



## III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEI 2017

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

### ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS: VALORES ACTUALES Y VALOR OBJETIVO DE INSUMOS EN MÓDULOS DEL DISTRITO DE RIEGO NO. 041, RÍO YAQUI (SONORA, MÉXICO)

**Víctor Manuel Olmedo Vázquez<sup>1,2\*</sup>; Emilio Camacho Poyato<sup>1</sup>; Juan Antonio Rodríguez  
Díaz<sup>1</sup>; Ma. Leticia Hernández Hernández<sup>2</sup>; Waldo Ojeda Bustamante<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes. Departamento de Agronomía. De  
Campus Rabanales. Edificio Leonardo da Vinci. Universidad de Córdoba. 14071 Córdoba, España.

Correo electrónico: olmedovazquez@gmail.com - Cel. 6444600909 (\*Autor de correspondencia)

<sup>2</sup> Centro Regional Universitario del Noroeste (CRUNO), Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Colima  
163 Norte, colonia Centro, 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México.

<sup>3</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Paseo Cuauhnáhuac 8535, Colonia Progreso 62550 Jiutepec,  
Morelos, México.

#### Resumen

El Distrito de Riego 041, Río Yaqui, en el noroeste de México, fue afectado por una fuerte sequía que colapsó el sistema hidroagrícola en el año agrícola 2002-2003, donde se estableció únicamente el 29% de la superficie regable. La gestión del manejo de los recursos hídricos en el distrito de riego se ha basado tomando en cuenta la eficiencia del manejo del agua en la red mayor, por lo anterior, en el presente trabajo, se evalúa la eficiencia de riego en los módulos de riego, usando la metodología de Análisis Envoltante de Datos (DEA). El modelo empleado fue el desarrollado por Banker, Charnes y Cooper (1984); DEA-BCC presentando una frontera curva, que toma más puntos como eficientes y, por tanto, va a ser más útil para determinar eficiencias locales, en ámbitos de aplicación en los que imperan una serie de restricciones que impiden ciertos valores de producción, pero que, aun así, hace que una Unidad de decisión (DMU), dentro de ese marco, esté trabajando de manera eficiente. El objetivo de la investigación fue identificar las mejoras en superficie sembrada, volumen de agua y costos de producción (inputs), y conocer las adecuaciones pertinentes en relación con los módulos más eficientes. Las comparaciones agronómicas e hidráulicas, se incluyeron en el software Frontier Analyst Professional; con el propósito de precisar la frontera de posibilidades que permite aumentar o igualar a los más eficientes (100%). El DEA mostró el margen de mejora para cada módulo de riego ineficiente para lograr la frontera de eficiencia.

**Palabras clave adicionales:** Eficiencia, Mejoras, Superficie, Volumen, Costos.



## Introducción

En todo el mundo, el empleo del agua y su gestión han sido un factor esencial para elevar la productividad de la agricultura y asegurar una producción previsible. El agua es esencial para aprovechar el potencial de la tierra y para permitir que las variedades mejoradas tanto de plantas como de animales utilicen plenamente los demás factores de producción que elevan los rendimientos. Al incrementar la productividad, la gestión sostenible del agua (especialmente si va unida a una gestión adecuada del suelo) contribuye a asegurar una producción mejor tanto para el consumo directo como para el comercio, favoreciendo así la producción de los excedentes económicos necesarios para elevar las economías rurales (FAO, 2002).

La superficie cultivada en el mundo se ha incrementado un 12% en los últimos cincuenta años. En el mismo período se ha duplicado la superficie mundial de regadío, lo que supone la mayor parte del incremento neto de la tierra cultivada. Entre tanto, la producción agrícola se ha multiplicado por 2.5 o por 3, gracias al aumento significativo del rendimiento de los principales cultivos. La agricultura utiliza ya el 11% de la superficie mundial de tierras para la producción agrícola. También hace uso del 70% de toda el agua extraída de acuíferos, corrientes fluviales y lagos. Las políticas agrícolas han beneficiado principalmente a los agricultores con tierras productivas y acceso al agua, pero han marginado a la mayoría de los productores a pequeña escala, que siguen atrapados en una situación de pobreza y extrema vulnerabilidad, degradación de las tierras e inseguridad climática (FAO, 2012).

Esta situación de vulnerabilidad, se hace presente en el área de estudio, correspondiente al Distrito de Riego 041, Río Yaqui; ya que más del 85% de la superficie agrícola ha sido rentada o vendida a productores con mayor potencial económico, lo cual ha provocado una situación de desestabilización en los diversos ejidos (sistema de distribución y posesión de la tierra) establecidos en el área agrícola que ocupa el distrito.

Los problemas que enfrenta actualmente la agricultura irrigada figura entre las mayores dificultades que sufre la humanidad a nivel global. Hoy se acumulan las evidencias que demuestran que esta clase de agricultura tiene límites ecológicos y no puede enfrentar exitosamente las necesidades crecientes de producción de alimentos porque las disponibilidades de agua se han convertido en un claro factor limitante de sus líneas tecnológicas, especialmente en algunas aéreas pobres del mundo afectadas por la carencia de agua (Toledo, 2002).

La FAO (2013), determina que la agricultura, y en particular la agricultura de regadío, están sufriendo cambios muy rápidos y enfrentándose a viejos y a nuevos problemas. Los agricultores de todo el mundo han de adaptarse a un mundo en el que el comercio y la globalización han aumentado velozmente la interdependencia y la interconexión entre la producción y los patrones de consumo de las personas, y en el que el progreso tecnológico ha potenciado la productividad agrícola. La



revolución verde y los posteriores progresos agronómicos han ayudado a la producción agrícola a superar el ritmo de crecimiento de la población y a dar de comer a un número de personas en constante aumento con alimentos cada vez más diversificados y de mejor calidad. Pero esto también ha tenido un gran coste a nivel medioambiental.

En la mayoría de los casos, el aumento de la productividad de agua (es decir, producir más cosechas o valor por volumen de agua empleado) es la vía más importante para la gestión de la demanda de agua en la agricultura. Esto es posible gracias a la combinación de un mejor control del agua, una mejor ordenación de tierras y mejores prácticas agrícolas. Por otra parte, las inversiones en infraestructuras hidráulicas por sí solas no son suficientes para mejorar la productividad agrícola. Los agricultores necesitan tener acceso a insumos como abonos y semillas, acceso al crédito y a una mejor educación e información acerca del uso de los insumos y de las técnicas más modernas (Unesco, 2015).

La FAO (2017), indica que la agricultura se enfrenta a retos complejos de aquí al 2050 para alimentar a una población que alcanzará 9 000 millones de personas. Una certeza, sin embargo, es que se necesitará más agua para producir el 60% de los alimentos adicionales que se calcula serán necesarios. La labor de la FAO en el agua se centra en un uso del agua en la agricultura más eficiente, equitativo y respetuoso con el medio ambiente.

La agricultura de riego en México se desarrolla dentro de una gran diversidad de condiciones de clima, suelos, desarrollo tecnológico y factores socioculturales. En 6.2 millones de hectáreas bajo riego, que representan 25% de la superficie cultivada en el país, se obtiene 50% de la producción agrícola nacional (Palacios et al., 2010).

El mayor uso del agua en México es el agrícola. Con base en el VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007 (el último disponible a nivel nacional), la superficie en unidades agrícolas de producción fue de 30.2 millones de hectáreas, de las cuales 18% eran de riego y el resto tenían régimen de temporal. Además, México ocupa el séptimo lugar mundial en términos de superficie con infraestructura de riego con 6.4 millones de hectáreas, de las cuales un poco más de la mitad corresponde a 86 distritos de riego, y el restante a más de 39,000 unidades de riego (Conagua, 2015).

México, posee aproximadamente el 0.1% del total de agua dulce disponible a nivel mundial, lo que determina que un porcentaje importante del territorio esté catalogado como zona semidesértica (tal es el caso de la ubicación del Distrito de Riego 041, Río Yaqui). Esto implica, también, la necesidad de considerar al agua no sólo como un elemento vital, sino como un factor estratégico para el desarrollo global del país (Agua.org.mx, 2017). En el caso del agua de riego en México, es irracional el desperdicio de este elemento para la sociedad dado el problema de escasez en muchas regiones agropecuarias del país. Además, el problema radica en que el agua de riego se desperdicia a causa del propio sistema regulatorio, el



cual pareciera ser muy racional dado el contexto en el que interactúan los usuarios pero que en los hechos provoca serias distorsiones en su utilización (Olivera, et al., 2008).

Aunado al rezago en la tecnificación del campo, los problemas derivados de la sobreexplotación de los acuíferos se relacionan con las bajas tarifas que la agricultura paga por la electricidad y por el líquido (González, 2014). El mismo González, 2014, indica que un estudio reciente sobre el mercado del agua agrícola en México describe que son el bajo precio del agua y su indiferenciación respecto a los niveles de disponibilidad y productividad por región, y por productos agrícolas el origen principal del desperdicio y escasez creciente del agua en la irrigación.

En los últimos años, la cuenca del Río Yaqui ha enfrentado una fuerte sequía, que ha impactado adversamente el normal desarrollo del distrito de riego. La sequía en esta cuenca se considera como un evento natural de gran peligro, el cual difiere de otros eventos extremos ocurridos en la región, como inundaciones, porque su inicio ha sido muy lento, pero ha evolucionado por espacio de varios años. Esta sequía no causó daños ni a la infraestructura hidroagrícola ni a la población, por lo que no había sido tomada en cuenta en su magnitud real; no fue sino hasta el año agrícola 2002-2003, después de ocho años de bajas precipitaciones, cuando el sistema de presas registró el nivel más bajo de la historia, y se empezó a reaccionar ante este evento climático extremo (Minjares et al., 2009).

(Minjares et al., 2010) define que el Distrito de Riego 041, Río Yaqui, será sustentable si al operarlo mantiene su productividad, confiabilidad y resiliencia a cambios inesperados; si es capaz de funcionar efectivamente bajo condiciones de cambios en las aportaciones y las demandas de agua, así como ante los cambios en los objetivos de los productores agrícolas, manteniendo una agricultura segura y rentable a largo plazo, que no degrade el agua, el suelo y otros recursos naturales, de tal manera que las futuras generaciones tengan la misma oportunidad de usarlos de la misma o mejor forma de la que se utilizan hoy en día, manteniendo la equidad en cuanto a la distribución de los costos y utilidades generados en el Distrito.

Las pérdidas de agua durante la conducción, en los módulos y distritos de riego, son considerables; aunque dichas pérdidas son significativamente menores en distritos de riego que no colindan con el mar, debido a que el agua pérdida que escurre puede usarse aguas abajo en otro sistema de riego, o bien, recargar los acuíferos. En las regiones costeras, una gran parte de esta agua se pierde en el mar. Parte de estas pérdidas se debe a un manejo deficiente del agua en las redes de distribución, en lo cual influye la falta de una mayor capacitación del personal operativo (Mejía et al., 2002).

Ante esto, el riego deberá lograr unas mayores productividades, optimizando al máximo el uso del agua, un recurso que cada vez será más escaso en los próximos años. Este aumento de las productividades, con el mínimo costo posible, deberá, al mismo tiempo, ser respetuoso con el ya deteriorado ambiente,

intentando buscar una sustentabilidad en el tiempo que permita a las futuras generaciones seguir disfrutando de los recursos actuales en el mejor estado que sea posible (Rodríguez, 2003).

Con la tendencia de una sequía en el área de estudio; ya sea cíclica o por cuestiones de cambio climático, una falta de gestión (manejo) y cuidado del recurso agua, la agricultura tendrá serios problemas de productividad y sostenibilidad como se aprecia en la figura 1.



**Figura 1.** Presa Álvaro Obregón (Oviáchic), con una capacidad de embalse de 2.989 millones de metros cúbicos.

La mejora de la eficiencia en el uso del agua de riego, ha sido uno de temas centrales en el Distrito de Riego 041, Río Yaqui, a través de los 42 módulos de riego que lo conforman, los cuales han desarrollado acciones para reducir las pérdidas de conducción, tanto en la red de canales principales como en la de los canales secundarios; y actualmente en parcela mediante el programa de Riego por Gravedad Tecnificado (RIGRAT).

Esta eficiencia de riego implica aprovechar de la mejor manera posible el volumen de agua asignada para cada cultivo, dándole la cantidad necesaria en el momento oportuno; con el propósito de obtener mayores ingresos en la producción agrícola; además de lograr una sustentabilidad socialmente justa, económicamente rentable y ecológicamente amigable con el medio ambiente; para las generaciones futuras a nivel mundial.

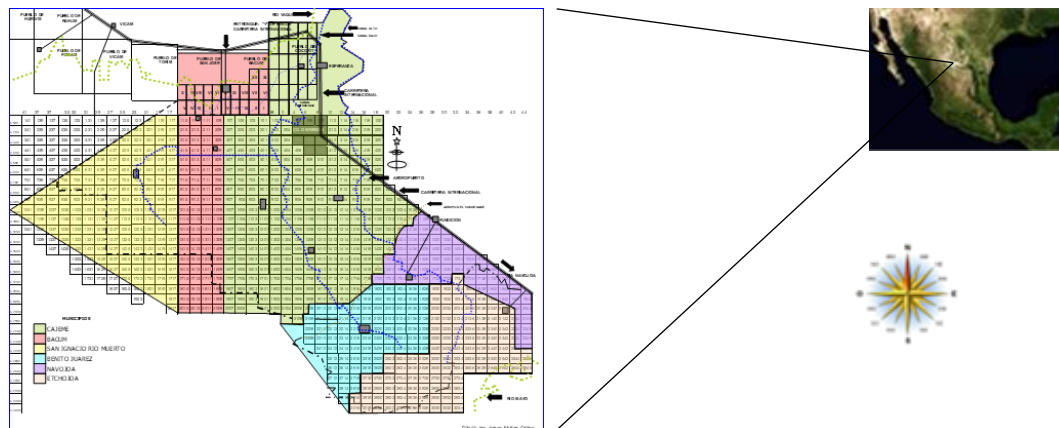
Con el propósito de conocer la eficiencia del distrito de riego 041, Río Yaqui, a través de los valores actuales y valores objetivos (target) de los Inputs, para contar con mejoras, se planteó el Análisis Envolvente de Datos (Data Envelopment Analysis o DEA), el cual es una metodología utilizada para la evaluación de la eficiencia relativa de un conjunto de unidades de toma de decisiones (Decision Making Unit) (DMUs), en este caso módulos de riego; utilizando un procedimiento no paramétrico que maneja una técnica de programación lineal. Con una serie de

entradas (inputs) y salidas (outputs) para cada módulo de riego; con la finalidad de alcanzar la optimización de sus recursos, con el propósito de conocer objetivamente su realidad, y considerar las medidas a tomar para corregir ineficiencias.

El objetivo de la investigación fue: identificar las mejoras en superficie sembrada, volumen de agua y costos de producción (inputs) en los módulos de riego, y conocer las adecuaciones pertinentes en relación con los módulos de riego más eficientes.

## Materiales y métodos

La región del Distrito de Riego 041, Río Yaqui se localiza al sureste del estado de Sonora, México (figura 2); cuenta con una superficie de 227,224 hectáreas de riego que representa el 34% de la superficie irrigada del estado de Sonora. Esta región se ubica entre los paralelos 26° 45' y 27°40' Latitud Norte y entre los meridianos 109°37' y 110°37' Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich, limitando al Norte con el río Yaqui y al Sur con el río Mayo, al Este limita con la serranía del Técali y Baroyeca y al Oeste con el Golfo de California. El clima predominante es de climas muy secos, subtipos BW(h')hw muy cálido, cálido, con lluvias de verano. La temperatura media anual es de 20.03°C, se tiene una precipitación media anual 281.6 mm/año y una evaporación potencial de 2,061.51 mm (Conagua, 2003).



**Figura 2.** Distrito de Riego 041, Río Yaqui en el Sureste del Estado de Sonora, México.

## Análisis Envoltante de Datos (DEA)

Farrell (1957), escribió por primera vez, sobre eficiencia en términos aproximados (relativos) y no concretos (absolutos), lo que permitió medir una unidad, con respecto a un conjunto de unidades y conocer la eficiencia generada de cada una



de ellas, a través de sus desviaciones en relación con las eficientes. Así, en cuanto al principio de eficiencia; planteó dos formas de eficiencia: eficiencia técnica y eficiencia asignativa. En el primer caso, se evalúa la capacidad de cualquier empresa, institución y/o individuo para obtener el máximo volumen de producción (output) con las entradas disponibles (input), siendo el denominado modelo orientado a outputs o la capacidad de mantener la misma capacidad de producción usando un mínimo de entradas, hablando entonces del modelo orientado a inputs, Rodríguez, et al., (2004). En el segundo caso se da una combinación de entradas (inputs), y se refiere a la capacidad de la empresa de usar los recursos en proporciones óptimas, esto implica obtener el mismo nivel de producción, pero con un menor costo o en el caso contrario obtener el mayor nivel de producción posible con un mismo costo.

### Modelo DEA-BCC

El modelo BCC va a presentar una frontera curva, va a tomar más puntos como eficientes y, por tanto, va a ser más útil para determinar eficiencias locales, en ámbitos de aplicación en los que imperan una serie de restricciones que impiden ciertos valores de producción, pero que, aun así, hace que una DMU, dentro de ese marco, esté trabajando de manera eficiente, Rodríguez (2003).

La eficiencia técnica pura se calcula utilizando el modelo DEA-BCC, desarrollado por Banker et al., (1984); que permite la posibilidad de rendimientos variables a escala; y por su parte, la eficiencia de escala es el cociente de la eficiencia técnica global y la eficiencia técnica pura (Goñi, 1998).

La Figura 3 muestra visualmente la diferencia entre el modelo CCR (en el cual se consideran retornos constantes a escala), y el BCC para un caso simple, donde se emplea un solo input (x) para producir un único output (y).

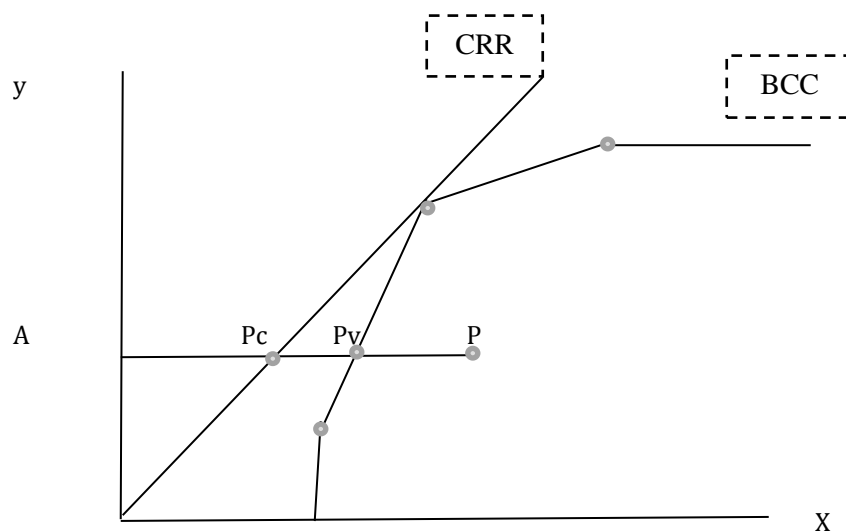


Figura 3. Eficiencia de escala (Coelli, 1996).

## Planteamiento del problema

En el estudio se tomaron en cuenta 3 entradas (inputs) siendo: 1) superficie regada (ha), 2) volumen de agua total para la superficie regada (millones m<sup>3</sup>) y 3) costos de producción (millones de pesos); así como una salida (output) que fue: 1) valor total de la producción (millones de pesos), como se muestra en la figura 4; con el propósito de determinar la eficiencia de aplicación de agua, en cada uno de los módulos de riego del distrito, utilizando los datos estadísticos de los años agrícolas 2010-2011, con una precipitación pluvial de 181,91 mm; en 2011-2012, con 232,80 mm y en 2012-2013 con 535,39 mm. El hecho de contar con precipitaciones pluviales muy bajas para este distrito, no representa significancia en cuanto a la eficiencia medida, debido a que se cuenta con una dotación volumétrica asignada para cada módulo de riego a través de la Comisión Nacional del Agua, almacenada en el sistema de presas.

El sistema agrícola del distrito depende tanto del volumen de agua almacenado en sus presas como de la capacidad de bombeo de su acuífero. La operación eficiente de su sistema hidráulico es de suma importancia para las actividades económicas, políticas y sociales. Este distrito es un sistema agrícola que produce principalmente trigo, cártamo, hortalizas, maíz, sorgo, algodón, garbanzo, alfalfa y frutales.



**Figura 4.** Variables utilizadas en el estudio de la eficiencia en el Distrito de Riego.

Los métodos y técnicas empleados, estuvieron determinados por la información aportada principalmente por el Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui; de la Comisión Nacional de Agua (Conagua), el Patronato para la Investigación y Experimentación Agrícola del Estado de Sonora (PIEAES); así como por la propia naturaleza de cada una de las variables seleccionadas.





Considerando las entradas (inputs) y la salida (output) propuestas, se determinó que el modelo DEA que más se ajusta a nuestro objetivo, es el de retornos variables (BCC), tomando una orientación a Inputs. Se busca, dado el nivel de output, la máxima reducción proporcional en el vector de inputs mientras permanece en la frontera de posibilidades de producción. Esta frontera de producción permite conocer hasta donde se puede producir con los recursos con que se dispone, dejando conocer con precisión la eficiencia o ineficiencia de cada uno de los módulos de riego; además, la frontera de posibilidades permite saber cuáles módulos de riego son eficientes (aprovechando los recursos disponibles), los módulos de riego que están dentro de la frontera de posibilidades (que están desaprovechando oportunidades) y por último los que están fuera de la frontera de posibilidades (inalcanzables).

El DEA ayuda a determinar de mejor manera una medida de proximidad a la frontera de la tecnología, además, DEA ofrece un punto de proyección o un punto referente denominado target en la frontera, esto es una serie de niveles de inputs y outputs que las DMUs (Decision Making Unit) ineficientes, deberían perseguir para llegar a ser eficientes. Con relación a lo anterior, la importancia de este estudio radica en analizar los valores actuales y valores objetivos (target) de los Inputs, para contar con mejoras en las unidades de decisión (en este caso módulos de riego), para lo cual, se utilizó el Software Frontier Analyst Professional, Version 3.2.2 (Banxia Software Ltd®; 2003) (Coll y Blasco, 2006).

## **Análisis y discusión de resultados**

### **Valores actuales y valores objetivo de los Inputs**

La metodología DEA, brinda información con respecto a los valores objetivos que se deben establecer, para contar con mejoras en las unidades de decisión (módulos de riego) ineficientes. Estos resultados son importantes, para conocer los motivos de las ineficiencias y saber sus mejoras en la producción y en los valores de los inputs.

En las tablas 1, 2 y 3, se observan los valores actuales y valores objetivos (target) de cada una de las entradas (inputs) analizadas en el estudio para los años agrícolas 2010-2011, 2011-2012 y 2012-2013. En cada módulo, se determina en cantidades, lo que deben reducir sus inputs para llegar a ser eficientes. Existe una evidente necesidad de adecuar la producción agrícola a las condiciones de sus recursos, y a la no dependencia de un solo cultivo (trigo hasta el 75% de la superficie sembrada).

La ineficiencia, se manifiesta en problemas como: precios reducidos, altos costos de producción y falta de cuidado en la gestión (manejo) del recurso agua por parte de los módulos de riego y del mismo distrito. Los módulos de riego que llegaron a ser eficientes técnicamente en los distintos años agrícolas, se caracterizan por contar en su superficie sembrada con cultivos de mayor valor económico, como



son las hortalizas, a la vez que condicionan a sus productores a manejar adecuadamente sus riegos, o bien estos se encuentran cerca de los canales principales, teniendo tomas directas hacia sus parcelas; además de tener un mayor porcentaje de canales revestidos.

**Tabla 1.** Determinación de los valores objetivos para los 42 módulos de riego 2010-2011.

Módulo	Actual	Objetivo	Actual	Objetivo	Actual	Objetivo
de	Superficie	Superficie	Costos de producción	Costos de producción	Volumen de agua	Volumen de agua
Riego	regada (ha)	Regada (ha)	(Millones de pesos)	(Millones de pesos)	total para la superficie regada (Millones m <sup>3</sup> )	total para la superficie regada (Millones m <sup>3</sup> )
K-73.5	827	827	13,9	13,9	4.301	4.301
K-63	1.011	1.011	18,2	18,2	5.937	5.937
4-P-8	7.360	7.360	267,3	267,3	48.816	48.816
P10-SUR	1.382	1.261	30,3	27,9	10.013	7.626
4-P-10	1.896	1.390	38,4	33,0	12.543	8.495
K-95	2.580	1.494	43,6	37,1	21.051	9.199
K-105	3.644	2.014	67,7	57,5	28.464	12.710
K-70	1.813	1.142	27,6	23,3	14.393	6.819
SANTINI II	2.636	1.439	41,7	34,9	17.220	8.824
VEINTE	4.571	2.352	85,5	70,7	24.944	14.993
K-68	4.160	2.315	84,6	69,3	26.386	14.742
K-64	2.723	1.625	51,9	42,2	16.999	10.081
K-73.8	4.203	2.135	77,3	62,3	25.612	13.529
K-79	7.685	3.858	161,5	129,8	57.747	25.161
VEINTIDÓS	4.319	1.998	71,8	56,9	34.701	12.605
K-66	3.168	1.641	54,4	42,8	22.298	10.191
CATORCE	7.376	3.352	140,0	110,0	47.420	21.747
K-91 SUR	7.115	2.951	121,0	94,2	39.808	19.037
K-88.5	5.641	2.509	98,8	76,9	35.891	16.056
NÁINARI	1.408	1.046	25,1	19,5	8.302	6.173
C.M.D.	4.157	2.023	74,5	57,9	28.584	12.773
SEIS	7.984	3.474	149,2	114,8	53.850	22.573
DICESÉIS	8.461	3.505	151,0	116,0	52.453	22.782
K-91 NORTE	4.695	2.127	81,5	61,9	30.017	13.473
BACAME	4.038	1.767	63,2	47,8	24.269	11.039
MÓDULO 02	7.460	3.070	130,9	98,9	43.171	19.841
DIECINUEVE	3.873	1.718	60,8	45,9	20.958	10.713
4-P-4	5.271	2.309	91,6	69,1	44.095	14.704
DIEZ	8.008	3.172	138,1	102,9	45.993	20.532
DIECIOCHO	2.219	1.219	35,3	26,3	12.548	7.342
DOCE	7.035	3.117	135,3	100,8	48.581	20.162
4-P-6	4.949	2.169	85,5	63,6	34.425	13.756
4-P-12	4.420	2.121	83,0	61,7	25.087	13.431
DOS-B	5.196	2.281	91,8	67,9	29.828	14.512
DOS	6.141	2.572	107,3	79,4	41.430	16.482
SANTINI I	5.256	2.103	82,5	61,0	30.352	13.311
MÓDULO 11	8.375	3.404	157,2	112,0	50.730	22.096
OCHO	7.634	2.921	130,6	93,1	52.388	18.834
MÓDULO 10	9.699	3.544	167,9	117,6	62.174	23.046
CUATRO	9.767	3.742	180,1	125,3	58.045	24.382
MÓDULO 06	10.216	3.551	169,9	117,8	78.834	23.094
MÓDULO 01	7.139	2.701	135,8	84,4	30.173	17.351



**Tabla 2.** Determinación de los valores objetivos para los 42 módulos de riego 2011-2012.

Módulo	Actual	Objetivo	Actual	Objetivo	Actual	Objetivo
de	Superficie	Superficie	Costos de producción	Costos de producción	Volumen de agua	Volumen de agua
Riego	regada (ha)	Regada (ha)	(Millones de pesos)	(Millones de pesos)	total para la superficie regada (Millones m <sup>3</sup> )	total para la superficie regada (Millones m <sup>3</sup> )
K-73.5	802	802	16,3	16,3	4.484	4.484
K-63	967	967	21,2	21,2	5.187	5.187
MÓDULO 06	10.365	10.365	210,5	210,5	21.651	21.651
MÓDULO 02	9.773	9.773	211,5	211,5	36.025	36.025
K-73.8	4.138	4.138	93,0	93,0	22.652	22.652
K-68	4.404	4.404	109,9	109,9	23.104	23.104
CATORCE	7.531	7.531	167,6	167,6	41.248	41.248
MÓDULO 10	9.621	9.621	179,1	179,1	56.324	56.324
DIEZ	7.860	7.522	157,0	155,1	43.054	42.539
K-91 SUR	7.562	6.397	138,7	136,4	38.130	35.795
VEINTIDÓS	3.975	3.353	76,6	75,3	32.970	18.328
4-P-6	4.680	4.245	101,7	99,8	32.342	22.833
K-64	2.466	2.222	50,7	49,6	15.220	12.098
K-79	8.130	7.946	203,5	175,8	47.996	40.282
VEINTE	4.513	4.158	96,7	94,3	24.735	22.686
K-105	3.468	3.213	73,9	72,1	22.785	17.558
K-66	3.388	3.301	77,8	75,8	19.784	17.882
SEIS	7.911	7.419	181,2	165,6	46.302	40.600
SANTINI I	4.930	3.574	85,7	80,3	28.880	19.547
K-95	2.565	2.109	50,4	47,1	19.666	11.477
K-88.5	5.411	4.186	103,1	96,1	31.766	22.733
CUATRO	9.234	8.411	213,9	184,9	60.042	39.199
C.M.D.	4.584	3.922	97,1	88,2	27.640	21.462
P10-SUR	1.290	1.171	29,7	26,5	7.711	6.251
SANTINI II	2.555	1.722	42,3	38,3	15.804	9.342
DIECINUEVE	3.656	2.675	66,4	59,9	18.989	14.592
K-70	1.809	1.429	35,3	31,7	10.546	7.731
4-P-8	5.484	4.101	103,6	92,2	43.129	22.448
4-P-10	1.731	1.487	37,5	33,0	11.904	8.051
DICESÉIS	8.749	7.560	195,6	168,5	45.335	39.176
BACAME	4.289	2.917	75,7	65,4	22.778	15.929
4-P-4	5.226	4.120	107,4	92,6	39.246	22.553
DIECIOCHO	2.203	1.600	41,7	35,5	11.452	8.675
DOCE	6.613	5.610	154,7	131,2	42.486	30.210
NÁINARI	1.077	863	21,6	18,1	8.063	4.743
OCHO	7.327	5.787	154,2	128,3	50.759	31.911
DOS	6.236	4.393	131,5	109,3	41.053	23.086
K-91 NORTE	4.683	2.982	83,2	66,9	28.108	16.284
DOS-B	5.409	3.686	104,4	82,8	28.871	20.160
MÓDULO 11	9.663	7.214	192,8	152,5	51.112	40.424
4-P-12	4.520	3.316	99,6	76,6	23.289	17.919
Modulo 01	7.559	4.974	163,8	117,4	30146,33	21598,98



**Tabla 3.** Determinación de los valores objetivos para los 42 módulos de riego 2012-2013.

Módulo	Actual	Objetivo	Actual	Objetivo	Actual	Objetivo
de	Superficie	Superficie	Costos de producción	Costos de producción	Volumen de agua	Volumen de agua
Riego	regada (ha)	Regada (ha)	(Millones de pesos)	(Millones de pesos)	total para la superficie	total para la superficie
					regada (Millones m <sup>3</sup> )	regada (Millones m <sup>3</sup> )
K-73.5	882	882	15,9	15,9	4.034	4.034
K-63	1.029	1.029	24,2	24,2	5.118	5.118
K-66	3.225	3.225	79,5	79,5	18.743	18.743
MÓDULO 01	7.934	7.934	150,5	150,5	28.497	28.497
MÓDULO 02	9.072	9.072	180,9	180,9	36.659	36.659
MÓDULO 11	11.752	11.752	220,6	220,6	50.457	50.457
K-73.8	4.310	4.310	103,3	103,3	23.939	23.939
CATORCE	7.347	7.347	176,7	176,7	39.462	39.462
DOS-B	4.224	4.224	91,2	91,2	33.755	33.755
CUATRO	8.543	8.543	215,5	215,5	54.236	54.236
MÓDULO 10	9.483	9.483	167,7	167,7	54.205	54.205
DIEZ	7.908	7.908	182,6	182,6	42.732	42.732
K-64	2.615	2.605	65,4	62,2	13.864	13.809
P10-SUR	1.196	1.187	30,7	28,2	7.100	6.096
K-79	7.677	7.609	197,3	189,4	47.402	46.982
VEINTE	4.618	4.238	98,4	96,8	22.476	22.122
K-91 SUR	7.048	5.783	133,4	130,6	37.000	36.237
SANTINI II	2.403	1.826	42,0	40,9	15.945	12.262
4-P-4	4.669	4.542	112,2	109,2	39.668	25.876
DICESÉIS	8.442	7.974	174,7	169,1	46.512	45.031
K-70	1.869	1.582	37,1	35,8	10.576	10.077
4-P-10	1.951	1.814	43,6	41,4	11.422	10.841
DIECIOCHO	2.085	1.671	39,8	37,6	12.268	10.872
SEIS	7.385	6.979	172,3	162,8	51.423	42.388
K-68	4.038	3.814	99,9	91,3	22.191	20.959
DIECINUEVE	3.576	2.647	63,1	59,5	18.418	17.354
MÓDULO 06	10.061	9.411	179,5	167,9	71.267	53.746
K-95	2.631	2.133	50,7	47,3	20.530	15.010
OCHO	7.691	6.445	142,7	133,2	43.925	41.013
DOS	7.193	5.321	126,3	117,8	39.157	36.514
SANTINI I	5.011	3.553	82,9	77,1	29.984	27.737
K-88.5	5.722	4.510	109,9	100,6	33.372	30.537
BACAME	3.937	2.885	69,3	63,1	25.430	21.749
4-P-8	6.930	6.124	130,8	118,8	46.094	41.143
C.M.D.	4.393	3.431	84,5	76,5	25.693	23.263
NÁINARI	1.283	961	22,6	20,4	8.696	4.620
4-P-6	4.444	4.010	104,9	94,6	32.001	24.590
K-105	3.374	2.204	54,4	48,8	23.778	15.651
K-91 NORTE	4.218	3.377	84,1	74,7	27.021	23.991
DOCE	6.409	5.324	134,6	118,6	41.108	36.210
4-P-12	4.770	3.694	94,7	83,4	26.474	23.310
VEINTIDÓS	4.152	3.269	88,7	71,3	31.090	24.971



**Módulos K-73.5 y K-63.** Estos módulos de riegos, fueron los únicos que presentaron eficiencia al 100% durante los tres años agrícolas, y sirvieron de referencia para el resto de los módulos al aprovechar adecuadamente sus recursos, para las diversas variables. En cuanto a los valores observados y los valores objetivos fueron idénticos en las diferentes variables y análisis realizado por el modelo DEA, situándose siempre en la frontera eficiente. Es importante indicar, que estos módulos cuentan con superficies agrícolas pequeñas, lo que permite el aprovechamiento de sus recursos adecuadamente.

**Módulo 4-P-8.** Este módulo, a pesar de haber sido eficiente en el año agrícola 2010-2011, por haber sembrado 66.4% de su superficie con cultivos más rentables (hortalizas), fue ineficiente para el resto de los demás años, debido a que cambió su patrón de cultivo; además de utilizar inadecuadamente sus inputs, y presentar en algunas parcelas suelos arenosos que utilizan mayor cantidad de agua.

**Módulo K-73.8.** El módulo de riego fue ineficiente en el año agrícola 2010-2011 y pasó a hacer eficiente los ciclos agrícolas 2011-2012 y 2012-2013, debido al incremento de cultivos más rentables (hortalizas), además de realizar prácticas agrícolas en beneficio de sus usuarios, como el de mantener limpios los canales para una mejor conducción del agua de riego.

**Módulo 02.** El módulo pasa de ineficiente en el año agrícola 2010-2011 a eficiente en los dos siguientes ciclos agrícolas; esto debido al buen manejo de sus inputs, situándose sobre la frontera eficiente. Una ventaja de este módulo es que cuenta con una superficie sembrada con cultivos más rentables, además de contar con tomas directas en una gran parte del área agrícola sembrada.

**Módulo K-68.** El módulo de riego fue eficiente solamente en el año agrícola 2011-2012, debido al mal uso en el manejo de riegos, lo cual provoca mayor gasto de volumen de agua.

**Módulo Catorce.** Este módulo de riego fue eficiente en los años agrícolas 2011-2012 y 2012-2013, debido al mejor manejo en el trazo de riegos y haber aprovechado sus recursos adecuadamente.

**Módulo 10.** Este módulo de riego fue eficiente en los años agrícolas 2011-2012 y 2012-2013, corrigiendo sus prácticas agrícolas supervisando los riegos (día y noche) durante el periodo que duran estos.

**Módulo DIEZ.** Para mantener su eficiencia del último año agrícola, deberá continuar manejando adecuadamente sus recursos (inputs), y realizar mejores prácticas agrícolas con la finalidad de alcanzar la frontera eficiente.



**Módulo K-66.** Este módulo de riego, fue eficiente únicamente en el año agrícola 2012-2013. Fundamentalmente, deberá poner atención a los trazos de riego y manejo de agua para corregir la ineficiencia en el volumen de agua de riego.

**Módulo 11.** Este módulo presenta eficiencia únicamente en el año agrícola 2012-2013. Este módulo de riego fue ineficiente en los otros dos ciclos agrícolas analizados. Presenta ineficiencia, principalmente porque se encuentra al margen del Rio Yaqui; contando con aproximadamente 3,000 ha de terrenos arenosos, lo cual ocasiona un mayor consumo de agua. Además, de necesitar en algunas otras parcelas nivelación para un mayor aprovechamiento del recurso agua.

**Módulo DOS-B.** Este módulo de riego también presenta eficiencia únicamente en el año agrícola 2012-2013. El principal problema de este módulo es que presenta un mal manejo de riego, además de nivelar parcelas y reducir costos de producción en sus cultivos.

**Módulo CUATRO.** Este módulo de riego fue eficiente en los años agrícolas 2012-2013 y 2013-2014, mejorando fundamentalmente el manejo de riegos (trazo y volumen de agua), ya que cuenta con suelos arenosos.

## Conclusiones

La metodología Análisis Envolvente de Datos (DEA), aplicada en el distrito permitió conocer las ineficiencias en cada uno de los módulos de riego estudiados; así como la posibilidad de incrementar su eficiencia, reduciendo los inputs según sea el caso.

El estudio determinó las tendencias y variaciones anuales e interanuales de eficiencias; como un aporte a los productores para la toma de decisiones que les permita minimizar las ineficiencias presentadas.

El DEA mostró el margen de mejora para cada módulo de riego ineficiente para lograr la frontera de eficiencia, y por lo tanto lograr contar con módulos de riego eficientes.

Existe en cada año agrícola una variabilidad de mejora diferente en los inputs, lo que permite diseñar estrategias para cada variable analizada con el propósito de alcanzar la frontera de posibilidades en los próximos años agrícolas; y faculten a los directivos de cada módulo de riego tomar las decisiones más correctas, en función de las mejoras con las que cuenta cada módulo de riego, en cuanto a reducir superficie sembrada, disminuir volumen de agua, y/o mejorar los costos de producción.

## Referencias bibliográficas

Agua. org.mx. 2017 Centro virtual de información del agua. <http://www.agua.org.mx/el-agua/agua-en-mexico/cuanthay2>



- Banker, R. D., Charnes, A. y Cooper W.W. 1984. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science* 30 No. 9, pp. 1078-1092.
- Coelli, T. 1996. A guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program. CEPA Working Paper 96/08
- Coll S. V. y Blasco B. O. 2006. Frontier Analyst Una herramienta para medir la eficiencia Eumed.net Universidad de Málaga, España.
- Comisión Nacional de Agua. 2003. Determinación de la disponibilidad de agua subterránea en el acuífero valle del Yaqui, estado de Sonora. Subdirección General Técnica.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua), 2015. Estadísticas del Agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EA M2015.pdf>
- FAO, (2002). Cumbre Mundial sobre la Alimentación. Cinco años después. El agua y la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Roma, Italia.
- FAO, 2012. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. Publicado por: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Ediciones Mundi-Prensa. Madrid (España) [www.mundiprensa.com](http://www.mundiprensa.com)
- FAO (2013). Afrontar la escasez de agua Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO Roma, 2013.
- FAO (2017). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. La labor de la FAO en el agua. <http://www.fao.org/water/es/>
- Farrell, M. J. 1957. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, Vol. 120 No. 3 (1957) 253-290.
- González, V. F. (2014). Los recursos, agua, suelo y el clima. Patrón de cultivos, bosques, infraestructura. Notas para comprender la relación agua y alimentos en México. Centro de estudios para el desarrollo rural sustentable y la soberanía alimentaria.
- Goñi, L. S. 1998. El análisis envolvente de datos como sistema de evaluación de la eficiencia técnica de las organizaciones del sector público: Aplicación en



los equipos de atención primaria. *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, Vol. XXVII No. 97, pp. 979-1004.

Mejía, S. E., Palacios, V., E., Exebio, G. A., Santos H. A. L. 2002. Problemas operativos en el manejo del agua en distritos de riego Terra Latinoamericana, vol. 20, núm. 2, abril-junio, 2002, pp. 217-225 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México

Minjares, L. J. L., Salmón, C. R. F., Valdés, J. B., Oroz, R. L. A. y López, Z. R. 2009. Índice económico para el manejo interanual del agua: caso del Distrito de Riego 041 Río Yaqui, México *Ingeniería hidráulica en México*, vol. XXIV, núm. 1, pp. 41-54.

Minjares, L. J. L., Salmón, C. R. F., Valdés, J. B., Oroz, R. L. A. y López, Z. R. 2010. Planeación, manejo y evaluación sustentable de los recursos hidráulicos en el Distrito de Riego 041, Río Yaqui, México. *Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería hidráulica en México*, vol. I, núm. 1, enero-marzo de 2010, pp. 137-151.

Olivera, M. V., Abraham E. y Alatríste, G. M. 2008. El uso racional del agua de riego en México: entre la eficiencia y la institucionalidad *Revista Nicolaita de Estudios Económicos*, Vol. III, No. 1, enero - junio de 2008, pp. 49-66.

Palacios, M. A., Rodríguez, A. M. L. y Barajas, O. G. (2010). Tratamiento electrostático (esp) del agua para riego facultad de ciencias agrícolas y forestales/universidad autónoma de chihuahua. *AVENTURAS DEL PENSAMIENTO*. 55 *Revista Synthesis* No. 55. Universidad Autónoma Chihuahua, México. Julio-septiembre 2010.

Rodríguez Díaz, J. A. 2003. Estudio de la gestión del agua de riego y aplicación de las técnicas de benchmarking a las zonas regables de Andalucía. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba, España.

Rodríguez Díaz, J. A., Camacho Poyato, E., López Luque, R. 2004. Application of Data Envelopment Analysis to Studies of Irrigation Efficiency in Andalusia. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 130:175-183

Toledo, A. (2002). El agua en México y el Mundo. *Gaceta Ecológica*. file:///C:/Users/usuario/Downloads/Dialnet-ElAguaEnMexicoYEIMundo-2887484%20(2).pdf

Unesco, (2015). Agua para un mundo sostenible. Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015. [http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015\\_Facts\\_Figures\\_SPA\\_web.pdf](http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015_Facts_Figures_SPA_web.pdf)