

Evaluación del desempeño de los distritos de riego en México mediante análisis de eficiencia técnica

Performance assessment of irrigation districts in Mexico through technical efficiency analysis

Anabel Altamirano Aguilar¹

José Benigno Valdez Torres²

Cuitláhuac Valdez Lafarga³

Jorge Inés León Balderrama⁴

Miguel Betancourt Lozano⁵

Tomás Osuna Enciso⁶

¹Estudiante de Doctorado en Ciencias, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD). Carretera a Eldorado Km. 5.5, Col. Campo El Diez, C.P. 80110, Culiacán, Sinaloa, anabel.altamirano@estudiantes.ciad.mx

²Departamento de Estadística Aplicada, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Carretera a Eldorado Km. 5.5, Col. Campo El Diez, C.P. 80110, Culiacán, Sinaloa, jvaldez@ciad.mx

³Coordinador Académico del Doctorado en Ciencias Administrativas, Universidad de Occidente Unidad Culiacán, Dirección: Boulevard Lola Beltrán 3210, 80020 Culiacán, Sinaloa, cui.valdez@gmail.com

⁴Investigador Titular C; SNI nivel I. Coordinación de Desarrollo Regional, Departamento de Economía Regional e Integración Internacional (DERII), Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.; Edificio Desarrollo; Carretera a la Victoria Km. 0.6; Hermosillo, Sonora, C.P. 83304, Apdo. Postal 1735, jleon@ciad.mx

⁵Investigador Titular C, SNI-I, Coordinación de Acuicultura y Manejo Ambiental. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) Unidad Mazatlán en Acuicultura y Manejo Ambiental. AP.711, Mazatlán, Sin., México 82000, mbl@ciad.mx

⁶Investigador Titular C; SNI:Nivel I, Departamento de Horticultura, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Carretera a Eldorado Km. 5.5, Col. Campo El Diez, C.P. 80110, Culiacán, Sinaloa, osuna@ciad.mx

Autor para correspondencia: José Benigno Valdez Torres, jvaldez@ciad.mx

Resumen

Los problemas del riego están estrechamente relacionados con una gestión ineficiente de infraestructura de riego, distribución del agua y diversas prácticas agrícolas. En México, los distritos de riego (DR) son organizaciones que tienen un rol relevante en la gestión del riego, de ahí la pertinencia de evaluar su desempeño, con base en una muestra de 42 distritos de riego, dentro del marco conceptual sistémico de Burton (2010), *benchmarking*, basado en eficiencia técnica DEA y rendimiento de escala. Primero, se formaron seis grupos de DR homogéneos a los que se aplicó un Análisis de Componentes Principales y un Análisis de Conglomerados con variables como número de usuarios, área regada, principales cultivos y formas de distribución del agua de riego. Enseguida, de acuerdo con la disponibilidad de registros, variables e indicadores de desempeño fueron seleccionados para los sistemas de infraestructura, finanzas, producción y medio ambiente. Finalmente, variables e indicadores determinantes de eficiencia se identificaron mediante regresión Tobit. A manera de ilustración, dos conglomerados (CS5 y CS6) fueron seleccionados para evaluar el desempeño del riego. El *benchmarking* resultó una estrategia adecuada para evaluar el desempeño de los DR a nivel de conglomerados y de sistemas dentro de cada conglomerado. Las eficiencias y rendimientos de escala calculados mostraron fortalezas y debilidades de cada uno de los distritos. Las eficiencias promedio, por distrito, permitieron hacer un ranking y determinar el distrito referente (*benchmarker*) en cada conglomerado. Finalmente, la regresión Tobit permitió identificar factores determinantes de ineficiencia por conglomerado.

Palabras clave: análisis Envolvente de Datos, *Benchmarking*, Distritos de Riego, Rendimiento de Escala.

Abstract

Problems with irrigation are closely related with an inefficient management of aspects such as: irrigation infrastructure, water distribution, and agricultural practices. In Mexico, the irrigation districts (ID) are organizations with a relevant role in irrigation management. Hence the pertinence of evaluating their performance. Following Burton's (2010) systemic conceptual framework, a benchmarking, based on DEA technical efficiency and scale efficiency, was applied to a sample of 42 irrigation districts. First, 6 groups of homogenous IDs were formed applying Principal Component Analysis, and Cluster Analysis using variables such as: number of users, irrigated area, main crops, and water distribution forms. Afterwards, in accordance to available records, performance variables and indices were selected for systems of infrastructure, finance, production, and natural environment. Finally, significant performance variables and indices were identified through Tobit regression. For illustration purposes, two clusters (CS5 and CS6) were selected to evaluate irrigation performance. Benchmarking resulted an adequate strategy to evaluate performance of IDs at a cluster level, and systems level within each cluster. The scale efficiencies and yield metrics calculated showed strengths and weaknesses within each district. Average efficiencies, by district allowed to rank the districts, and to identify the benchmarker district, in each cluster. Lastly, the Tobit regression allowed to identify significant inefficiency factors in each cluster.

Keywords: Data Envelopment Analysis, Benchmarking, Irrigation Districts, Returns to Scale.

Recibido: 16/06/2017

Aceptado: 02/07/2018

Introducción

El agua, más que la tierra, se ha convertido en la restricción limitante para el desarrollo en el mundo, con muchas cuencas cerradas o

acercándose a su clausura. El mensaje es claro y contundente, se requiere mayor atención y recursos aplicados a las fuentes finitas de agua en el planeta a fin de alimentar a su población y sostener los ecosistemas acuáticos. La agricultura de riego consume alrededor del 70% del agua utilizada para usos consuntivos, la cual es gestionada de manera deficiente. "Eficiencia" en la gestión debe ser la palabra clave para los administradores de riego. Se requiere eficiencia en todas sus operaciones para que la sustracción de agua del subsuelo se mantenga en un mínimo, se puedan mantener ríos y mantos freáticos para el ambiente y el agua se entregue donde, cuando y en la cantidad requerida. Los desperdicios deben reducirse en todos los eslabones de la cadena de suministro (Burton, 2010).

El *benchmarking* es la estrategia que ha ganado importancia en el estudio del desempeño del riego. Con ella se evalúa la gestión de una organización al contrastar su desempeño con el de otras similares y aún consideradas mejores (Malano & Burton, 2001). Al comparar las actividades y procesos de las organizaciones encargadas del riego, ha sido posible obtener información de utilidad relacionada con la forma en que estos organismos manejan recursos, generan productos y prestan servicios y elaboran tanto diagnósticos de sistemas de riego como propuestas para mejorar su gestión (Ali & Klein, 2014; Borgia *et al.*, 2013; Chebil, Frija & Abdelkafi, 2012).

En México, la infraestructura de riego comprende 6.4 millones de hectáreas y ocupa el sexto lugar mundial, de las cuales 3.4 millones de hectáreas corresponden a 85 distritos de riego (DR) (Conagua, 2014a), que utilizan 26 819 millones de m³ de agua, 31.31% del agua total concesionada para usos consuntivos (Conagua, 2016). En gran parte de los DR las parcelas reciben agua por gravedad, con altas pérdidas (30%) por mala conducción y distribución del líquido, que se atribuyen al mal estado de su infraestructura y a estructuras de control inadecuadas en su red de canales (Mejía, Palacios, Exebio & Santos, 2002; Peinado-Guevara, V. M., Camacho-Castro, Bernal-Domínguez, Delgado-Rodríguez, & Peinado-Guevara, H. J. 2012; Conagua, 2013). Otros estudios concluyen que las tarifas de riego son insuficientes para garantizar la operación y conservación de la infraestructura de riego y disminuyen la eficiencia de conducción del agua, dados los altos costos en rehabilitación y mantenimiento de la red, Exebio, Mejía, Santos & Delgadillo, 2002). En general, las fuentes de ineficiencia, su estimación

y posibles alternativas de solución constituyen un problema de estudio que no ha sido abordado a profundidad.

En un primer estudio de la gestión del riego en México, realizado de 1998 a 2001, se recopilaron datos anuales sobre 93 variables con el objetivo de evaluar comparativamente la gestión del riego en las asociaciones de usuarios. Una prueba piloto denominada Programa de Evaluación Basada en Indicadores de Calidad (PEBIC) y realizada de 2001 a 2002, incluyó 34 módulos de riego en 8 distritos y se analizaron 21 indicadores de desempeño sobre aspectos de operación, mantenimiento, modernización, administración financiera y transparencia de gestión. A través del PEBIC se pretendía comparar distritos y módulos con el propósito de diagnosticar las causas de las diferencias en el desempeño. En 2002, un consultor independiente aplicó *benchmarking* mediante los indicadores de Malano & Burton (2001) para evaluar el desempeño de cinco módulos del distrito de riego Río Yaqui (Cornish, 2005).

En general, los alcances de estos trabajos fueron limitados por la validez y calidad de los datos recolectados y la falta de un análisis estadístico de los mismos. Un estudio de mayor impacto, mediante *benchmarking* llevado a cabo en módulos de riego del distrito de riego Río Mayo, analizó indicadores de operación, productividad y administración financiera en el periodo 1998 – 2003. Se diagnosticaron las causas de las variaciones de desempeño entre módulos, pero no se recomendaron prácticas ni acciones específicas para mejorar el desempeño (Cornish, 2005).

Dada la importancia del riego en la producción de alimentos, el alto porcentaje de agua utilizado en la agricultura y los problemas relacionados con su gestión, resulta pertinente estudiar el riego en México desde un marco integral, con un enfoque en la eficiencia de sus sistemas operadores como entes ya sean productivos o de servicio.

Como primer paso para abordar la problemática del riego, es recomendable identificar los factores que inciden sobre el desempeño de las organizaciones encargadas de esta actividad. El análisis envoltante de datos (DEA, por sus siglas en inglés) es una herramienta ampliamente utilizada para estudiar y evaluar el desempeño de las organizaciones a través de los insumos que utiliza y los productos que genera

Partiendo de lo anterior, el objetivo del presente estudio es llevar a cabo un estudio de *benchmarking* de los DR utilizando DEA, con el fin de evaluar el desempeño del riego, detectar ineficiencias en su gestión e identificar áreas de oportunidad que permitan a los tomadores de decisiones delinear alternativas y/o medidas que busquen mejoras en la gestión del agua en los DR en México.

Antecedentes

La evaluación del desempeño de las actividades y operaciones del riego es un proceso complejo, dada la gran cantidad de factores que influyen en el riego y la gran diversidad de esquemas en que éstas se llevan a cabo. Un enfoque que ha recibido gran atención es la estrategia de *benchmarking*, basada en el análisis de eficiencia técnica, mediante el uso de indicadores de desempeño, análisis de la frontera estocástica y análisis envolvente de datos. A partir de estas herramientas, la literatura muestra una serie de estudios que buscan comparar los distritos de riego en función de sus niveles de eficiencia, identificar rendimientos de escala y factores externos que inciden sobre los índices de eficiencia observados.

El DEA se ha aplicado a nivel de productores individuales (granjas). Un estudio de productores de café en Vietnam mostró que los pequeños eran menos eficientes que los grandes. Las ineficiencias observadas se atribuyen, en parte, a la escala de las inversiones realizadas en infraestructura de riego (Rios & Shively, 2005). Los impactos del tipo de sistema de irrigación, junto con otras variables, sobre la eficiencia en el uso del agua de riego se estudió en el oeste de Kansas, USA; determinándose la relación entre la magnitud del exceso de agua de riego, el tipo de sistema de irrigación y un número de características del productor (Lilienfeld & Asmild, 2007). DEA y regresión Tobit fueron utilizados para determinar la eficiencia y los factores causales de baja eficiencia de agricultores de riego en Túnez. La eficiencia promedio fue menor a 65%, la cual se atribuyó a los costos de operación, el nivel educativo de los agricultores y su falta de acceso al crédito y los servicios de extensión agrícola. Sin embargo, algunos productores

podrían reducir su consumo de agua sin afectar su producción Chebil, Frija, & Abdelkafi, 2012).

En un estudio bajo el Programa de Investigación de Verificación en Trigo, implementado en la Universidad de Arkansas, el análisis DEA reveló que la mayoría de los campos participantes tenían altas eficiencias técnicas y de escala toda vez que los insumos se usaban en los niveles mínimos necesarios para alcanzar las producciones logradas. Sin embargo, la mayoría de los campos exhibían ineficiencia económica y de distribución y no usaban sus recursos en las combinaciones necesarias para alcanzar costos mínimos.

El análisis Tobit indicó que las ineficiencias económicas y de distribución podían evitarse en buena medida con una mejor selección de variedades y una irrigación más eficiente (Watkins, Hristovska, Mazzanti, Wilson Jr. & Schmidt, 2014). En su búsqueda por mejorar la producción de caña de azúcar y hacer un uso eficiente de los recursos naturales, un estudio realizado en Pakistán al estimar, mediante DEA, la eficiencia en el agua de riego encontró ineficiencias substanciales en las formas de aplicación del riego, tanto de los propietarios de los sistemas de agua entubada como de los compradores de agua.

Educar a los agricultores, crear mejores condiciones de crédito y oportunidades de ingresos fuera de la agricultura y proveer mejores servicios de extensión que incluyan tecnologías de producción ayudaría a las eficiencias técnica y de riego en la producción de caña de azúcar. Un hallazgo clave del estudio fue que el acceso a la tecnología no es una restricción mayor en la producción de caña de azúcar; más bien, los productores pueden incrementar rendimientos con la tecnología disponible.

En el largo plazo, las mejoras requeridas en eficiencia y productividad en la industria de la azúcar en Pakistán, deben ir en curso con las mejoras en eficiencia técnica en la producción de azúcar dentro del uso eficiente de los recursos de agua limitados (Watto & Mugera, 2015).

Al estudiar asociaciones de usuarios bajo varios modelos DEA, SE encontró que asociaciones aparentemente eficientes mostraron rendimientos de escala decrecientes, lo cual se atribuyó a una saturación en los servicios del riego. Los resultados ayudaron a delinear e implementar estrategias y políticas para administradores, gerentes e ingenieros, a fin de que comprendieran las operaciones de las

asociaciones eficientes y emularan sus mejores prácticas para alcanzar la eficiencia.

A nivel de distritos de riego, se han determinado rankings consistentes basados en la eficiencia de la irrigación y se han propuesto mejoras operacionales y administrativas para los distritos menos eficientes, mediante su orientación a cultivos más rentables (Ntontos & Karpouzou, 2010). Evaluaciones comparativas (*benchmarks*) en productividad y desempeño, basadas en DEA, han permitido identificar esquemas de riego eficientes y deficientes, agrupándolos de acuerdo con su desempeño productivo y económico (Borgia *et al.* (2013). Naceur & Mongi (2013) determinaron que el nivel educativo y el entrenamiento agrícola tienen un impacto significativo en la eficiencia del uso del agua, lo que puede resultar de importancia para extensionistas y administradores en la elaboración de guías para incrementar la eficacia en el aprovechamiento del agua. Otras aplicaciones del DEA han ayudado a estimar cuánta agua pueden ahorrar los distritos de riego sin reducir la cobertura de área irrigada, con técnicas de riego avanzadas, pero que han declinado en su eficiencia técnica (Ali & Klein, 2014).

A nivel regional, el DEA se aplicó para evaluar y comparar el desempeño productivo de trigo cultivado en varias regiones de Pakistán y la India. Tres insumos fueron utilizados para el análisis: agua de riego (m^3/ha), semilla (kg/ha) y fertilizantes (kg/ha). Los resultados mostraron que las unidades ineficientes podían ahorrar recursos considerables adoptando las mejores prácticas de las unidades de alto desempeño. El sobreuso de riego y fertilizantes se identificó como la fuente principal de ineficiencia entre las unidades regionales e interregionales. Un análisis detallado es necesario para identificar otras causas subyacentes de ineficiencias, incluyendo factores ambientales y prácticas agrícolas (Malana & Malano, 2006). En la Unión Europea se implementó un estudio basado en DEA con la finalidad de contribuir al desarrollo de un enfoque metodológico que pueda simplificar la evaluación del desempeño de sistemas agrícolas sustentables, mientras se considera una perspectiva multidimensional.

Algunos de los escenarios elegidos reflejaron preferencias con respecto a la importancia de las tres dimensiones de sustentabilidad. Fue determinante el impacto de la elección de modelos tales como retornos de escala constante y variable, modelos orientados a entradas contra orientados a salidas y balance de restricciones. La aplicación del DEA a nivel regional permitió disminuir la heterogeneidad y evaluar los desempeños dentro de cada estado miembro de la UE y entre ellos. Esta

heterogeneidad es un tópico de investigación fundamental en el dominio de evaluación de la sustentabilidad de los sistemas agrícolas (Gerdessen & Pascucci, 2013).

Otra aplicación del DEA, a nivel regional, usó varias entradas y salidas para medir el desempeño de áreas agrícolas en valles, planicies y montañas de Rumania. Existieron claras diferencias de desempeño entre áreas con características geográficas similares en términos de asignación de factores de producción (mano de obra, tierra y mecanización) y productos. En la mayoría de las áreas, la eficiencia global de la agricultura no es alcanzada, estas regiones necesitan decrecer sus niveles de insumos o incrementar sus niveles de productos a través de uso de capital fijo y altos rendimientos (Toma, Dobre, Dona & Cofas, 2015).

Marco conceptual

Riego, sistema de riego y esquema de riego

El riego agrícola es una mezcla compleja de procesos técnicos, institucionales, económicos, sociales y ambientales que ha sido conceptualizada de diversas maneras. Chambers (1988) identifica el riego como un esquema constituido por dominios físicos, humanos y bioeconómicos que intercambian bienes y servicios entre sí. Observado a través de un enfoque sistémico, Small & Svendsen (1990) consideran el riego como un sistema —con entradas, salidas e impactos— ubicado dentro de un contexto de sistemas económicos anidados. A partir de lo anterior, y bajo el mismo enfoque, Burton (2010) propone estudiar el riego como un sistema constituido por cinco dominios (Tabla 1).

Tabla 1. Dominios y componentes de un esquema de riego (Burton, 2010).

Dominio	Componentes
---------	-------------

Técnico	- Condiciones físicas relacionadas a diseño y operación. - Infraestructura física
Institucional	- Sistema político - Marco legal - Organizaciones y estructuras y funciones organizacionales
Económico	- Mercados - Precio de Mercado - Desarrollo y costos operacionales - Oportunidades de empleo
Social	- Población - Comunidades y estructuras sociales
Ambiental	- Impacto sobre el ambiente acuático - Inundación y salinidad - Asuntos de salud

Sistema de riego y esquema de riego

Para el estudio de la gestión del riego, desde una perspectiva administrativa, es importante tener claros dos conceptos; *sistema de riego* y *esquema de riego*. Un sistema de riego se refiere a la red de canales de irrigación y drenaje, estructuras incluidas; mientras que un esquema de riego se refiere al complejo total de irrigación y drenaje: el sistema de riego y drenaje, la tierra irrigada, los pueblos, los caminos, etc. (Burton, 2010).

Evaluación del desempeño en un esquema de riego: marco general

El marco general, propuesto por Burton (2010), para la elaboración de un programa de evaluación del desempeño en un esquema de riego consta, operativamente, de cuatro etapas: propósito y alcance, diseño, implementación, y acción.

Propósito y alcance

Plantea responder las preguntas: ¿Para quién es la evaluación? ¿Desde el punto de vista de quién se llevará a cabo? ¿Quién la efectuará? y ¿Cuál es su tipo y extensión? La evaluación del desempeño puede efectuarse en nombre de una variedad de interesados: el gobierno, agencias de fondeo, proveedores de servicio de riego, gerentes de sistemas de riego, agricultores e instituciones de investigación. La evaluación del desempeño se puede efectuar desde la perspectiva de los productores agrícolas, inversionistas del sector y/o el gobierno; y ésta puede llevarse a cabo por diferentes organizaciones o individuos con distintas capacidades y habilidades en relación a la evaluación del desempeño.

En relación al tipo de evaluación, Small & Svendsen (1990) identifican cuatro tipos diferentes de evaluación del desempeño: *operacional*, *de responsabilidad*, *de intervención* y *de sustentabilidad*; a los cuales Burton (2010) añadió un quinto tipo – *análisis diagnóstico*. La evaluación *operacional* se relaciona con el monitoreo día a día, temporada a temporada y con la evaluación del desempeño por esquema. La evaluación *de responsabilidad* se efectúa para medir el desempeño de los responsables de la administración de un esquema de riego.

La evaluación *de intervención* se efectúa para estudiar el desempeño de un esquema de riego, y generalmente busca formas para mejorar su gestión. La evaluación *de sustentabilidad* se enfoca en el uso a largo plazo de los recursos y sus impactos. La evaluación *de diagnóstico* usa la evaluación del desempeño para identificar las causas del desempeño con el fin de poder hacer mejoras sobre los niveles de desempeño obtenidos.

El alcance de una evaluación de desempeño necesita ser identificado y sus fronteras definidas. Dos fronteras primarias se relacionan con las dimensiones espaciales y temporales. La espacial se refiere al área o número de esquemas cubiertos; la temporal se refiere a la duración del ejercicio de evaluación y la extensión temporal. El uso del enfoque sistémico propuesto por (Burton, 2010) puede ayudar a la definición y comprensión de las fronteras y el alcance del programa de evaluación. La perspectiva sistémica se enfoca en entradas, procesos, salidas e impactos. La medición de salidas provee información sobre la efectividad del uso de recursos, mientras que la comparación de salidas contra entradas provee información sobre la eficiencia del proceso para convertir entradas en salidas.

La parte final de esta etapa consiste en elaborar los objetivos del programa de evaluación. Estos objetivos deben plantearse a tres niveles: *racional*, *general* y *específicos*. Al nivel *racional* se delinea por qué el programa es requerido, el *objetivo general* detalla el propósito general del programa, mientras que los *objetivos específicos* pueden ser requeridos para proveer mayor detalle de cómo el objetivo global será alcanzado. La elaboración de los objetivos se presenta con mayor detalle en la siguiente etapa del programa de evaluación.

Diseño del programa

Una vez especificado el enfoque de la evaluación del desempeño en términos de propósito y alcance, se procede al diseño del programa. En esta etapa, las siguientes preguntas claves deben ser consideradas: ¿Cuáles criterios se deben usar? ¿Qué indicadores de desempeño se deben usar? ¿Cuáles datos se requieren? ¿Quién recolectará los datos? ¿Cómo, dónde y cuándo se recolectarán los datos? y ¿Cuál es el formato requerido de los resultados? Las definiciones siguientes ayudan a clarificar las respuestas a las preguntas anteriores:

Propósito (meta): El propósito es útil para identificar claramente un nivel de logro hacia el que hay que luchar. Las metas se relacionan con resultados de desempeño deseados a futuro.

Criterio: Los criterios son resultados más específicos y medibles que el propósito. Un criterio generalmente indica la dirección hacia la cual se debe dirigir una organización para hacer lo mejor.

Indicador: Los indicadores de desempeño son la herramienta principal en un programa de evaluación del desempeño. Un indicador de desempeño es una razón que relaciona dos o más variables (i. e. área regada, volumen de agua de riego aplicada o productividad) en forma tal que una gran cantidad de información puede ser reducida a un solo número. Los indicadores permiten identificar las variables sobre las cuales se deben recolectar datos.

Objetivo: Un objetivo es algo que se debe perseguir hasta su nivel más completo y que puede indicar generalmente la dirección del cambio o efecto deseado. Los objetivos están hechos de criterios, por ejemplo, maximizar la producción agrícola, asegurar la equidad en el suministro de agua u optimizar la eficiencia en la distribución del agua. Los criterios se pueden medir usando indicadores de desempeño, los cuales identifican los requerimientos de datos que deben ser recolectados, procesados y analizados.

Implementación

Se aplican metodologías para la recolección, procesamiento y análisis de datos. Dependiendo de la naturaleza del programa de evaluación del desempeño, la implementación puede cubrir un periodo corto (semanas) o un periodo largo (años).

Aplicación de resultados

El uso de los resultados de la evaluación del desempeño dependerá de la razón para llevarla a cabo. Posibles acciones después de la conclusión de la evaluación del desempeño son: (1) Redefinición de objetivos

estratégicos, (2) Redefinición operacional de objetivos, y (3) Implementación de medidas correctivas. Donde la evaluación del desempeño identifica la causa raíz de un problema, estudios adicionales pueden ser requeridos para implementar medidas que alivien el problema.

Niveles de evaluación

La evaluación del desempeño puede efectuarse a distintos niveles. Al *nivel sector* cuando se evalúa cómo el riego se desempeña en comparación con objetivos establecidos para el sector y en comparación con otros usos del agua. Al *nivel sistema principal* donde el desempeño del servicio de entrega del agua es medido. Al *nivel de la granja* donde el desempeño del envío de agua a la granja, el uso del agua y la aplicación del agua es medido.

Al *nivel esquema de riego*, cuando se mide cómo esquemas individuales se desempeñan contra sus objetivos establecidos implícitamente o explícitamente, o cuando se mide el desempeño de diferentes esquemas contra ellos mismos. Es importante definir desde un inicio si la evaluación del desempeño es para un esquema (*análisis interno*) o para comparar entre esquemas (*análisis externo*).

Un problema significativo con el análisis del desempeño de esquemas de riego es la complejidad y gran variedad de tipos de esquemas existentes, lo cual hace muy problemática la comparación entre ellos. Por ejemplo, los esquemas de riego pueden presentar diferentes formas de administración, de tecnología de riego, etc. Todavía no existe una metodología definitiva para categorizar los esquemas de riego, por lo que siempre habrá discusión de si se está comparando entre iguales. Se pueden utilizar descriptores clave para esquemas de riego como un punto de inicio para seleccionar esquemas con características similares clave para la comparación. En este punto es importante reconocer, sin embargo, que la comparación entre tipos diferentes de esquemas puede ser igualmente valiosa.

Benchmarking

El *benchmarking* de esquemas de riego es una forma comparativa (externa) de evaluación del desempeño que ha sido frecuentemente utilizada. De manera general, el *benchmarking* busca comparar el desempeño de los esquemas con las 'mejores prácticas' contra esquemas de menor desempeño, e identificar cuáles son las diferencias en desempeño (Burton, 2010). Una manera de llevar a cabo el *benchmarking* es a través de estudiar la eficiencia técnica con la que los diferentes organismos comparados realizan sus actividades.

Análisis de eficiencia técnica

El análisis de eficiencia técnica puede efectuarse a través de diversas herramientas estadísticas y matemáticas. El DEA es una técnica de programación lineal, que se ha utilizado con éxito para evaluar el desempeño relativo de un conjunto de unidades organizacionales que utilizan los mismos recursos (entradas) y obtienen los mismos resultados (salidas) (Ramanathan, 2003; Zhu, 2010).

Las unidades organizacionales de interés se denominan Unidades de Toma de Decisiones (DMU, por sus siglas en inglés). El propósito principal del DEA es medir la eficiencia del uso de los recursos disponibles en las DMU para generar un conjunto de productos (Charnes, Cooper & Rhode, 1979). El desempeño de las DMU, evaluado a través del DEA, en términos de *eficiencia técnica*, cual corresponde a un valor relativo que relaciona las salidas con respecto a las entradas de las DMU (Ramanathan, 2003). A continuación, se presenta una breve descripción de los modelos DEA más utilizados para estudios de *benchmarking*.

Modelo CCR

En general, el modelo CCR puede construirse con dos objetivos diferentes: maximizar las salidas, manteniendo la cantidad de entradas (modelo orientado a salidas) o minimizar las entradas, manteniendo los niveles de salidas (modelo orientado a entradas) (Cooper, Seiford, & Tone, 2007). La forma lineal del modelo CCR, orientado a salidas, para DMU_k, se muestra a continuación:

$$\max z_k = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rk}$$

Sujeto a

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1$$

$$\mu_r, v_i \geq 0$$

Donde x_{ij} y y_{rk} son las entradas y salidas de la DMU_j, respectivamente. Similarmente, μ_r y v_i representan las ponderaciones de las entradas y salidas, respectivamente. En este caso, se dice que una DMU_k es eficiente cuando $z_k = 1$. En el modelo CCR orientado a salidas, a diferencia del modelo orientado a entradas, se busca maximizar la función objetivo. En la práctica es más conveniente resolver la *forma dual* del Modelo (1), la cual se muestra a continuación:

$$\min \theta$$

Sujeto a

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \leq \theta x_{ik} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j \geq y_{rk} \quad r = 1, 2, \dots, s;$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

En el Modelo (2), la variable θ representa la eficiencia de la DMU_k y λ_j es una variable dual asociada con la DMU_j.

Modelo BCC

Banker, Cooper, Seiford & Zhu (2011) propusieron otro modelo, denominado modelo BCC, y agregaron la restricción de convexidad $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ al Modelo (2). Este modelo alternativo, con orientación a salidas, también conocido como *Modelo DEA Envolvente*, se muestra a continuación.

$$\min \theta$$

Sujeto a

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \leq \theta x_{ik} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j \geq y_{rk} \quad r = 1, 2, \dots, s;$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Al resolver el Modelo (3) se obtiene un valor de eficiencia óptimo (θ^*) para la DMU_k. El proceso se repite para cada DMU_j. Las DMUs con $\theta^* < 1$ se dice que son *ineficientes*, mientras que DMUs con $\theta^* = 1$ son *puntos en la frontera*.

Rendimiento de escala

Para una mejor comprensión del desempeño de una DMU, además de la eficiencia DEA, es importante determinar su rendimiento de escala. En general una DMU puede tener rendimiento de escala *decreciente*, *constante* o *creciente*. Es decreciente cuando una proporción de incrementos en entradas produce una proporción menor de incrementos en salidas; es constante, cuando las proporciones son iguales; y es creciente, cuando una proporción de incrementos en las entradas produce una proporción mayor de incrementos en las salidas. La Figura 1 muestra la eficiencia técnica, la eficiencia de escala y tres tipos de rendimiento de escala para DMU con una entrada y una salida.

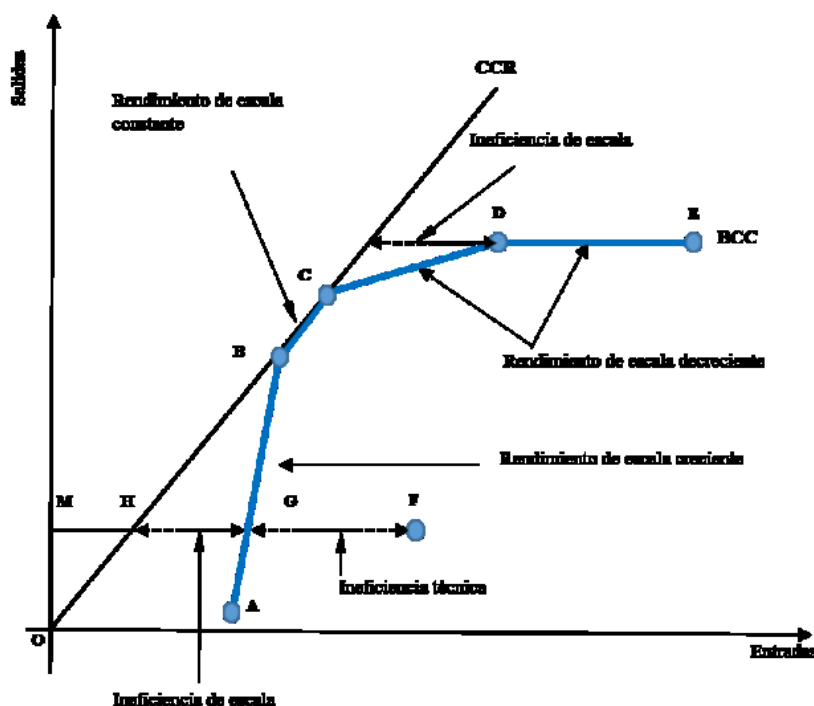


Figura 1. Rendimiento de escala. Adaptada de Malana & Malano (2006).

Bajo el modelo CCR, si (u^*, v^*) son soluciones óptimas, entonces (cu^*, cv^*) son también óptimas, para toda constante $c > 0$, por lo tanto, bajo un modelo CCR una DMU óptima opera bajo un rendimiento de escala constante. En la práctica esta es una condición muy restrictiva, ya que la mayoría de las DMUs operan bajo un rendimiento de escala variable. El modelo BCC es una mejora sobre el modelo CCR, ya que incorpora el rendimiento de escala variable mediante la restricción $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ al modelo CCR, la cual corresponde a una frontera de eficiencia convexa, permitiendo identificar si una DMU tiene un rendimiento de escala creciente, constante o decreciente (Cooper, Seiford & Tone, 2007).

Regresión Tobit

Una vez que las DMU eficientes e ineficientes han sido determinadas mediante el DEA, el siguiente paso es identificar los factores causales de estas ineficiencias. Una forma de hacer lo anterior consiste en relacionar los valores de eficiencia con variables que inciden sobre la operación de las DMU. La naturaleza relativa de la eficiencia técnica calculada la convierte en una variable dependiente censada, por lo que se recomienda utilizar un modelo de regresión Tobit. Un modelo Tobit con dos límites es adecuado para estimar el impacto de variables e indicadores de eficiencia, ya que los valores de eficiencia pueden estar censados en 0 o en 1 (Maddala, 1986). La expresión del modelo Tobit es la siguiente:

$$y_i^* = \beta_0 + \sum_{m=1}^M \beta_m x_{im} + \varepsilon_i, \varepsilon_i \sim IN(0, \sigma^2).$$

Donde, y_i^* es una variable latente que representa el valor de eficiencia para el distrito de riego i ; β_0 y β_m son parámetros desconocidos que se deben estimar; $x_{im} = 1, 2, \dots, M$ son variables explicativas (independientes) asociadas con el distrito de riego i ; y ε_i = un término de error que es normal e independientemente distribuido con media cero y varianza constante σ^2 . La variable latente y_i^* está expresada en términos de la variable observada y_i (el resultado de eficiencia calculado usando análisis DEA) en la forma siguiente:

$$y_i = 0 \quad \text{si } y_i^* \geq 1$$

$$y_i = y_i^* \quad \text{si } 0 \leq y_i^* \leq 1$$

$$y_i = 0 \quad \text{si } y_i^* \leq 0$$

Metodología

Inicialmente, se analizaron los 42 distritos de riego que conforman el Grupo Climático Seco obtenido por Altamirano-Aguilar *et al.* (2017). Para reducir la heterogeneidad entre los distritos, primero se realizó un Análisis de Componentes Principales usando las variables mostradas en el Tabla 2 (Conagua, 2015a). Luego se efectuó un Análisis de Conglomerados con los valores de los componentes para cada distrito para obtener grupos de distritos homogéneos (comparables). Una vez obtenidos los grupos comparables, dos de ellos fueron seleccionados arbitrariamente para evaluar el desempeño de sus distritos de riego, siguiendo el programa de evaluación del desempeño para esquemas de riego propuesto por Burton (2010) y aplicando el DEA para el análisis de eficiencia y *benchmarking*.

Tabla 2. Variables empleadas en la conformación de grupos homogéneos.

Variable	Unidad
Número de usuarios	-
Área Regada	ha
Superficie Sembrada de Alfalfa Verde	%
Superficie Sembrada de Frijol	%
Superficie Sembrada de Maíz Grano	%
Superficie Sembrada de Sorgo Grano	%
Superficie Sembrada de Trigo Grano	%
Agua Distribuida por Bombeo de Corrientes	%
Agua Distribuida por Bombeo de Pozos	%
Agua distribuida por Gravedad de Derivación	%
Agua Distribuida por Gravedad de Presas	%

A continuación, se detallan cada una de las etapas del programa de evaluación del desempeño desarrollado.

Etapa 1: propósito y alcance

Los resultados de este trabajo serán de utilidad a administradores de jefatura y gerencia de los distritos de riego, así como a investigadores relacionados con el tema de la gestión del agua de riego en general. La evaluación, realizada por un grupo investigadores y alumnos de posgrado del CIAD, A.C., se abordó desde el punto de vista de los productores agrícolas y de los administradores del riego.

El tipo de evaluación es operacional por esquemas (distritos de riego), definida espacialmente por las fronteras físicas y geográficas de cada distrito de riego y temporalmente por los ciclos agrícolas 2011-2012, 2012-2013 y 2013-2014. El alcance de la evaluación de desempeño, tomando como referencia de conjunto de sistemas anidados de Small & Svendsen (1990), comprende el sistema de riego, el sistema agrícola de riego y el sistema económico agrícola.

El propósito de este trabajo es contribuir a la mejora en la gestión de los distritos de riego. Como objetivo general se plantea incrementar las productividades agrícola y económica del agua, a través de los objetivos específicos siguientes: (1) maximizar la cantidad de agua distribuida, (2) maximizar la recaudación de cuotas por servicio de riego, (3) maximizar la productividad agrícola y económica del agua de riego, y (4) disminuir el impacto de la actividad agrícola de riego sobre la degradación del suelo.

Etapas 2: diseño

A partir de los objetivos de la evaluación del desempeño se definieron los criterios e indicadores de desempeño mostrados en la Tabla 3. Para el cálculo de los indicadores de desempeño se utilizaron registros, por distrito de riego, de las variables siguientes: longitud total de canales (km), costos de rehabilitación (\$), costos de tecnificación (\$), eficiencia de conducción de agua, volumen de agua total anual entregada a usuarios (miles de m³), área regada total (ha), producción agrícola (miles de ton), costo de administración (miles de \$), costo de operación (miles de \$), costo de conservación (miles de \$) y el índice de degradación del suelo.

Tabla 3. Criterios e indicadores para la evaluación del desempeño.

Objetivos	Criterio	Indicador de desempeño
Maximizar la cantidad de agua entregada a los usuarios	Eficiencia	Volumen de agua entregada (miles de m ³)/ha
Maximizar la recaudación de cuotas por servicio de riego	Eficiencia	Cuotas por servicio de riego (\$)/ha
Maximizar la productividad agrícola del agua	Productividad	Producción (ton)/ha
Maximizar el valor económico de la producción agrícola	Productividad	Valor de la producción (miles de \$)/ha
Minimizar la degradación de suelo	Eficiencia	Índice de degradación del suelo

Para el análisis de eficiencia y productividad se utilizaron los modelos DEA, CCR y BCC orientados a entradas usando variables e indicadores de desempeño considerando el modelo sistémico propuesto por (Malano & Burton, 2001) para un esquema de riego, el cual incluye tres *dominios*: (1) *servicio de entrega* (con las áreas de operación del sistema y de desempeño financiero), *eficiencia productiva* y *desempeño ambiental*.

Para la aplicación del análisis del DEA se consideraron los sistemas siguientes: *infraestructura* (I), en el área de operación del sistema, *finanzas generales* (FG) en el área de desempeño financiero, *producción General* (PG) en la eficiencia productiva y *ambiental* (A) en el desempeño ambiental. A partir de los resultados del DEA se determinaron las eficiencias relativas, los rendimientos de escala y los distritos con los mejores desempeños (distritos eficientes) y se efectuaron las comparaciones con los distritos de bajos desempeños (distritos ineficientes).

Etapas 3: implementación

La recolección de datos dependió de su disponibilidad en instancias oficiales. Los registros agrícolas e hidrométricos se obtuvieron de Estadísticas Agrícolas de Distritos de Riego para los ciclos agrícolas: 2011-2012, 2012-2013 y 2013-2014 (Conagua, 2015a). Los Registros de los Estados Financieros de Infraestructura Hidroagrícola se obtuvieron (Conagua, 2014b, 2015b; Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola, 2013). La validación de los datos se realizó mediante técnicas estadísticas descriptivas. El análisis de eficiencia relativa se llevó a cabo para los modelos mostrados en el Tabla 4, mediante el software OSDEA-GUI, versión 0.2.

El Rendimiento de Escala se obtuvo a través del método propuesto en (Banker, Cooper, Seiford & Zhu, 2011) que utiliza los valores de eficiencia de los modelos CCR y BCC, además de los valores de los valores de $\sum_j^n \lambda_j^*$ obtenidos con el modelo CCR. Primero, se seleccionan todos los distritos de riego que tienen la misma eficiencia CCR y BCC, independientemente de los valores de $\sum_j^n \lambda_j^*$ obtenidos con el modelo CCR. *Estos distritos tienen rendimiento de escala constante (CRS)*. Enseguida, para cualquier resultado de eficiencia CCR, se determinan las tasas de rendimiento para cada uno de los distritos restantes. Si $\sum_j^n \lambda_j^* < 1$, la DMU presenta rendimiento de *escala creciente*. Si $\sum_j^n \lambda_j^* > 1$, la DMU presenta rendimiento de *escala decreciente*.

La Regresión Tobit, con dos límites, se aplicó con la eficiencia como variable dependiente y como variables exploratorias se usaron: área regada (AR) (ha), número de usuarios (NU), canales revestidos (CR) (%), canales sin revestir (CSR) (%), Producción total anual /Área regada (P/AR) (toneladas/ha), Valor de la Producción/Área Regada (VP/AR) (miles de \$/ha), Costo de mantenimiento/Área Regada (CM/AR) (miles de \$/ha) e Índice de degradación de suelo (DS). Para el análisis estadístico se usó Stata 14.

Resultados y discusión

El análisis de componentes principales arrojó cuatro más con una varianza acumulada de 65%. A partir de ellos se obtuvieron seis conglomerados (CS1 - CS6) mediante análisis clúster con enlace Ward y

distancia euclidiana cuadrada, con una similitud mayor a 52% (Figura 2).

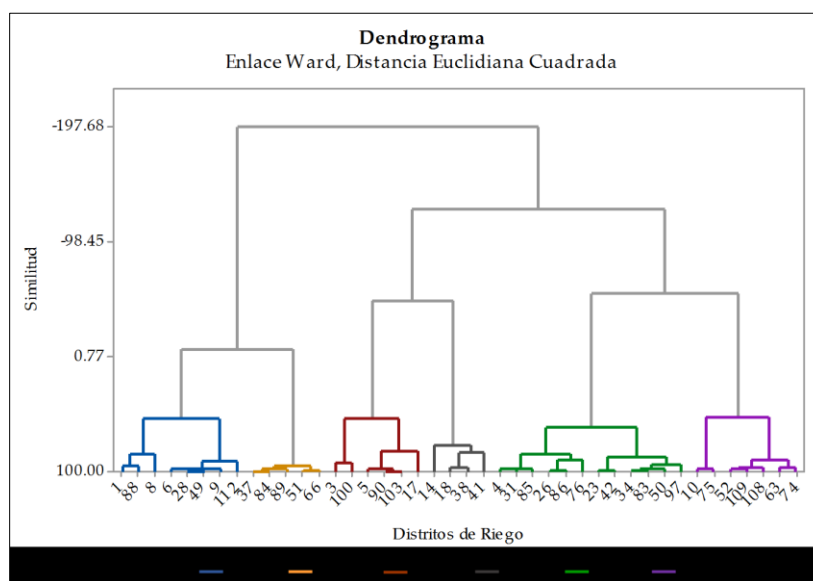


Figura 2. Dendrograma de los conglomerados del Grupo Climático Seco.

Benchmarking

Por razones de espacio, solamente se presentan el análisis de *benchmarking* para el conglomerado CS5 (distritos 50, 23, 31, 85, 76, 4, 83, 86, 26, 42, 97 y 34) y para el conglomerado CS6 (distritos 52, 108, 74, 10, 109, 75 y 63).

Benchmarking del conglomerado CS5. Presenta alta variabilidad en el área regada y el número de usuarios, si bien sus estadísticas indican que sus distritos son de tamaño mediano y, por otro lado, son homogéneos en infraestructura, volumen y valor de la producción, costo de mantenimiento, degradación del suelo y fuente de abastecimiento y conducción. Por los volúmenes de sus principales cultivos, este

conglomerado está constituido por distritos de riego productores de forraje (Tabla 4).

Tabla 4. Características generales de los distritos de riego del Conglomerado CS5.

Variable	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Mediana	Valor máximo
Área Regada (ha)	22081	27893	1808	7011	73215
Número de Usuarios	2913	3401	68	1822	10243
Canales Revestidos (%)	54.44	31.29	11.14	47.73	98.80
Canales sin Revestir (%)	39.84	30.69	1.20	36.24	88.86
Producción total anual /Área regada (toneladas/ha)	14.08	6.92	4.86	14.34	26.38
Valor de la Producción/Área Regada (miles de \$/ha)	31.19	12.69	12.55	30.53	52.63
Costo de mantenimiento/Área Regada (miles de \$/ha)	0.31	0.25	0.00	0.26	0.89
Índice de degradación de suelo	1.56	0.50	0.49	1.79	2.00
Fuente y conducción	Gravedad de presas				
Cultivos principales	Sorgo grano y Forraje				

Las estadísticas de área regada y el número de usuarios indican que el Conglomerado CS6 está constituido por distritos de riego grandes. Los distritos son homogéneos en infraestructura, volumen y valor de la producción, costo de mantenimiento, degradación del suelo y fuente de abastecimiento y conducción. Por los volúmenes de producción de sus principales cultivos, este conglomerado está constituido por distritos de riego productores de maíz y hortaliza (Tabla 5).

Tabla 5. Características generales de los distritos de riego del Conglomerado CS6.

Variable	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Mediana	Valor máximo
Área Regada (ha)	92511	83205	12023	59404	220007

Número de Usuarios	10637	7542	2432	8775	20791
Canales Revestidos (%)	52.30	34.20	8.90	50.10	100.00
Canales sin Revestir (%)	47.50	34.40	0.00	49.40	91.00
Producción total anual /Área regada (toneladas/ha)	13.20	6.34	4.43	13.40	23.56
Valor de la Producción/Área Regada (miles de \$/ha)	39.44	14.79	19.46	39.25	54.93
Costo de mantenimiento/Área Regada (miles de \$/ha)	0.78	0.32	0.41	0.74	1.40
Índice de degradación de suelo	1.67	0.31	1.15	1.81	1.97
Fuente y conducción	Gravedad de presas y Bombeo de pozos				
Cultivos principales	Maíz grano, Sorgo grano, hortalizas.				

El análisis de eficiencia del DEA se realizó con los modelos y las variables e indicadores de entradas y salidas mostrados en la Tabla 6, desde un enfoque orientado a entradas.

Tabla 6. Modelos del DEA para la evaluación del desempeño.

Sistemas	Modelo DEA	Entradas	Salidas
Infraestructura	BCC orientado a entradas	Longitud total de canales (km) Costos de rehabilitación /área regada (miles de \$/ha) Costos de tecnificación/área regada (miles de \$/ha)	Eficiencia de conducción
Finanzas generales	BCC orientado a entradas	Costo de administración (miles de \$/Área regada) Costo de operación (miles de \$)/Área regada) Costo de conservación/ Área regada (miles de \$/ha)	Recaudación por cuota por servicio de riego/ Área regada (miles de \$/ha)
Producción general	BCC orientado a entradas	Volumen de agua total anual entregada a usuarios/Área regada (miles de m ³ /ha) Área regada (ha)	Valor total anual de la producción/Área regada (miles de \$/ha) Producción total anual /Área regada (toneladas/ha)
Ambiental	BCC orientado a	Índice de degradación del suelo	Producción total anual /Área regada (miles de

entradas

toneladas/ha)

El Conglomerado CS5 tuvo una eficiencia promedio de $e = 0.73$, predominando un RDE creciente. Para alcanzar la frontera de eficiencia BCC, manteniendo el nivel de salidas dados, los distritos deben reducir sus niveles de entradas. Además, los DR presentaron RDE creciente, pudiendo incrementar su productividad y/o alcanzar un RDE constante, aumentando su capacidad productiva (Tabla 7).

Tabla 7. Eficiencia técnica y rendimiento de escala de los distritos de riego del CS5 por subsistema.

Clave	Distritos de riego	Sistemas							
		Infraestructura		Finanzas generales		Producción general		Ambiental	
		e	RDE	e	RDE	e	RDE	e	RDE
50	Acuña-Falcón	1.00	CTE	1.00	CRE	1.00	CTE	1.00	CTE
23	San Juan del Río	1.00	DEC	1.00	CTE	1.00	DEC	0.59	CRE
31	Las Lajas	1.00	CTE	1.00	CTE	1.00	CRE	0.50	CRE
4	Don Martín	1.00	CTE	0.82	CRE	0.54	CRE	1.00	CRE
85	La Begoña	1.00	CTE	0.93	CRE	0.57	CRE	0.85	CRE
86	Río Soto La Marina	0.29	CRE	1.00	CTE	0.87	CRE	0.90	CRE
26	Bajo Río San Juan	0.21	CRE	0.89	CRE	0.92	CRE	0.64	CRE
83	Papigochic	0.33	CRE	1.00	CTE	0.78	CRE	0.49	CRE
42	Buenaventura	0.37	CRE	1.00	DEC	0.64	CRE	0.50	CRE
97	Lázaro Cárdenas	0.12	CRE	1.00	CRE	0.42	CRE	0.87	CRE
76	Valle del Carrizo	0.14	CRE	1.00	DEC	0.59	CRE	0.54	CRE
34	Edo. de Zacatecas	0.07	CRE	0.82	CRE	0.39	CRE	0.54	CRE
Promedio		0.54		0.95		0.73		0.70	
Eficiencia promedio global		0.73							

e = eficiencia, RDE = Rendimiento de Escala, CTE = Constante, DEC = Decreciente.

En Infraestructura, la eficiencia promedio del grupo fue baja ($e = 0.54$). En particular, los distritos 50, 23, 31, 85 y 4 usaron total y eficientemente sus recursos; mientras que los distritos 76, 83, 86, 26,

42, 97 y 34 usaron excesivamente los recursos y mostraron altos costos de rehabilitación y tecnificación, para el nivel de eficiencia de conducción dado., la eficiencia promedio en finanzas generales fue alta (0.95) y se observaron rendimientos de escala constante y/o creciente.

En general, la recaudación de cuotas por servicio de riego, para solventar los costos de administración, operación y conservación de los distritos, es adecuada. En producción general, la eficiencia promedio del grupo fue regular ($e = 0.73$) y predominó el rendimiento de escala creciente. El volumen de agua entregada y el área regada son altos para el volumen y el valor de la producción. El Distrito 50 usa total y eficientemente el agua entregada y el área regada para su volumen y valor de producción.

Los distritos 23 y 31 deben cambiar a un rendimiento de escala constante e incrementar el volumen y valor de su producción a través de mejores prácticas agrícolas o introducir cultivos de alto rendimiento y valor. Los distritos restantes deben reducir sus pérdidas de agua, mejorar sus prácticas agrícolas o buscar productos de mayor rendimiento y valor. En el sistema ambiental la eficiencia promedio fue regular (0.70) y predominó el rendimiento de escala creciente. Con excepción de los distritos 50 y 4, en general, el resto de ellos mostró niveles altos de degradación del suelo, lo cual afecta su producción agrícola (Tabla 7).

Comparativamente, el Distrito 50 es el más eficiente y sus prácticas pueden considerarse criterios de referencia para todo el conglomerado. El Distrito 31 resultó referente en infraestructura y finanzas generales para los distritos 85, 76, 4, 83, 86, 26, 42, 97 y 34. En términos de la eficiencia general promedio, el Distrito 50 fue el mejor evaluado ($e = 1.0$) y el Distrito 34 ($e = 0.454$) el peor. Los distritos de este grupo pudieron ser ordenados de acuerdo a su eficiencia promedio (Tabla 8).

Tabla 8. Distritos pares (peers) del Conglomerado CS5 y *ranking*.

Clave	Distritos de Riego	Infraestructura	Finanzas generales	Producción general	Ambiental	Eficiencias promedio	Ranking
50	Acuña-Falcón	-	-	-	-	1.000	1
23	San Juan del Río	-	-	-	4, 50	0.897	2
31	Las Lajas	-	-	-	4	0.875	3

4	Don Martín	-	23, 31, 50, 83	50	-	0.839	4
85	La Begoña	-	31, 50, 83, 86	50	4, 50	0.838	5
86	Río Soto La Marina	4, 31, 85	-	50	4, 50	0.764	6
26	Bajo Río San Juan	4, 31, 85	31, 50, 83, 86	50	4	0.667	7
83	Papigochic	31, 50	-	50	4, 50	0.651	8
42	Buenaventura	31	-	31, 50	4, 50	0.627	9
97	Lázaro Cárdenas	4, 31, 85	-	50	4, 50	0.603	10
76	Valle del Carrizo	31, 50, 85	-	50	4	0.566	11
34	Edo. de Zacatecas	31, 50.	31, 50, 83, 86	50	4, 50	0.454	12

El análisis de regresión Tobit mostró que el área regada ($p = 0.010$), el porcentaje de canales revestidos ($p = 0.001$), el porcentaje de canales sin revestir ($p = 0.001$), la producción total anual /área regada ($p = 0.010$), el valor de la producción/área regada ($p = 0.003$), y el costo de mantenimiento/área regada ($p = 0.002$) son factores determinantes del nivel de eficiencia promedio de los distritos de riego que conforman el Conglomerado CS5 (Tabla 9).

Tabla 9. Regresión Tobit del CS5.

Factores	Coeficientes	Error estándar.	t	$p > t $	IC 95%	
AR	-3.82E-06	8.38E-07	-4.55	0.010	-6.14E-06	-1.49E-06
CR	0.006564	0.000769	8.53	0.001	0.004428	0.008700
CSR	0.008143	0.000792	10.28	0.001	0.005944	0.010342
P/AR	-0.020465	0.004496	-4.55	0.010	-0.03295	-0.007982
VP/AR	0.016285	0.002595	6.28	0.003	0.009081	0.023490
CM/AR	-0.371364	0.050175	-7.40	0.002	-0.510671	-0.232056
Constante	0.152989	0.098403	1.55	0.195	-0.120220	0.4261988

AR= Área regada, CR = Canales revestidos, CSR = Canales sin revestir,
P/AR= Producción total anual /Área regada,

VP/AR= Valor de la Producción/Área Regada, CM/AR= Costo de
mantenimiento/Área Regada, IC = Intervalo de confianza

Benchmarking *del Conglomerado CS6*. Presenta una eficiencia promedio global $e = 0.88$, lo que implica uso inadecuado de recursos. Sin embargo, dado que ningún rendimiento de escala resultó predominante, no es posible establecer orientaciones generales para el Conglomerado, en términos del uso de sus recursos o cambios en economía de escala (Tabla 10).

Tabla 10. Eficiencia técnica y rendimiento de escala de distritos de riego del CS6 por subsistema.

Clave	Distritos de Riego	Sistemas							
		Infraestructura		Finanzas generales		Producción general		Ambiental	
		e	RDE	e	RDE	e	RDE	e	RDE
52	Estado de Durango	1.00	CTE	1.00	CRE	1.00	CTE	1.00	CRE
108	Elota-Piaxtla	1.00	CTE	0.96	CRE	1.00	CTE	0.90	CRE
74	Mocorito	1.00	CTE	1.00	CTE	1.00	CRE	0.59	CRE
10	Culiacán-Humaya	1.00	DEC	0.79	CRE	1.00	CTE	0.62	CRE
109	Río San Lorenzo	0.41	CRE	1.00	DEC	1.00	CTE	1.00	CTE
75	Río Fuerte	0.43	DEC	1.00	CTE	0.82	DEC	0.71	CRE
63	Guasave	0.39	DEC	0.99	CRE	0.79	CRE	0.59	CRE
Eficiencia promedio		0.75		0.96		0.94		0.85	
Eficiencia promedio global		0.88							

e = eficiencia, RDE = Rendimiento de Escala, CTE = RDE Constante, DEC = RDE Decreciente CRE = RDE Creciente.

En Infraestructura, la eficiencia promedio del grupo fue regular ($e = 0.75$). En particular, los distritos 52, 108 y 74 usaron total y eficientemente sus recursos. Los distritos 109, 75 y 63 tienen excesivos costos de rehabilitación y tecnificación para la eficiencia de conducción. El Distrito 10 es eficiente en el BCC, pero con RDE decreciente por lo que debe revisar sus estrategias de tecnificación y rehabilitación, además de sus prácticas de operación en la conducción del agua. En Finanzas Generales, la eficiencia promedio fue alta ($e = 0.96$).

En general, la recaudación de cuotas por servicio de riego para solventar los costos de administración, operación y conservación de los distritos es adecuada. Sólo el Distrito 10 resultó ineficiente, con rendimiento de

escala creciente, debiendo disminuir sus costos de administración, operación y conservación. En producción general, la eficiencia promedio del grupo fue alta ($e = 0.94$) y predominó el rendimiento de escala constante. Los distritos 52, 108, 10 y 109 obtuvieron volumen y valor de la producción óptimos para el volumen de agua entregada y área regada. El Distrito 75 resultó ineficiente, con rendimiento de escala decreciente, lo cual se puede resolver si se incrementa el volumen y valor de su producción mediante mejores prácticas agrícolas y la introducción de cultivos de alto valor económico. El Distrito 63 resultó ineficiente, con rendimiento de escala creciente por lo que debe disminuir sus pérdidas en agua entregada. En el sistema ambiental la eficiencia promedio fue buena ($e = 0.85$), con distintos rendimientos de escala. El Distrito 109 resultó eficiente con nulo efecto adverso de la degradación del suelo en su producción agrícola. El Distrito 52 resultó eficiente, pero puede alcanzar una escala más eficiente si evita el deterioro de suelo mediante mejores prácticas agrícolas (Tabla 10).

Comparativamente, el Distrito 52 es el más eficiente y sus prácticas pueden ser criterios de referencia en los subsistemas de finanzas generales y ambiental para los distritos 108, 10, 63, 52 y 75; en infraestructura, los distritos 74 y 108 pueden ser referencia para los distritos 109, 75 y 63; y en producción general, el Distrito 10 es referente para los distritos 75 y 63. En términos de la eficiencia general promedio, el Distrito 51 resultó el mejor evaluado ($e = 1.0$) y el Distrito 63 ($e = 0.69$) el peor. Al utilizar las eficiencias promedio para cada distrito fue posible determinar un *ranking* de los DR que conforman este Conglomerado (Tabla 11).

De acuerdo con los resultados de la regresión Tobit, sólo el Índice de degradación del suelo resultó un factor significativo ($p = 0.054$) de ineficiencia en este Conglomerado (Tabla 12).

Tabla 11. Distritos eficientes (pares) del conglomerado CS6 y *ranking*.

Clave	Distritos de Riego	Infraestructura	Finanzas generales	Producción general	Ambiental	Eficiencias promedio	<i>Ranking</i>
52	Estado de Durango	-	-	-	-	1.00	1
108	Elota-Piactla	-	52, 75	-	52, 109.	0.96	2
74	Mocorito	-	-	-	52	0.90	3
10	Culiacán-Humaya	-	52, 74, 75	-	52	0.86	4

109	Río San Lorenzo	74, 108	-	-	-	0.85	5
75	Río Fuerte	74, 108	-	10, 108	52	0.74	6
63	Guasave	74, 108	52, 75	10, 109	52	0.69	7

Tabla 12. Regresión Tobit del CS6.

Factores	Coeficientes	Error estándar	t	p > t	IC 95%	
DS	-0.307	0.128	-2.39	0.054	-0.620	0.007
Constante	1.380	0.221	6.24	0.001	0.839	1.922

DS = Índice de degradación del suelo, IC = Intervalo de confianza

Conclusiones y recomendaciones

(1) El *benchmarking*, aplicando el DEA, resultó una estrategia adecuada para evaluar el desempeño de los distritos de riego en México.

(2) El análisis de componentes principales y el análisis de conglomerados permitieron crear seis grupos homogéneos de distritos de riego en términos de infraestructura, volumen y valor de la producción, costo de mantenimiento, degradación del suelo y fuente de abastecimiento y conducción.

(3) En términos generales, el Conglomerado CS5 tuvo una eficiencia promedio general baja y rendimiento de escala creciente e indicó un uso inadecuado de recursos. Los factores determinantes de su eficiencia global son la red de canales (revestidos y sin revestir) y el índice de degradación del suelo. En cuanto a la eficiencia promedio general del Conglomerado, el Distrito 50 es el mejor referente (*benchmarker*) para el resto de los distritos del Conglomerado.

(4) En el análisis de eficiencias por sistemas, el Conglomerado CS5, mostró comportamientos muy variados. Un grupo fue altamente eficiente en la distribución del agua; mientras que otro presentó altos costos de rehabilitación y tecnificación. Es adecuada la recaudación de cuotas por servicio de riego, para solventar los costos de administración, operación y conservación de todos los distritos. Con excepción del

Distrito 50, los demás usan grandes cantidades de agua para el volumen y el valor de sus producciones. A diferencia del Distrito 50, los otros mostraron excesiva degradación del suelo lo cual afecta su producción agrícola.

(5) El Conglomerado CS6 tuvo una eficiencia promedio general buena, y presentó problemas en los sistemas ambiental y de infraestructura, principalmente. El factor que más afecta su eficiencia global es el índice de degradación del suelo. En cuanto a la eficiencia promedio general del Conglomerado, el Distrito 52 puede ser referente (*benchmarker*) para el resto de sus miembros.

(6) En el Conglomerado CS6 los Distritos 109, 75 y 63 mostraron deficiencias en la conducción del agua de riego debido a los altos costos de rehabilitación y tecnificación. Todos los distritos son capaces de solventar sus costos de administración, operación y conservación. El volumen de producción y valor de los productos son buenos en relación con las cantidades de agua recibidas. Finalmente, con excepción de los Distritos 52 y 109, la degradación del suelo afecta significativamente la producción agrícola del resto de los distritos del Conglomerado.

(7) Se recomienda continuar con esta temática de investigación y recopilar más variables e indicadores de desempeño.

(8) Una estrategia importante es seguir la metodología propuesta en estudios con datos panel y en estudios con otras unidades de decisión (por ejemplo, módulos de riego), donde se puedan incorporar otros aspectos del riego como tecnologías de riego, medición del agua, calidad del agua y suelo y del drenaje.

Agradecimientos

Los autores agradecen al personal de la Comisión Nacional de Agua de México por proporcionar generosamente los datos utilizados en este estudio.

Referencias

Ali, M. K. & Klein, K. K. (2014). Water Use Efficiency and Productivity of the Irrigation Districts in Southern Alberta. *Water Resources Management*, 28(10), 2751-2766. DOI:10.1007/s11269-014-0634-y.

Altamirano-Aguilar, A., Valdez-Torres, J. B., Valdez-Lafarga, C., León-Balderrama, J. I., Betancourt-Lozano, M., & Osuna-Enciso, T. (2017).

Clasificación y evaluación de los distritos de riego en México con base en indicadores de desempeño. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(4), 79-89. DOI: 10.24850/j-tyca-2017-04-05

Banker, R. D., Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (2011). Returns to Scale in DEA. En *Handbook on Data Envelopment Analysis* (pp. 497) New York, USA: Springer

Borgia, C., García-Bolaños, M., Li, T., Gómez-Macpherson, H., Comas, J., Connor, D., & Mateos, L. (2013). Benchmarking for performance assessment of small and large irrigation schemes along the Senegal Valley in Mauritania. *Agricultural Water Management*, 121, 19-26. DOI: /10.1016/j.agwat.2013.01.002

Burton, M. (2010). *Irrigation management: principles and practices*. Connecticut, USA: CABI.

Conagua. (2013). *Programa Nacional Hídrico 2014-2018*. Distrito Federal, México: Comisión Nacional del Agua.

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2014a). *Estadísticas del Agua en México*. Distrito Federal, México: Comisión Nacional del Agua.

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2014b). *Resultados de los estados financieros 2013 de las ACU y SRL de los Distritos de Riego*. Distrito Federal, México: Comisión Nacional del Agua.

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2015a). *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego*. Distrito Federal, México: Comisión Nacional del Agua..

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2015b). *Resultados finales de los estados financieros 2014 de las Asociaciones Civiles de Usuarios (ACU) y de las Sociedades de Responsabilidad Limitada (SRL) de los Distritos de Riego*. Distrito Federal, México: Comisión Nacional del Agua.

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2016). *Estadísticas del Agua en México*. Distrito Federal, México: Comisión Nacional del Agua.

Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References, and DEA-Solver Software*. New York, USA: Springer US.

Cornish, G. A. (2005). Performance bechmarking in the Irrigation and Drainage Sector: Experiences to date and conclusions. Reporte no . OD115. Recuperado de <http://eprints.hrwallingford.co.uk/69/1/OD155>.

Chambers, R. (1988). *Managing canal irrigation: Practical analysis from South Asia*. New Delhi, Bombay, Calcutta: Oxford and IBH Publishing Co Pvt Ltd.

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1979). Measuring the Efficiency of Decision Making Units, short communication. *European Journal of Operational Research*, 3, 339-339. Recuperado de :[http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)

Chebil, A., Frija, A., & Abdelkafi, B. (2012). Irrigation water use efficiency in collective irrigated schemes of Tunisia: determinants and potential irrigation cost reduction. *Agricultural Economics Review*, 13(1), 39.

Gerdessen, J. C., & Pascucci, S. (2013). Data Envelopment Analysis of sustainability indicators of European agricultural systems at regional level. *Agricultural Systems*, 118, 78-90. DOI:/10.1016/j.agsy.2013.03.004

Lilienfeld, A. & Asmild, M. (2007). Estimation of excess water use in irrigated agriculture: A Data Envelopment Analysis approach. *Agricultural Water Management*, 94(1-3), 73-82. DOI: /10.1016/j.agwat.2007.08.005

Maddala, G. S. (1986). *Limited-dependent and qualitative variables in econometrics*. United Kindom: Cambridge University Press.

Malana, N. M. & Malano, H. M. (2006). Benchmarking productive efficiency of selected wheat areas in Pakistan and India using data envelopment analysis. *Irrigation and Drainage*, 55(4), 383-394. DOI:10.1002/ird.264

Malano, H. M., & Burton, M. (2001). *Guidelines for benchmarking performance in the irrigation and drainage sector*. Roma: Food and Agriculture Organization (FAO).

Mejía, E., Palacios, E., Exebio, A. E., & Santos, A. L. (2002). Problemas operativos en el manejo del agua en distritos de riego. *Terra*, 20(2), 217-225.

Naceur, M., & Mongi, S. (2013). The technical efficiency of collective irrigation schemes in south-eastern of Tunisia. *International Journal of Sustainable Development and World Policy*, 2(7), 87-103.

Ntontos, P., & Karpouzou, D. (2010). Application of data envelopment analysis and performance indicators to irrigation systems in Thessaloniki Plain (Greece). *Agricultural and Biosystems Engineering*, 87(10), 7273.

- Palacios, E., Exebio, A., Mejía, E., Santos, A. L., & Delgadillo, M. E. (2002). Problemas financieros de las asociaciones de usuarios y su efecto en la conservación y operación de distritos de riego. *Terra*, 20(4), 505-513.
- Peinado-Guevara, V. M., Camacho-Castro, C., Bernal-Domínguez, D., Delgado-Rodríguez, O., & Peinado-Guevara, H. J. (2012). Programas de conservación de obras en distritos de riego como alternativa sustentable en la administración del agua de uso agrícola. *Ra Ximhai*, 8(2).
- Ramanathan, R. (2003). *An Introduction to Data Envelopment Analysis: A tool for performance measurement* (First ed.). New Delhi: SAGE Publications.
- Ríos, A. R. & Shively, G. E. (julio, 2005). Farm size and nonparametric efficiency measurements for coffee farms in Vietnam. *American Agricultural Economics Association Annual Meeting*. Reunión llevada a cabo en Providence, Rhode Island, United Estates of America.
- Small, L. E. & Svendsen, M. (1990). A framework for assessing irrigation performance. *Irrigation and drainage systems*, 4(4), 283-312.
- Subdirección General de Infraestructura Hidráulica. (2013). *Resultados de los estados financieros 2012 de las ACU y SRL de los Distritos de Riego*. Distrito Federal, México: Comisión Nacional del Agua.
- Toma, E., Dobre, C., Dona, I., & Cofas, E. (2015). DEA Applicability in Assessment of Agriculture Efficiency on Areas with Similar Geographically Patterns. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 6, 704-711. DOI:/10.1016/j.aaspro.2015.08.127
- Watkins, K. B., Hristovska, T., Mazzanti, R., Wilson Jr, C. E., & Schmidt, L. (2014). Measurement of technical, allocative, economic, and scale efficiency of rice production in Arkansas using data envelopment analysis. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 46(1), 89.
- Watto, M. A., & Muger, A. W. (2015). Efficiency of irrigation water application in sugarcane cultivation in Pakistan. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(9), 1860-1867. DOI:10.1002/jsfa.6887
- Zhu, J. (2010). *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking* (vol. 213). London, United Kindom: Springer.