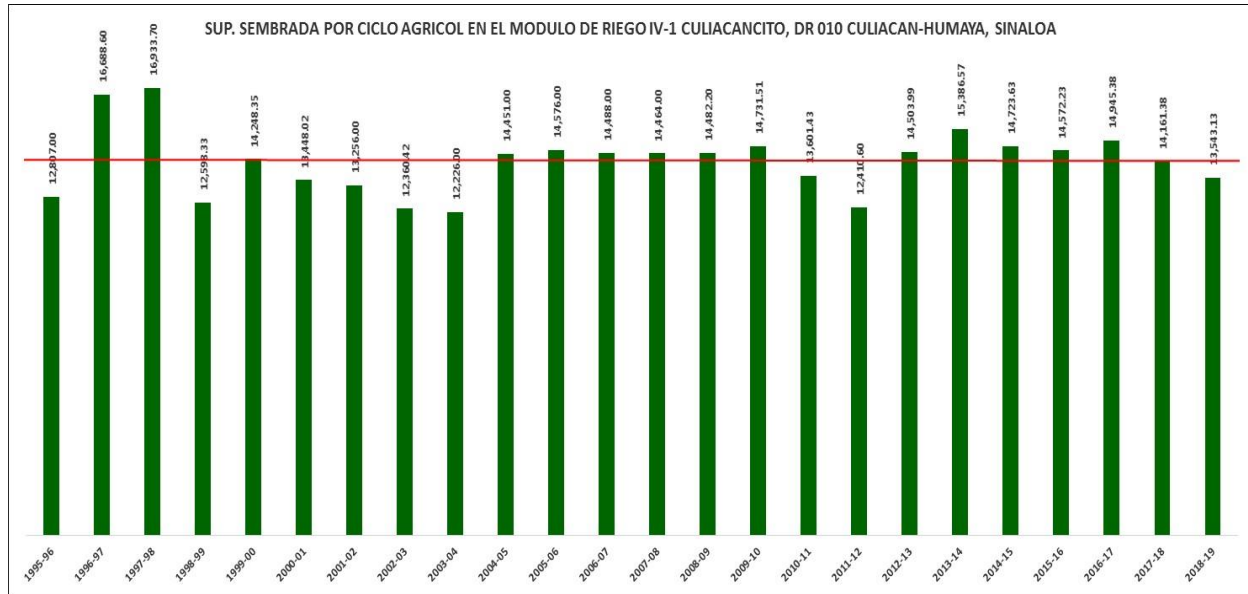


Figura 4. Superficie sembrada por ciclo agrícola en el Módulo de Riego IV-1 “Culiacancito”, Sinaloa.

Requerimientos de riego de los cultivos

Partiendo de un balance de humedad en la zona radical de las plantas, se puede demostrar que las necesidades de riego netas (NR_n) 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. En algunas ocasiones, será necesario calcular necesidades de riego en términos de volumen, por lo que es necesario considerar la superficie sembrada en hectáreas (S) del cultivo.

$$NR_n = \sum_{i=1}^N [E_{tr_i} - P_{e_i}] * S \quad (1)$$

Donde N es el número de días del ciclo vegetativo del cultivo. El volumen neto a nivel de toma parcelaria se calcula directamente al dividir la ecuación anterior entre la eficiencia de aplicación (E_a) del sistema de riego:

$$NR_b = \frac{\sum_{i=1}^N [Etr_i - Pe_i] * S}{Ea} \quad (2)$$

Requerimientos de riego en una Zona de Riego.

Para el caso del cálculo de Necesidades de Riego en un grupo de parcelas, el procedimiento es más complicado, ya que pueden existir diferentes cultivos, estos a su vez en diferentes etapas de desarrollo, también diferentes tipos de suelos, y superficies. Sin embargo, con la ayuda de las bases de datos y una programación adecuada, el cálculo puede simplificarse. De manera que, 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:

$$NR_b = \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N [Etr_i - Pe_i] * S_j}{Ea_j} \quad (3)$$

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)
- Ea La eficiencia de aplicación según el sistema de riego de la parcela. (dec)

Cuando se consideran todos los K ésimos cultivos existentes en la zona de riego, la ecuación se convierte a la forma:

$$NR_{PC} = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N [ETr_{ijk} - Pe_{ijk}] * S_j}{Ea_j} \quad (4)$$

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, Módulo, Sección o Grupo de parcelas considerado. En el caso de existir un ciclo empezado, de igual manera que en el caso anterior, el contador j , nada más se inicia para cada parcela, desde el (i) *ésimo* día que va del ciclo y se acumulan las necesidades de riego brutas de igual forma, utilizando la ecuación anterior.

Cuando se considera la eficiencia de conducción de red menor en los canales del Módulo, estas necesidades de riego se proyectan a nivel de punto de control y considerando el

caso de una eficiencia de conducción constante del Módulo de Riego (E_{cm}), lo cual, no es el caso, ya que esta varía a lo largo del año, para fines del ejemplo, la ecuación 4 se cambia a la forma siguiente:

$$NR_{PC} = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N [ETr_{ijk} - Pe_{ijk}] * S_j}{Ea_j E_{cm}} \quad (5)$$

Si llamamos Eficiencia a Nivel de Punto de Control de Módulo (E_{PC}) al producto de las eficiencias de conducción del módulo de riego (E_{cm}) y eficiencia de aplicación por cultivo (E_a), tal y como se presenta a continuación:

$$E_{PC} = Ea_j E_{cm} \quad (6)$$

Entonces la ecuación 5 se convierte ahora a la forma:

$$NR_{PC} = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N [ETr_{ijk} - Pe_{ijk}] * S_j}{E_{PC}} \quad (7)$$

Y si las necesidades de Riego en Punto de Control se igualan o se convierten en los Volúmenes Brutos para Riego agrícola en punto de control (VBR_{PC}) utilizados por el Módulo, la eficiencia a nivel de Punto de Control del Módulo se puede estimar de la forma siguiente:

$$E_{PC} = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N [ETr_{ijk} - Pe_{ijk}] * S_j}{VBR_{PC}} \quad (8)$$

El cual es un indicador que depende los volúmenes brutos de agua en bloque entregados a nivel de punto de control (**volúmenes de presa sumados con los volúmenes de bombeo de reúso**) y el cálculo de los volúmenes requeridos por los cultivos con base a la superficie sembrada la cual sí está bien registrada en los archivos del Módulo de Riego y los volúmenes brutos se consideran como válidos al ser consensuados en la entrega recepción del Módulos en sus puntos de control. Entonces, de acuerdo con la ecuación 8 anterior, el parámetro para determinar la Eficiencia del Módulo a nivel de Punto de Control (E_{PC}), depende principalmente de los volúmenes requeridos con CROPWAT para cada una de las cédulas de cultivo por ciclo agrícola estudiado. A continuación, se presenta el procedimiento de cálculo de los volúmenes requeridos de los cultivos.

Estimación de los volúmenes requeridos de los cultivos

El estudio se dirigió hacia un análisis de las necesidades de riego de estos cultivos considerando la información climatológica que proporcionan las estaciones agrometeorológicas existentes en la región, el promedio de la temperatura, radiación solar y velocidad del viento, así como la lluvia real presentada de los últimos 25 años de observaciones. Para el análisis se utilizó el software CROPWAT 8.0 de la FAO, (Clarke,

1998), el cual está diseñando para el cálculo de necesidades hídricas de los cultivos y la programación de riegos con base en información climática, de los cultivos y de los suelos de la región. Para la información de las etapas fenológicas de los cultivos se utilizaron los Manuales 24 y 33 de la FAO correspondientes a las necesidades de agua de los cultivos, además de los coeficientes de cultivos y ciclos vegetativos validados con datos de estudios de RIGRAT (riego por gravedad tecnificado) que está operando en el Distrito de riego (Montiel et al, 2018; Velázquez et al, 2016).

Para el cultivo principal en este caso maíz blanco, se utilizaron las bases de datos del Sistema de Captura de Información del Módulo de Riego, el cual estimó la variación de las fechas de siembra desde el 25 de octubre hasta el 15 de enero y desde el 15 de octubre hasta el 30 de noviembre para el cultivo de frijol, los cuales son los intervalos de fechas de siembra que utilizan los agricultores de la región se calcularon el número y los intervalos de riego necesarios para cada cultivo.

El sistema computacional CropWat 8.0 (figura 5), desarrollado el sistema operativo Windows XP por la FAO, estima los requerimientos de riego de los cultivos con fines de planeación de zonas de riego. Dicho sistema ha sido referente para el cálculo de requerimientos de riego de zonas de riego. Los cálculos se basan en la estimación de la evapotranspiración potencial de los cultivos a partir de la evapotranspiración de referencia calculada por el método de Penman-Monteith con datos climáticos diarios mensuales. Esta estimación es utilizada para calcular los requerimientos de riego de los cultivos, usada posteriormente para la programación del riego de acuerdo a un plan de cultivos de una zona de riego (Ojeda et al., 2010; De León y Robles, 2010).

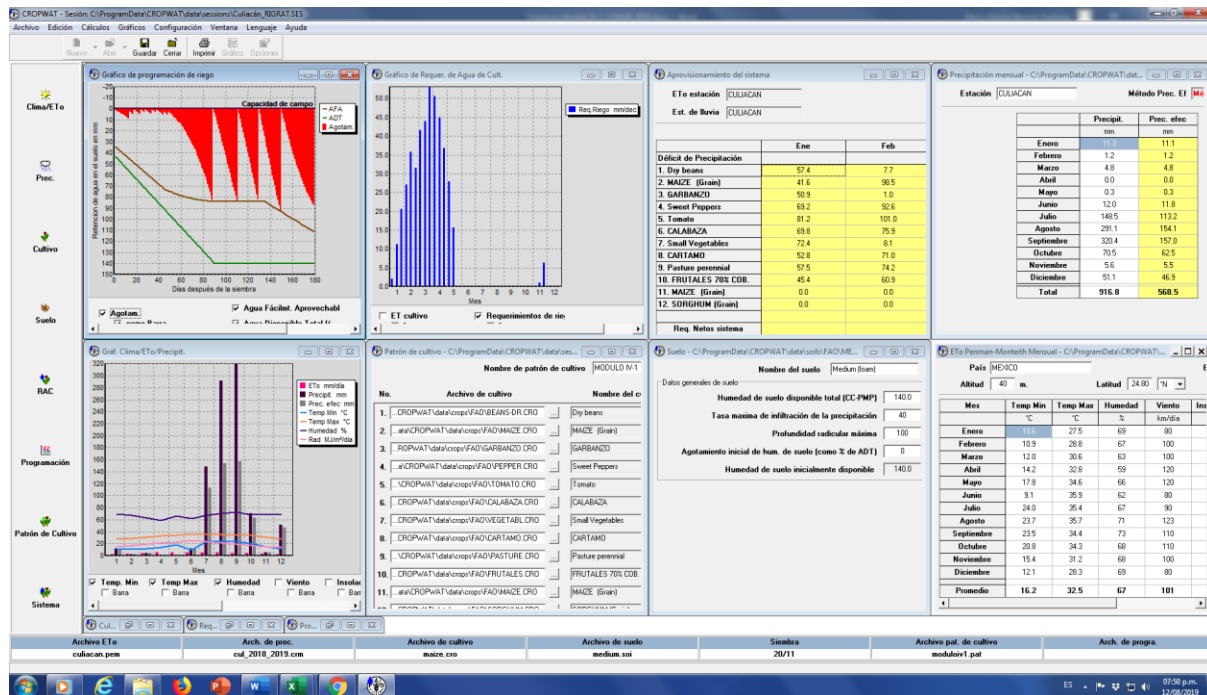


Figura 5. Uso del programa CROPWAT 8.0 para estimar los requerimientos de riego de los cultivos del Módulo IV-1 “Culiacancito”.



Con fines de calcular las demandas de agua de los cultivos para riegos en intervalos diarios, los valores diarios de la precipitación total efectiva (Pe) se determinaron presumiendo una distribución lineal, a cada fin de mes de los totales mensuales correspondientes de la precipitación pluvial (P_p). Los valores diarios de la ETo y ETp se calcularon en base de sus valores promedio mensuales, usando un ajuste a una curva polinomial. Para calcular la precipitación pluvial efectiva (Pe), se utilizó el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América (US-SCS) usando el promedio de los datos mensuales locales de precipitación total para los años 1995 a 2019, para el Observatorio de la estación Culiacán del Sistema Meteorológico Nacional (SNM) instalado en la zona de influencia del DR 010 Culiacán-Humaya, Sinaloa. Este dato se contrastó con datos de la estación de CONAGUA en la zona.

Una vez que se han definido los datos del clima, suelo y cultivos, se pueden estimar los requerimientos de riego de acuerdo al plan de cultivos definido. Para tal efecto el sistema permite realizar cálculos de cédulas de cultivo con base a los porcentajes de superficie sembrada por cultivo. Para el ejemplo del Módulo IV-1 el Cuadro 1 muestra los porcentajes de cultivos sembradas para cada ciclo agrícola.

Cuadro 1. Porcentajes de superficie sembrada de todos los cultivos considerados en el análisis de requerimientos de riego con CROPWAT. Modulo IV-1 “Culiacancito” A.C.

CULTIVO	CICLO AGRICOLA																							
	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99	1999-00	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11	2011-12	2012-13	2013-14	2014-15	2015-16	2016-17	2017-18	2018-19
	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb	%Sup. Semb
ALGODON	15.40	-	0.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ALFALFA	-	-	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	0.07	-	-	22.59	0.16	0.07	0.32	0.41	0.45	0.53	0.36	0.29
CARTAMO	2.26	0.09	0.04	0.25	0.03	0.07	-	0.38	0.02	0.01	0.05	-	-	-	-	-	0.53	0.29	-	-	0.03	-	-	-
CHILE	0.14	0.23	0.33	1.00	0.20	0.35	0.91	0.34	0.76	0.60	0.62	1.00	0.95	0.59	0.10	17.00	0.65	0.19	0.91	0.71	0.56	0.64	0.34	0.40
FRUOL	3.29	8.28	9.32	15.91	0.78	0.70	5.52	14.85	2.86	4.80	5.41	5.19	3.99	5.28	9.64	442.64	5.64	5.04	7.21	2.07	4.14	5.07	5.02	2.52
GARBANZO	39.90	29.89	19.85	49.52	44.26	43.97	29.07	39.63	15.52	12.22	13.28	9.15	5.11	5.65	3.38	366.55	13.42	4.91	5.74	4.34	1.34	5.07	15.32	5.98
HORTALIZA	0.88	0.36	0.50	0.58	0.58	0.28	0.74	1.00	0.95	0.50	0.49	0.74	0.45	0.39	0.37	44.50	0.68	0.39	0.95	1.35	1.37	0.71	0.56	1.04
MAIZ	2.19	17.27	23.45	1.03	18.38	24.41	39.98	25.76	63.68	60.76	61.47	64.54	75.08	72.74	68.90	1,135.00	63.23	73.87	61.72	70.22	77.32	70.16	65.28	78.17
MAIZ P.V	-	0.72	0.51	-	0.32	0.41	0.63	-	-	0.87	1.04	3.34	0.11	1.00	3.05	7,128.00	0.36	-	0.62	0.22	1.95	4.58	1.22	1.20
PERNO	0.23	0.47	0.63	2.06	2.63	1.39	1.50	0.74	0.41	0.42	0.10	0.02	-	-	0.40	43.93	0.24	0.52	0.39	0.59	0.86	0.40	0.89	1.17
TOMATE EXP.	3.31	1.96	3.05	5.47	2.99	3.67	3.79	4.55	4.36	3.35	3.77	4.71	4.07	3.99	4.74	531.00	4.47	2.13	2.41	2.01	2.48	4.15	2.80	2.57
TOMATE sub	0.78	0.60	0.30	0.35	0.17	0.35	0.10	0.10	0.79	0.24	0.31	0.35	0.24	0.01	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.14	0.08
BERENGENA	1.55	0.36	0.30	0.68	0.63	0.57	0.64	0.85	0.42	0.39	0.53	-	-	-	-	-	-	0.26	0.07	0.13	-	0.15	0.08	0.07
CALABAZA	1.72	0.06	0.33	1.15	0.55	0.91	0.35	0.16	0.09	0.16	0.03	0.01	0.07	0.04	0.03	5.00	0.08	-	-	0.02	0.06	0.44	0.65	0.26
CEBOLLA	0.55	0.13	0.23	0.03	0.28	0.21	0.15	0.12	0.03	0.03	0.12	-	0.04	0.04	0.03	12.50	0.19	-	0.03	0.08	0.44	0.15	0.38	0.07
EJOTE	-	0.06	0.06	0.25	-	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.21	0.21	-	-	-
CAÑA DE A.	6.25	4.91	4.84	6.91	6.05	2.75	2.11	1.87	0.72	0.50	0.41	0.41	0.38	0.38	0.35	50.72	0.44	0.39	-	-	-	-	-	-
FORRALDES	18.35	12.20	9.88	12.70	9.83	10.34	9.05	6.49	6.39	5.23	5.80	5.25	4.49	4.28	4.07	500.00	4.51	5.92	4.78	4.22	4.72	3.66	4.27	3.31
FRUTALES	3.20	2.48	1.96	2.12	2.43	2.71	2.82	1.91	2.29	2.10	1.85	1.88	1.91	2.03	2.10	320.00	2.58	2.69	2.59	2.39	2.12	2.18	2.21	1.69
SORGO	-	1.08	0.53	-	0.14	0.67	0.56	0.98	0.72	0.24	0.05	0.10	0.34	0.31	0.31	-	2.82	1.29	5.33	6.39	0.71	0.64	0.49	0.75
SORGO P.V	-	-	7.98	-	9.17	6.09	2.06	-	-	7.09	4.69	3.31	2.69	3.27	2.51	2,982.00	-	2.04	6.78	3.92	0.36	0.69	-	0.44
TRIGO	-	-	-	-	0.58	0.02	-	0.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-
SOYA P.V	-	18.84	15.63	-	-	-	-	-	-	0.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SANDIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.14	0.71	0.32	0.23	-	-
MELON	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.45	-	-	-
CALABAZA P.V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.07	-	-
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	13,601.43	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

En el cuadro anterior se encuentran todos los cultivos que se han sembrado en el Módulo de Riego, incluso cultivos de otoño invierno, primavera verano, perennes y segundos cultivos. Nótese como el porcentaje de siembra del cultivo de maíz en los años 90's representaba sólo del 17 al 25% del total del Módulo, y en el último año agrícola 2018-2019 llegó a estar hasta el 78.17%.

Se capturaron las cédulas de cultivos de los 23 ciclos agrícolas estableciendo en CROPWAT lo que se conoce como Patrón de siembras, para estimar el volumen de agua requerido mensualmente por los cultivos sembradas con los porcentajes de siembra del cuadro anterior. El Cuadro 2 muestra como CROPWAT estima con base en las fechas

de siembra de una cédula de cultivos, los requerimientos de riego sólo durante los meses en donde están sembrados uno a varios cultivos a la vez. El ejemplo presentado es para estimar los volúmenes requeridos por cultivos para el ciclo agrícola 1997-1998.

Cuadro 2. Reporte de las necesidades de agua de los cultivos de los Cultivos sembrados en el ciclo agrícola 1997-1998 para un total de 16,933 ha sembradas.

REQUERIMIENTOS DE RIEGO POR MES PARA LA CEDULA DE CULTIVOS DEL AÑO 1997-1998 EN EL MODULO IV-1 CULIACANCITO												
Superficie Física Sembrada	16933.7 ha											
Cultivo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes
1. Frijol Ol	49.6	6.3	0	0	0	0	0	0	0	4.1	20.3	55.1
2.- Maiz Blanco Ol	23.3	80.1	129.1	120	41.6	0	0	0	0	0	1.6	0.9
3. Garbanzo	43.1	1	0	0	0	0	0	0	0	8.6	50.6	68.9
4. Pepino	61.9	26.9	0	0	0	0	0	0	0	0	16.6	34.8
5. Tomate	73.4	95	90.3	0	0	0	0	0	0	0	31.1	42
6.- Calabaza	62.2	70	0	0	0	0	0	0	0	0	22.1	37.4
7. Hortalizas varias	64.8	6.7	0	0	0	0	0	0	0	0	42.6	54.8
8. Caña de azúcar en producción	69.2	76.4	102.3	123.2	121	136	42	3	0	5.2	74.2	10.2
9. Pastos perenne	68.6	75.4	98.8	122.6	120.5	135.2	41.7	2.5	0	4.2	73.2	7.2
10. Frutales 70% Cobertura	56.5	62	79.3	97.2	88.4	97	7.2	0	0	0	47	0
11. Sorgo Ol	62.5	75.6	33.6	0	0	0	0	0	0	0	2.8	27.7
12. Sorgo PV	0	0	40.6	118	163.9	110.3	0	0	0	0	0	0
13. Soya PV	0	0	50.2	138.1	154	44.7	0	0	0	0	0	0
Calculo de Volúmenes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Req. Netos sistema												
en mm/día	1	1.3	2	2.7	2.3	1.2	0.3	0.2	0.2	0.5	0.8	1
en mm/mes	31	36.5	63.4	80.5	70	37	8.7	4.7	5.7	15.9	24.9	29.8
en l/s/ha	0.12	0.15	0.24	0.31	0.26	0.14	0.03	0.02	0.02	0.06	0.1	0.11
Area Irrigada (% del area sembrada)	79	79	68	63	63	39	17	15	15	46	79	79
Area Irrigada (ha/mes)	13,377.6	13,377.6	11,514.9	10,668.2	10,668.2	6,604.1	2,878.7	2,540.1	2,540.1	7,789.5	13,377.6	13,377.6
Req.de riego area real (l/s/ha)	0.15	0.19	0.35	0.49	0.41	0.37	0.19	0.12	0.15	0.13	0.12	0.14
Gasto promedio por mes (l/s)	1,605.3	2,006.6	2,763.6	3,307.2	2,773.7	924.6	86.4	50.8	50.8	467.4	1,337.8	1,471.5
Gasto promedio por mes (l/s) en PC	1,753.1	2,191.4	3,018.0	3,611.6	3,029.1	1,009.7	94.3	55.5	55.5	510.4	1,460.9	1,607.0
Volumen Estimado Cultivos	4299.7	4854.5	7402.0	8572.1	7429.2	2396.5	231.3	136.1	131.7	1251.8	3467.5	3941.4
Volumen Estimado Acumulado	12,960.3	17,814.8	25,216.8	33,788.9	41,218.1					1251.8	4719.3	8660.7

Se estiman del orden de 41.218 millones de metros cúbicos de consumo de agua de los cultivos sembrados en el ciclo agrícola 1997-1998, en donde se sembraron del orden de 16,993 ha. Esto equivale a una lámina requerida del orden de 24.38 cm. Los porcentajes de cultivos predominantes fueron: garbanzo con el 19.85%, maíz con 23.45%, frijol con el 9.32%, sorgo con 8.5%, soya con 15.63% y cultivos perennes con el 16.68%, el resto de cultivos varios con un total de 6.57%. Una cédula que podría considerarse media tendiendo a baja demanda, con cultivos en otoño invierno, primavera verano y segundos cultivos. En el ciclo 1997-1998, la presa se cerró el 1 de junio, por lo que no se consideraron demandas de riego en los meses de junio a septiembre, que generalmente corresponden a los cultivos perennes que se riegan con la humedad residual de las lluvias en la región.

En ese año, el volumen bruto a nivel de punto de control (VBR_{PC}) fue de 91.57 Millones de metros cúbicos (ver fFigura 2), por lo que aplicando la ecuación 8 se tiene lo siguiente:

$$E_{PC} = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N [ETr_{ijk} - Pe_{ijk}] * S_j}{VBR_{PC}} = \frac{41.218}{91.57} = 45.02\% \quad (9)$$

La eficiencia a nivel punto de control del Módulo de Riego IV-1 "Culiacancito" estimada para ese año es del 45.02%.

Resultados y Conclusiones

Este mismo análisis sobre el cálculo de la eficiencia a nivel de punto de control se repitió para los 23 ciclo agrícolas del Módulo, los cuales se muestran en el siguiente gráfico de la Figura 6.

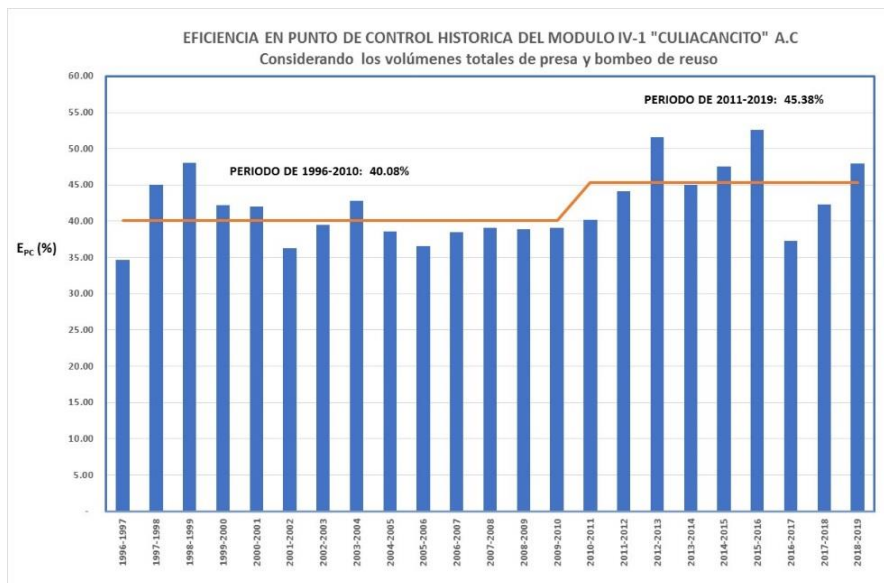


Figura 6. Eficiencias de punto de control desde el ciclo 1995-1996 a la fecha en el Módulo de Riego IV-1 “Culiacancito” considerando los volúmenes totales para riego de presa y bombeados con agua de reúso.

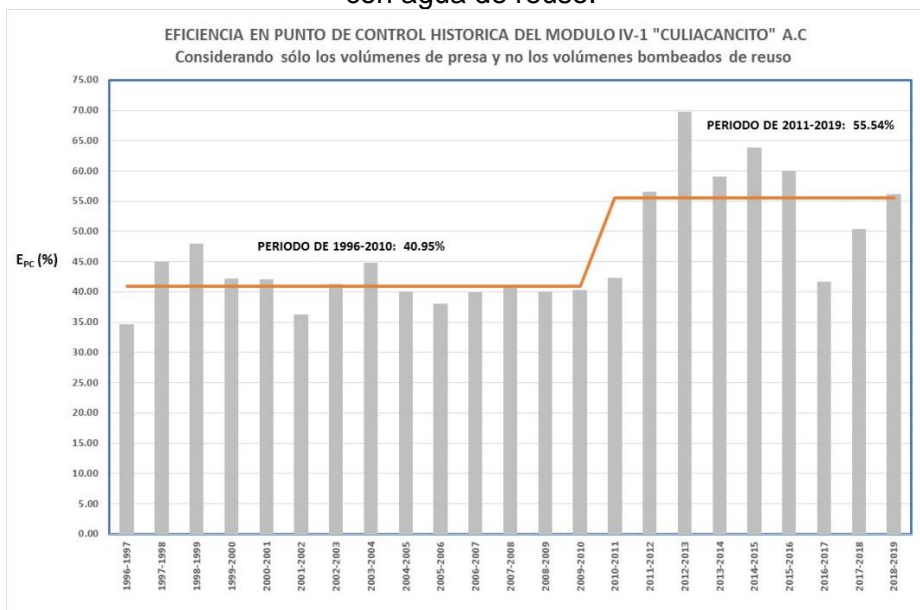


Figura 7. Eficiencias de punto de control desde el ciclo 1995-1996 a la fecha en el Módulo de Riego IV-1 “Culiacancito” considerando los volúmenes totales para riego de presa y bombeados con agua de reúso.

De acuerdo con los resultados obtenidos la eficiencia promedio histórica es del **42.07%** y se estima un incremento de **5.3 puntos** porcentuales en promedio, durante los últimos



9 años de operación del Módulo de Riego. El siguiente gráfico muestra los resultados sin considerar los volúmenes bombeados con agua de reúso.

Con estos nuevos resultados, sin considerar el agua de reúso, se estima un incremento de **14.59 puntos** porcentuales en promedio, si comparamos el promedio de eficiencias de 1995 a 2010 y durante los últimos 9 años de operación del Módulo de Riego (2010-2019).

Este resultado es perfectamente válido debido a que el bombeo de agua de reúso se incrementó considerablemente tal y como se observó en la figura 2, y como se bombea desde cotas altas de algunos drenes del Módulo, con la misma agua se riega dos o hasta tres veces en las partes bajas del Módulo de Riego.

Sí se considera que en el módulo de riego en los últimos 9 años, en promedio ha utilizado para uso agrícola, 135.46 Millones de metros cúbicos a nivel de punto de control (bombeo de reúso y agua en bloque de presa), el volumen total, ahorrado y recuperado por el Módulo asciende a un total de **25.35 Millones de m³** de las cuales 18.96 Mm³ son el promedio de bombeo de reúso en los últimos 9 años y 6.17 Mm³ son por el impacto de la modernización.

Esto sin duda implica el incremento artificial de la productividad del agua para riego del Módulo proveniente de la presa, hasta llegar a valores promedio de 1.75 kg/m³ en maíz a nivel toma parcelaria tal y como se ha reportado en otros trabajos (Montiel, 2017).

Referencias Bibliográficas

- Clarke, D. (1998). CropWat 8.0 for Windows: User Guide. FAO.
- De León B. y Robles R. B (2010). Manual de Diseño de Zonas de Riego Pequeñas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2da Ed. Jiutepec, México.
- FAO (1988). Efectos del agua en el rendimiento de los cultivos. Estudios FAO Riego y Drenaje Manual 33. Roma, Italia.
- Montiel G. Mario. A, Velázquez S.L.F, López Plata C.G; y Salazar Ríos C.A;. (2018). Análisis comparativo de la operación de 4 ciclos agrícolas del Módulo de Riego IV-1 "Culiacancito" A.C. Memorias del IV CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2018. Aguascalientes, Aguascalientes.
- Montiel G. Mario A., Castillo G. Jorge, Flores V. Jorge, Herrera P. Juan C., Pacheco H. Pedro y Ojeda B. Waldo (2017). El riego en maíz en el Estado de Sinaloa. Resultados de los Distritos y Módulos de riego con superficie RIGRAT durante el año agrícola 2015-2016. ANEI. XVIII CONGRESO NACIONAL DE IRRIGACIÓN. 22-25 de mayo de 2017. COLPOS Montecillos, Estado de México.
- Ojeda Bustamante W., Hernández L. Sánchez Cohen I. (2009). Requerimientos de riego de los Cultivos. Manual de Diseño de Zonas de Riego Capítulo 1.2. 29 páginas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2da Edición. Jiutepec, Morelos
- Velázquez Serrano L. F.; López Plata C.G; Salazar Ríos C.A; Montiel Gutiérrez M.A; Araujo Beltrán A y Mercado García F. (2016). Análisis comparativo de la operación de dos ciclos agrícolas y del servicio de riego del Módulo de Riego IV-1 "Culiacancito" A.C del Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya, Sinaloa. Memorias del II CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE. COMEII 2016. Chapingo Estado de México.