

# Clasificación y evaluación de los distritos de riego en México con base en indicadores de desempeño

• Anabel Altamirano-Aguilar • José Benigno Valdez-Torres\* •  
*Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., México*

\*Autor para correspondencia

• Cuitláhuac Valdez-Lafarga •  
*Universidad de Occidente, México*

• Jorge Inés León-Balderrama • Miguel Betancourt-Lozano •  
• Tomás Osuna-Enciso •  
*Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., México*

DOI: 10.24850/j-tyca-2017-04-05

## Resumen

Altamirano-Aguilar, A., Valdez-Torres, J. B., Valdez-Lafarga, C., León-Balderrama, J. I., Betancourt-Lozano, M., & Osuna-Enciso, T. (julio-agosto, 2017). Clasificación y evaluación de los distritos de riego en México con base en indicadores de desempeño. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(4), 79-99.

Uno de los principales problemas del riego en México es su gestión. Entre las varias organizaciones encargadas de la administración del riego en el país, los distritos de riego tienen uno de los roles más importantes, de ahí la pertinencia de estudiar su desempeño. Siguiendo el marco conceptual de Malano y Burton (2001), se diseñó un procedimiento para clasificar los distritos de riego y estimar su desempeño usando indicadores. El procedimiento consistió de las siguientes etapas generales: (1) clasificación de los distritos de riego en grupos climáticos; (2) selección y validación de indicadores de desempeño; (3) determinación de conglomerados de distritos de riego, por grupo climático, aplicando componentes principales y análisis de conglomerados; (4) evaluación del desempeño de cada conglomerado por medio de gráficas multivariadas y una escala de desempeño arbitraria. Se obtuvieron tres grupos climáticos: un grupo seco (con 42 distritos en cinco conglomerados); un grupo templado húmedo (con 14 distritos en dos conglomerados), y un grupo cálido húmedo (con 28 distritos en seis conglomerados). Los conglomerados mostraron características similares, como tipo de cultivos, fuentes de suministro de agua y canales de infraestructura de irrigación, entre otros. En general, el desempeño de riego de todos los conglomerados fue bajo.

**Palabras clave:** distritos de riego, análisis de conglomerados, indicadores de desempeño.

## Abstract

Altamirano-Aguilar, A., Valdez-Torres, J. B., Valdez-Lafarga, C., León-Balderrama, J. I., Betancourt-Lozano, M., & Osuna-Enciso, T. (July-August, 2017). Classification and evaluation of the irrigation districts in Mexico based on performance indicators. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 8(4), 79-99.

One of the main issues of irrigation in Mexico is its management. Among the various institutions responsible of irrigation management in the country, the irrigation districts have one of the most important roles, hence the pertinence of studying their performance. Following the conceptual framework by Malano and Burton (2001), a procedure was designed to classify the irrigation districts and estimate their performance. The procedure consisted of the following steps: (1) classification of the irrigation districts by climatic groups; (2) selection and validation of irrigation performance indicators; (3) determination of clusters of irrigation districts, by climatic group, using principal components and cluster; (4) performance evaluation of each cluster using multivariate graphs and an arbitrary performance scale. Three climatic groups were obtained: a dry group (42 districts within five clusters), a humid temperate group (14 districts within two clusters) and a humid warm group (28 districts within six clusters). The clusters showed similar characteristics such as type of crops, the source of water supply, and infrastructure of irrigation channels, among others. In general, the irrigation performance of all clusters was low.

**Keywords:** Irrigation districts, cluster analysis, performance indicators.

---

Recibido: 01/07/2016  
Aceptado: 06/03/2017

---

## Introducción

La mayor parte del agua dulce disponible en México se destina al riego agrícola, principalmente a los 86 distritos de riego (DR). Si bien la importancia de los distritos de riego en la producción de alimentos es ampliamente reconocida, en su operación persisten una serie de problemas relacionados con su infraestructura, operación y administración, los cuales pueden explicarse por una gestión ineficiente de los mismos. Algunos de estos problemas son la baja eficiencia de conducción y distribución del agua de riego en los canales, el uso de volúmenes de agua excesivos para el riego de los cultivos, e ingresos insuficientes para operación y mantenimiento (Mejía, Palacios, Exebio, & Santos, 2002; Palacios, Exebio, Mejía, Santos, & Delgadillo, 2002; Palerm, Collado, & Rodríguez, 2010).

La problemática del agua ha formado parte importante de la política pública del gobierno mexicano, expresada a través de varias iniciativas, como la Agenda del Agua 2030, el Programa Nacional Hídrico y los Programas Hídricos Regionales. La Agenda del Agua 2030 y el Programa Nacional Hídrico 2014-2018 postulan, de manera general, en relación con los distritos de riego, un conjunto de acciones encaminadas al ahorro del agua y la tecnificación del riego (Conagua, 2011; Semarnat, 2013). En el Programa Nacional Hídrico se plantean un conjunto de actividades para lograr la seguridad y sustentabilidad hídrica, así como mejorar la productividad del sector agrícola, destacando para ello la modernización, rehabilitación y tecnificación de su infraestructura. En el mismo sentido, los Programas Hídricos Regionales delinean estrategias, presentadas en 13 iniciativas regionales, para alcanzar los objetivos de la Agenda del Agua. Estas iniciativas regionales, elaboradas por expertos en el tema del agua, presentan un diagnóstico e identifican los principales problemas del agua por región y sugieren alternativas de solución a los mismos. Sin embargo, los tres documentos centrales de la política del agua en México no abordan los problemas del riego desde una perspectiva

cuantitativa, limitándose sólo a delinear estrategias generales relacionadas con la mejora en la productividad del agua y planteando sólo de manera muy superficial aspectos relacionados con el desempeño financiero de los distritos de riego.

Un enfoque ampliamente utilizado para estudiar la problemática de la gestión del riego es la medición del desempeño de las entidades encargadas de su administración. Dicho enfoque hace uso de un conjunto de herramientas diseñadas para lograr la mejora continua, impactando en el servicio y la productividad del riego, así como en el cuidado del agua y del suelo (Molden, Burton, & Bos, 2007; Schultz & Wrachien, 2002). De esta manera, los responsables de la gestión del riego (p. ej., los administradores de los distritos de riego) pueden determinar qué tan satisfactorio es su desempeño e identificar áreas de mejora (Burton, 2010).

Una técnica utilizada para el estudio del desempeño del riego es el benchmarking. En términos generales, el benchmarking hace uso de herramientas administrativas, estadísticas y de ingeniería para evaluar la gestión de una organización, comparando el desempeño de ésta con el de otra similar, considerada la mejor (Stapenhurst, 2009). El benchmarking enfocado a los sistemas de riego permite llevar a cabo comparaciones simples mediante indicadores de desempeño de las instancias encargadas del riego. Además, mediante la comparación de las actividades y los procesos de los organismos encargados del riego es posible obtener información de utilidad relacionada con la forma en que tales organismos están dando los servicios y manejando sus recursos, con el fin de elaborar propuestas que conduzcan a una mejor gestión de los mismos (Malano & Burton, 2001; Rodríguez-Díaz, Camacho-Poyato, López-Luque, & Pérez-Urrestarazu, 2008).

Dada la importancia actual de la problemática del agua, el alto porcentaje de agua usado por el sector agrícola y la falta de estudios cuantitativos al respecto, es impostergable estudiar la gestión del riego en México. Así, desde la perspectiva del benchmarking, como una primera

etapa de estudio, el *propósito* de este trabajo fue clasificar y caracterizar los distritos de riego en México, utilizando indicadores de desempeño y técnicas de estadística multivariada.

El resto del documento está estructurado como sigue: (1) se presenta la conceptualización de los distritos de riego bajo un enfoque sistémico, como un marco para los estudios de benchmarking; (2) se muestra una breve revisión de los antecedentes de estudios relacionados con la clasificación de los sistemas de riego; (3) se presenta la metodología empleada, con una descripción breve de las herramientas utilizadas; (4) se abordan los resultados de la clasificación de los distritos de riego por conglomerados, los cuales son caracterizados y explicados con base en indicadores de desempeño y otras características generales; (5) finalmente, se presentan las conclusiones.

### La gestión del riego desde el enfoque sistémico

El enfoque sistémico es una concepción general del mundo en términos de sistemas irreductiblemente integrados, de tal forma que puede asumirse como un conjunto de componentes distintos que forman un todo, pero que pueden ser aislados para su análisis y estudio (Laszlo & Krippner, 1998).

Lowdermillk *et al.* (1983) proponen estudiar la gestión del riego desde un enfoque sistémico, asumiendo que un sistema de riego está compuesto de cuatro componentes: físico, de cultivo, económico y socio-organizacional, los cuales están mutuamente intercorrelacionados y pueden agruparse bajo cualquier número de clasificaciones.

Otros de los modelos sistémicos del riego, como el propuesto por Small y Svendsen (1990), definen un sistema de riego como un conjunto de elementos físicos e institucionales empleados para adquirir agua de una fuente natural concentrada (tal como un canal natural, depresión o acuífero) y facilitar el control del movimiento de este recurso para la producción de los cultivos agrícolas. Los elementos institucionales se refieren a las normas que regulan el

comportamiento social y las relaciones que se definen entre los actores del sistema de riego. En este modelo se sientan algunas de las bases para las evaluaciones comparativas sistemáticas de riego, dando sustento al benchmarking de los sistemas de riego.

Siguiendo un enfoque sistémico, Malano y Burton (2001) proponen un modelo para realizar estudios de benchmarking. Este modelo propone tres dominios de desempeño: (1) servicio de distribución (el cual, a su vez, está dividido en los componentes operativo y financiero); (2) eficiencia productiva, y (3) desempeño ambiental. El componente operativo se refiere a la capacidad que tienen las organizaciones para distribuir el agua requerida por los usuarios, mientras que el componente financiero tiene que ver con la eficiencia con la que las organizaciones utilizan los recursos para la prestación del servicio de distribución de agua. La eficiencia productiva se refiere a la capacidad del sistema de riego para utilizar sus recursos en la producción de cultivos, y el desempeño ambiental incluye aquellos elementos relacionados con el impacto de la agricultura de riego sobre la tierra y el agua. En cada uno de estos dominios se incluyen indicadores útiles para la evaluación del desempeño.

En este trabajo se consideró pertinente tomar a los distritos de riego como unidades de estudios, desde la perspectiva del benchmarking, para la evaluación del desempeño, por lo que el propósito central de este trabajo fue clasificarlos, pues ello permite realizar comparaciones entre los distritos.

### Antecedentes

El principal problema del riego es su gestión deficiente. Una de las formas en que se ha abordado este problema ha sido mediante procesos de benchmarking de los sistemas de riego. Sin embargo, los sistemas de riego suelen presentar gran heterogeneidad, dificultando la aplicación de un proceso de benchmarking, el cual requiere de sistemas de riego relativamente homogéneos, pues la comparación de sistemas diferentes

no permitiría generar recomendaciones que puedan implementarse de manera general. Una manera de identificar sistemas de riego homogéneos ha sido el uso de técnicas de clasificación. Por ejemplo, Malano y Burton (2001) proponen agrupar los sistemas de riego a través de diferentes factores, como clima, cultivos predominantes o tamaños de las organizaciones, con el fin de disminuir la heterogeneidad de los mismos.

Otros enfoques proponen el uso de análisis de componentes principales (ACP) y análisis de conglomerados (AC). Por ejemplo, un estudio de la gestión de distritos de riego en Andalucía, España, utilizó indicadores de desempeño para realizar un benchmarking y encontrar los indicadores más relevantes (Rodríguez-Díaz *et al.*, 2008). El precio del agua resultó el indicador más correlacionado con una buena gestión del riego y se recomendó la modernización de la infraestructura de los distritos de riego para mejorar su gestión. En otro estudio de benchmarking con indicadores de riego y energía realizado para Asociaciones de Usuarios del Riego en Castilla-La Mancha, España, se redujo la variabilidad y se agruparon las asociaciones por técnica de riego (goteo y/o aspersión); esto permitió identificar los indicadores más importantes para la gestión y establecer recomendaciones para cada grupo de asociaciones (Córcoles, De Juan, Ortega, Tarjuelo, & Moreno, 2010). Un estudio más reciente sobre la gestión del riego de las Asociaciones de Usuarios en Calabria, Italia, utilizó un proceso de benchmarking a partir de los indicadores de Malano y Burton (2001) (Zema, Nicotra, Tamburino, & Zimbone, 2015). Dicho estudio consistió en tres etapas. En la primera se realizó un análisis de indicadores, se redujo la dimensionalidad de los datos mediante ACP y se identificaron los indicadores más relevantes para el estudio. En la segunda etapa, mediante AC, se clasificaron las asociaciones en dos conglomerados y las caracterizaron en términos de indicadores de desempeño. En la tercera etapa, mediante el índice de calidad propuesto por Rodríguez-Díaz *et al.* (2008), se elaboró un *ranking* de las

asociaciones en términos de su desempeño y se identificaron sus puntos débiles y fuertes en la gestión del riego, y en el desempeño operativo y financiero del servicio de riego para cada sistema de riego estudiado.

En México, desde 1998, la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) han pretendido evaluar la gestión del riego, con resultados bastante limitados. En un primer intento, realizado de 1998 a 2001, se recopilaron datos anuales sobre 93 variables, con el objetivo de evaluar comparativamente la gestión del riego de asociaciones de usuarios. Un segundo intento, de 2001 a 2002, consistió en una prueba piloto (Programa de Evaluación Basada en Indicadores de Calidad, PEBIC) efectuada en 34 módulos de ocho distritos de riego, para la cual se utilizaron 21 indicadores de desempeño sobre aspectos de operación, mantenimiento, modernización, administración financiera y transparencia de gestión. Con el PEBIC se buscaba comparar entre distritos y entre módulos, con el propósito de diagnosticar las causas de las diferencias del nivel del desempeño. Un tercer intento, realizado en 2002 por un consultor independiente, fue un estudio de benchmarking mediante los indicadores de Malano y Burton (2001), para evaluar el desempeño de cinco módulos del Distrito de Riego Río Yaqui. Sin embargo, los alcances de estos trabajos fueron limitados por la validez y calidad de los datos recolectados, y por la falta de un análisis estadístico de los mismos. Un estudio de mayor impacto, mediante benchmarking, fue hecho por el IMTA en módulos del distrito de riego Río Mayo. Usando 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 fue posible identificar las prácticas específicas y acciones para mejorar el desempeño (Cornish, 2005).

## Materiales y métodos

La metodología desarrollada en este trabajo se dividió en las siguientes etapas: (1) selección

de indicadores de desempeño; (2) obtención y validación de datos; (3) reducción de la heterogeneidad en los datos a través de una clasificación climática de los distritos de riego; (4) reducción de la dimensionalidad por medio de análisis de componentes principales; (5) clasificación de los distritos en grupos usando análisis de conglomerados con los componentes principales obtenidos en la etapa anterior, y (6) caracterización de los distritos mediante gráficas radiales.

### Selección de indicadores de desempeño

Tomando como referencia a Malano y Burton (2001), se seleccionaron aquellos indicadores de desempeño que podían ser estimados con los datos disponibles en fuentes oficiales. Además de los indicadores estimados, también se incluyeron indicadores relacionados con la productividad del agua y el valor económico de los cultivos (cuadro 1). Se obtuvieron registros agrícolas e hidrométricos de las Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego de Conagua (2015a) para los años agrícolas: 2011-2012, 2012-2013 y 2013-2014; se adquirieron registros financieros de los Estados Financieros de la Infraestructura Hidroagrícola para los años 2012, 2013 y 2014 de Conagua (2013, 2014, 2015b). También se obtuvieron registros de degradación del suelo de superponer mapas de degradación del suelo y DR, los cuales se consiguieron de la Semarnat y de la Dirección de Geomática (2004), y del Sistema Nacional de Información del Agua (2016), respectivamente; la superposición se realizó mediante el *software ArcGIS 10.3*.

### Clasificación climática

Debido a que los distritos de riego presentan gran heterogeneidad en superficie, cultivos, fuente de agua, número de usuarios y sistema de riego, entre otros, se agrupó a los distritos por clima predominante, como primera etapa de caracterización. Los tipos de clima se basaron en la clasificación de Köppen, modificada por

Enriqueta García (INEGI, 2005). El clima predominante de cada distrito se obtuvo a partir de la superposición de los mapas de climas y de distritos de riego, los cuales se obtuvieron de Conabio y García (2001), y del Sistema Nacional de Información del Agua (2016), respectivamente. La superposición se realizó mediante el *software ArcGIS 10.3*.

### Análisis de componentes principales

La idea central del análisis de componentes principales es reducir la dimensionalidad (número de variables o indicadores) de un conjunto de datos, a la vez que mantiene tanta de la variación presente en los datos como sea posible. Esto se logra transformando las variables originales en otro conjunto de nuevas variables, denominadas componentes principales, las cuales no están correlacionadas entre sí y retienen la mayor parte de la variación presente en las variables originales.

El análisis de componentes principales procede en etapas. La primera etapa consiste en buscar una combinación lineal  $a_1^T \cdot x$ , dada por:

$$a_1^T \cdot x = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1p}x_p = \sum_{j=1}^p a_{1j}x_j \quad (1)$$

tal que  $\text{var}(a_1^T \cdot x) = a_1^T \Sigma a_1$  es máxima sujeta a  $a_{11}^2 + a_{12}^2 + \dots + a_{1p}^2 = 1$  donde  $\Sigma$  es la matriz de covarianzas de  $x$ . En este procedimiento de maximización,  $a_1^T$  es un vector característico y corresponde al valor característico más grande,  $\delta_1$ , de  $\Sigma$ . Luego se busca una segunda combinación lineal  $a_2^T \cdot x$ :

$$a_2^T \cdot x = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2p}x_p = \sum_{j=1}^p a_{2j}x_j \quad (2)$$

tal que  $\text{var}(a_2^T \cdot x) = a_2^T \Sigma a_2$  es máxima sujeta a  $a_{21}^2 + a_{22}^2 + \dots + a_{2p}^2 = 1$   $\text{cov}(a_1^T \cdot x, a_2^T \cdot x) = 0$ . En este caso,  $a_2^T$  es un vector característico y corresponde al segundo valor característico más grande,  $\delta_2$ , de  $\Sigma$ .

El tercero, cuarto, ...,  $p$ -ésimo coeficientes principales  $(a_3, a_4, \dots, a_p)$ , son los vectores

Cuadro 1. Indicadores de desempeño.

Dominio	Indicador	Abreviación	Definición	Rango
				(mín-máx)
Operativo	(1) Volumen total de agua extraída de la fuente de abastecimiento por área regada (miles de m <sup>3</sup> /ha)	VB/AR	$\frac{\text{Volumen total de agua extraída de la fuente de abastecimiento}}{\text{Área total regada}}$	2.29-24.96
	(2) Eficiencia global de conducción	EG	$\frac{\text{Volumen total de agua entregada a usuarios}}{\text{Volumen total de agua extraída de la fuente de abastecimiento}}$	35.59-100.00
Productivo	(3) *Precio medio rural (\$/ton)	PMR	$\frac{\text{Valor total de la producción}}{\text{Producción total}}$	325.00-16572.00
	(4) Valor de la producción por área regada (miles de \$/ha)	VP/AR	$\frac{\text{Valor total de la producción}}{\text{Área total regada}}$	8.75-226.02
	(5) *Producción por área regada (ton/ha)	P/AR	$\frac{\text{Producción total}}{\text{Área total regada}}$	4.43-102.58
	(6) Valor de la producción por agua extraída de la fuente de abastecimiento (\$/m <sup>3</sup> )	VP/VB	$\frac{\text{Valor total de la producción}}{\text{Volumen total del agua extraída de la fuente de abastecimiento}}$	0.38-20.34
	(7) *Producción por unidad de agua extraída de la fuente de abastecimiento (kg/m <sup>3</sup> )	P/VB	$\frac{\text{Producción total}}{\text{Volumen total del agua extraída de la fuente de abastecimiento}}$	0.50-26.16
	(8) Valor de la producción por agua entregada a usuarios (\$/m <sup>3</sup> )	VP/VN	$\frac{\text{Valor total de la producción}}{\text{Volumen total del agua entregada a usuarios}}$	1.04-21.47
	(9) *Producción por agua entregada a usuarios (kg/m <sup>3</sup> )	P/VN	$\frac{\text{Producción total}}{\text{Volumen total del agua entregada a usuarios}}$	0.75-37.13
Financiero	(10) Tasa de recuperación de costos	TRC	$\frac{\text{Ingresos colectados por el pago de servicios por los usuarios}}{\text{Costo total de administración, operación y mantenimiento por servicio de riego}}$	0.00-1.69
	(11) Ingreso promedio por agua entregada a usuarios (\$/m <sup>3</sup> )	IP/VN	$\frac{\text{Ingresos colectados por el pago de servicios por los usuarios}}{\text{Volumen total de agua entregada a los usuarios}}$	0.00-0.46
	(12) Proporción de costos de mantenimiento	PCM	$\frac{\text{Costo total de mantenimiento}}{\text{Ingresos colectados por el pago de servicios por los usuarios}}$	0.00-1.34
	(13) Costo de AOM por área regada (miles de \$/ha)	CAOM/AR	$\frac{\text{Costo total de administración, operación y mantenimiento por servicio de riego}}{\text{Área total regada}}$	0.00-3.17
Ambiental	(14) *Degradación del suelo	DS	Grado de degradación del suelo por factores físicos y químicos	0.20-2.61

\*Indicadores no incluidos en la referencia de Malano y Burton (2001).

característicos de  $\Sigma$  correspondientes a  $\delta_3, \delta_4, \dots, \delta_p$ , el tercero y cuarto valores característicos más grandes, . . . , y el valor característico más pequeño, respectivamente. Además,  $var(a_k^T x) = \delta_k$  para  $k = 1, 2, 3, \dots, p$ .

Estas combinaciones lineales son referidas como componentes principales y se espera, en general, que la mayor parte de la variación en  $x$  sea explicada por  $m$  de los componentes, donde  $m \ll p$ . Los componentes son constructos que no tienen necesariamente una interpretación simple.

En este estudio, el ACP se aplicó sobre un total de 14 indicadores de desempeño. El criterio seguido para la selección del número de componentes principales fue tomar un porcentaje acumulado de varianza mayor o igual que 85. La interpretación de cada componente se llevó a cabo a partir de las ponderaciones de cada indicador, tomando como criterio un valor absoluto mayor o igual que 0.3. Los componentes calculados para cada grupo climático se utilizaron para clasificar los distritos de riego mediante AC.

### Análisis de conglomerados

La clasificación de los distritos de riego en grupos estadísticamente homogéneos se hizo a través del método de análisis de conglomerados jerárquico, con la función de enlace de Ward y la distancia euclidiana cuadrada como medida de proximidad. En este método, la unión de dos conglomerados se basa en el tamaño de la suma de cuadrados del error y el objetivo es minimizar, en cada etapa, el incremento de la suma total de cuadrados del error ( $E$ ) dentro del conglomerado. La suma total de cuadrados del error es dada por:

$$E = \sum_{m=1}^g E_m \quad (3)$$

donde  $g$  es el número de conglomerados:

$$E_m = \sum_{l=1}^{n_m} \sum_{k=1}^{p_k} (x_{ml,k} - \bar{x}_{m,k})^2,$$

y  $\bar{x}_{m,k} = \left(\frac{1}{n_m}\right) \sum_{l=1}^{n_m} x_{ml,k}$  es la media del  $m^{\text{th}}$  conglomerado para la  $k^{\text{th}}$  variable;  $x_{ml,k}$  es el valor de la  $k^{\text{th}}$  variable ( $k = 1, \dots, p$ ) para el  $l^{\text{th}}$  objeto ( $l = 1, \dots, n_m$ ) en el  $m^{\text{th}}$  conglomerado ( $m = 1, \dots, g$ ).

### Evaluación de conglomerados

La evaluación del desempeño del riego se llevó a cabo a nivel de conglomerados, pues constituyen el menor nivel de agregación propuesto en este estudio. De manera general, el desempeño se evaluó de acuerdo con los siguientes dominios: *operativo*, expresado como eficiencia en la distribución y consumo del agua, a través de los indicadores VB/AR y EG; *productivo*, dividido en producción y productividad del agua. Para la producción se utilizaron los indicadores PMR, VP/AR y P/AR, para la productividad del agua, en términos de volumen de producción se utilizaron P/VB y P/VN, y para la productividad del agua en términos de valor económico VP/VB y VP/VN; *financiero*, se expresó en ingresos por administración, operación, mantenimiento de infraestructura y servicios del agua a usuarios, usando los indicadores TRC y IP/VN, y los costos de la conservación de la red de distribución del agua y costo del riego, a partir de los indicadores PCM y CAOM/AR. Para cada conglomerado se realizó lo siguiente:

1. Se estandarizaron los valores de cada indicador.
2. Se elaboró e interpretó una gráfica de radar con los valores estandarizados de los indicadores.
3. Se asignó un *valor de desempeño* para cada indicador, considerando su valor promedio, de acuerdo con las siguientes categorías de la escala arbitraria: *muy bajo* (menor que -2); *bajo* (de -2 a -1); *regular* (-1 a 0); *medio* (0 a 1); *alto* (1 a 2), y *muy alto* (mayor que 2).

Asimismo, con la finalidad de complementar la caracterización de los conglomerados, se usaron las variables adicionales siguientes: área regada (AR), número de usuarios (NU), fuente y

conducción (FC), longitud de canales revestidos (LCR), longitud de canales sin revestir (LCSR), longitud de canales entubados (LCE) y tipos de cultivos principales.

## Resultados y discusión

### Clasificación climática

Un total de 84 distritos de riego de México quedaron divididos en tres grupos climáticos: seco (S) con 42 distritos; templado húmedo (TH) con 14, y cálido húmedo (CH) con 28 (cuadro 2). Clasificar los distritos de riego por tipo climático resultó una estrategia adecuada para disminuir la heterogeneidad, ya que el clima determina en gran medida el tipo de cultivo. Además, el clima y las condiciones geográficas de cada región influyen en la disponibilidad de agua. La precipitación, temperatura, tipo de suelo y tipo de cultivos contribuyeron a explicar la diferencia entre grupos climáticos y la homogeneidad de los distritos en cada grupo climático. En el grupo climático seco se siembra principalmente maíz, trigo, forrajes y cultivos de alto valor, como uva y hortalizas; en el grupo climático templado húmedo se produce principalmente sorgo, alfalfa, maíz y trigo; mientras que el grupo climático cálido húmedo se cultiva principalmente caña de azúcar, forrajes y algunos frutales. La figura 1 muestra la distribución geográfica de los distritos de riego por grupo climático.

### Análisis de componentes principales

En el cuadro 3 se muestran los resultados del análisis de componentes principales por grupo climático. El número de componentes se determinó a partir del porcentaje acumulado de varianza, tomando como referencia un valor mayor a 85%. El cuadro 3 muestra una clara reducción en la dimensionalidad del análisis del desempeño de la gestión, al reducir de 14 indicadores a 4 y/o 5 componentes principales, facilitando el análisis de conglomerados para la clasificación de los distritos de riego. El

cuadro 4 muestra las ponderaciones para cada indicador por componente y grupo climático. Se consideró que un indicador contribuye de manera importante al componente si su valor absoluto es mayor que 0.3.

### Análisis de conglomerados

En el análisis de conglomerados por grupo climático, a través del enlace Ward, se utilizaron a los distritos de riego como casos y los valores de los componentes principales para cada distrito como variables. Los valores de los componentes principales se calcularon a partir de sus ecuaciones estimadas, sustituyendo en cada ecuación valores originales de los indicadores. El número de conglomerados se determinó tomando un porcentaje de similitud mayor a 70%. A partir de lo anterior, se obtuvieron los conglomerados S1, S2, S3, S4 y S5 para el grupo climático seco (figura 2a); los conglomerados TH1 y TH2 para el grupo climático templado húmedo (figura 2b). Los conglomerados TH3, TH4, TH5 y TH6, que corresponden a los DR 61, 87, 73, y 99, respectivamente, no se consideraron para el análisis posterior por estar constituidos por un solo distrito. Los conglomerados CH1, CH2, CH3, CH4, CH5 y CH6 se consideraron para el grupo climático cálido húmedo (figura 2c). El distrito 37 se unió al conglomerado conformado por los DR 50, 66, 51, 84, constituyendo el conglomerado S5.

### Evaluación de los conglomerados

A continuación se presenta una descripción general de cada grupo climático y posteriormente se evalúa el desempeño de sus conglomerados.

#### Grupo climático seco

El grupo climático seco ocupa más de 70% de la superficie total de los distritos de riego y tiene más de 60% del total de usuarios del país, para una distribución promedio de 6 ha por usuario. El desempeño operativo de los conglomerados de este grupo climático es aceptable, lo cual puede deberse a que más de 50% de su red

Cuadro 2. Clasificación de los distritos de riego de México de acuerdo a su clima.

Grupo seco				Grupo templado húmedo		Grupo cálido húmedo	
Núm.	Nombre (ubicación)	Núm.	Nombre (ubicación)	Núm.	Nombre (ubicación)	Núm.	Nombre (ubicación)
1	Pabellón (Aguascalientes)	76	Valle del Carrizo (Sinaloa)	11	Alto Río Lerma (Guanajuato)	2	Mante (Tamaulipas)
3	Tula (Hidalgo)	83	Papigochic (Chihuahua)	13	Estado de Jalisco (Jalisco)	16	Estado de Morelos (Morelos)
4	Don Martín (Coahuila y Nuevo León)	84	Guaymas (Sonora)	20	Morelia (Michoacán)	19	Tehuantepec (Oaxaca)
5	Delicias (Chihuahua)	85	La Begoña (Guanajuato)	24	Ciénega de Chapala (Michoacán)	25	Bajo Río Bravo (Tamaulipas)
6	Palestina (Coahuila)	86	Río Soto La Marina (Tamaulipas)	30	Valsequillo (Puebla)	29	Xicoténcatl (Tamaulipas)
8	Metztitlán (Hidalgo)	88	Chiconautla (México)	33	Estado de México (México)	35	La Antigua (Veracruz)
9	Valle de Juárez (Chihuahua)	89	El Carmen (Chihuahua)	44	Jilotepec (México)	43	Edo. de Nayarit (Nayarit)
10	Culiacán-Humaya (Sinaloa)	90	Bajo Río Conchos (Chihuahua)	45	Tuxpan (Mich.)	46	Cacahoatán-Suchiata (Chiapas)
14	Río Colorado (Baja California y Sonora)	97	Lázaro Cárdenas (Michoacán)	56	Atoyac-Zahuapan (Tlaxcala)	48	Ticul (Yucatán)
17	Región Lagunera (Coahuila y Durango)	100	Alfajayucan (Hidalgo)	61	Zamora (Michoacán)	53	Estado de Colima (Colima)
18	Colonias Yaquis (Sonora)	103	Río Florido (Chihuahua)	73	La Concepción (México)	57	Amuco-Cutzamala (Guerrero)
23	San Juan del Río (Querétaro)	108	Elota-Pixtla (Sinaloa)	87	Rosario-Mezquite (Michoacán)	59	Río Blanco (Chiapas)
26	Bajo Río San Juan (Tamaulipas)	109	Río San Lorenzo (Sinaloa)	96	Arroyozarco (Guerrero)	60	El Higo (Pánuco) (Veracruz)
28	Tulancingo (Hidalgo)	112	Ajacuba (Hidalgo)	99	Quitupan-Magdalena (Michoacán)	68	Tepeacoacuilco-Quechultenango (Guerrero)
31	Las Lajas (Nuevo León)					82	Río Blanco (Veracruz)
34	Edo. de Zacatecas (Zacatecas)					93	Tomatlán (Jalisco)
37	Altar Pitiquito Caborca (Sonora)					94	Jalisco Sur (Jalisco)
38	Río Mayo (Sonora)					95	Atoyac (Guerrero)
41	Río Yaqui (Sonora)					98	José Ma. Morelos (Michoacán)
42	Buenaventura (Chihuahua)					101	Cuxtepeques (Chiapas)
49	Río Verde (San Luis Potosí)					104	Cuajinicuilapa (Ometepec) (Guerrero)
50	Acuña-Falcón (Tamaulipas)					105	Nexpa (Guerrero)
51	Costa de Hermosillo (Sonora)					107	San Gregorio (Chiapas)
52	Estado de Durango (Durango)					110	Río Verde-Progreso (Oaxaca)
63	Guasave (Sinaloa)					111	Río Presidio (Sinaloa)
66	Santo Domingo (Baja California Sur)					92A	Río Pánuco, Las Ánimas (Tamaulipas)
74	Mocorito (Sinaloa)					92B	Río Pánuco, Chicayán (Veracruz)
75	Río Fuerte (Sinaloa)					92C	Río Pánuco, Pujal Coy I (San Luis Potosí)

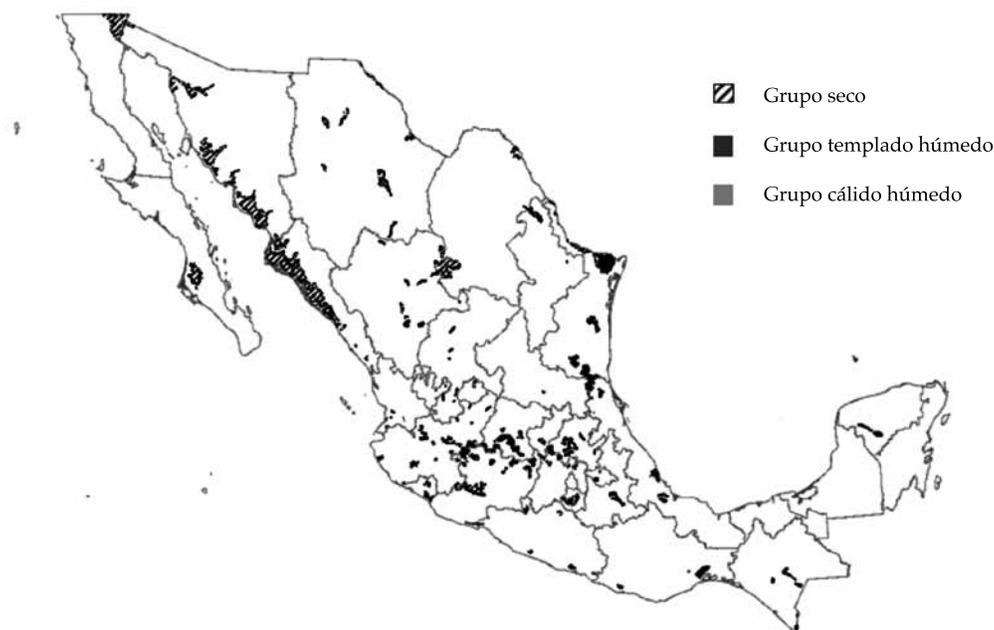


Figura 1. Distribución geográfica de los distritos de riego por grupo climático

Cuadro 3. Análisis de componentes principales.

Grupo seco	Componentes	1	2	3	4	5
	% de varianza	0.319	0.253	0.119	0.104	0.073
	% acumulado de varianza	0.319	0.572	0.691	0.795	0.868
Grupo templado húmedo	Componentes	1	2	3	4	
	% de varianza	0.293	0.258	0.187	0.114	
	% acumulado de varianza	0.293	0.551	0.738	0.852	
Grupo cálido húmedo	Componentes	1	2	3	4	5
	% de varianza	0.414	0.194	0.11	0.086	0.075
	% acumulado de varianza	0.414	0.608	0.718	0.804	0.879

de distribución cuenta con canales revestidos y cerca de 6% es infraestructura entubada. En términos de producción tiene resultados pobres, predominado cultivos de valor regular, como forrajes (alfalfa y sorgo), cereales (maíz y trigo) y, en menor proporción, cultivos de alto valor, como hortalizas (chile, papa y jitomate) y frutales (vid de mesa y nuez). La producción del agua es baja, lo cual puede atribuirse al uso apenas aceptable y un bajo rendimiento promedio en los cultivos. Por otro lado, la productividad económica del agua es desfavorable, atribuible

a los altos volúmenes de producción de cultivos de valor regular (cuadro 5). El desempeño financiero y el estado del suelo resultaron aceptables en general.

#### Conglomerado S1

En general, este grupo presenta homogeneidad notable en los indicadores de gestión (figura 3a). Este grupo gestiona deficientemente la producción, la productividad del agua y las finanzas (cuadro 6). El S1 tiene cultivos de alto

Cuadro 4. Ponderaciones de los indicadores por componente y grupo climático.

Indicadores por dominio	Componentes: grupo seco					Componentes: grupo templado húmedo				Componentes: grupo cálido húmedo				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	5
<b>Operativo</b>														
VB/AR	-0.172	0.120	<b>0.438</b>	-0.220	<b>0.606</b>	-0.040	-0.289	-0.220	<b>0.518</b>	-0.221	0.152	<b>0.602</b>	0.066	0.058
EG	<b>0.359</b>	-0.040	-0.139	0.052	0.089	-0.061	-0.259	0.009	<b>-0.575</b>	0.035	<b>-0.422</b>	-0.104	-0.282	<b>0.311</b>
<b>Productivo</b>														
PMR	<b>0.319</b>	<b>-0.311</b>	0.179	-0.091	0.116	-0.133	<b>-0.463</b>	-0.177	0.035	-0.104	<b>-0.473</b>	-0.048	<b>0.487</b>	-0.015
VP/AR	<b>0.413</b>	-0.107	0.198	-0.007	<b>0.306</b>	0.143	<b>-0.403</b>	<b>-0.301</b>	0.179	0.086	<b>-0.372</b>	<b>0.452</b>	0.164	<b>0.387</b>
P/AR	0.013	<b>0.462</b>	-0.035	0.119	<b>0.381</b>	<b>0.419</b>	0.205	-0.142	0.106	0.268	0.139	<b>0.358</b>	<b>-0.352</b>	<b>0.340</b>
VP/VB	<b>0.456</b>	-0.072	-0.056	0.075	-0.038	0.260	-0.270	-0.243	<b>-0.424</b>	<b>0.320</b>	<b>-0.368</b>	-0.053	-0.037	-0.020
P/VB	0.172	<b>0.429</b>	-0.263	0.237	-0.014	<b>0.401</b>	0.265	-0.105	-0.032	<b>0.391</b>	0.047	0.004	-0.245	-0.103
VP/VN	<b>0.431</b>	-0.075	-0.010	0.112	-0.093	<b>0.362</b>	-0.193	-0.267	-0.208	<b>0.348</b>	<b>-0.298</b>	-0.052	0.02	-0.015
P/VN	0.061	<b>0.474</b>	-0.187	0.196	0.038	<b>0.406</b>	0.266	-0.119	0.024	<b>0.392</b>	0.09	0.003	-0.212	-0.094
<b>Financiero</b>														
TRC	-0.173	-0.087	<b>-0.443</b>	<b>-0.483</b>	0.031	<b>-0.303</b>	0.229	<b>-0.304</b>	-0.085	-0.244	-0.055	<b>-0.363</b>	-0.262	<b>0.432</b>
IP/VN	-0.186	<b>-0.325</b>	-0.276	<b>0.317</b>	0.026	0.173	-0.149	<b>0.475</b>	0.002	<b>0.308</b>	0.207	-0.290	0.230	0.148
PCM	-0.199	0.050	<b>0.463</b>	<b>0.381</b>	<b>-0.305</b>	<b>0.303</b>	-0.120	0.277	0.118	<b>0.303</b>	-0.036	0.076	0.240	<b>-0.327</b>
CAOM/AR	-0.165	-0.275	-0.005	<b>0.541</b>	0.254	0.204	<b>-0.296</b>	<b>0.333</b>	0.216	0.266	0.242	0.123	<b>0.338</b>	0.257
<b>Ambiental</b>														
DS	-0.105	-0.227	<b>-0.349</b>	0.202	<b>0.449</b>	-0.013	-0.054	<b>0.384</b>	-0.252	0.115	0.277	-0.225	<b>0.358</b>	<b>0.482</b>

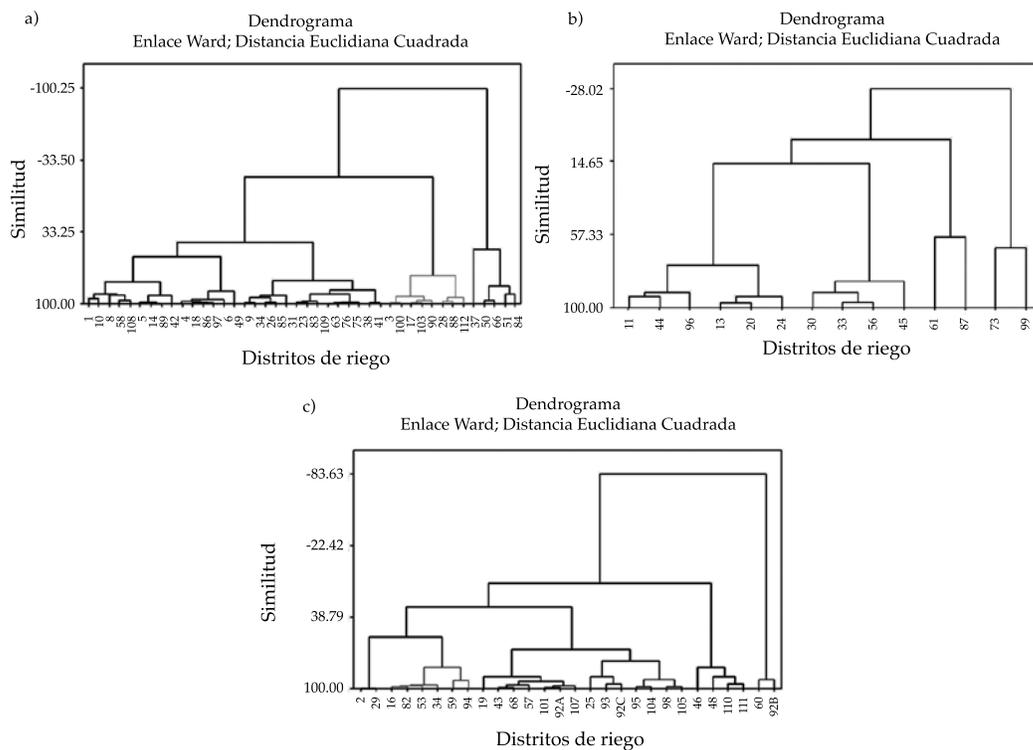


Figura 2. Dendrogramas de los conglomerados por grupo climático: a) seco, b) templado húmedo, y c) cálido húmedo.

valor económico, como tomate, pepino, nuez, chile seco y chile verde; pero también predominan cultivos de bajo valor, como alfalfa verde y maíz, por lo que la eficiencia productiva y la productividad del agua no son adecuadas. El desempeño financiero no es favorable debido a que los ingresos por gestión y servicios del agua no compensan el mantenimiento de la red y los altos costos del riego. En relación con el dominio ambiental, el nivel de deterioro del suelo es considerable.

#### Conglomerado S2

Este grupo se caracteriza principalmente por su bajo desempeño operativo y alta productividad del agua en términos del volumen de producción (figura 3b, cuadro 6). Lo anterior se explica por el uso de altos volúmenes de agua y pérdidas considerables por conducción, a pesar de tener una proporción alta de canales revestidos. Este grupo tiene un rendimiento alto de los cultivos, ya que predominan cultivos de alto rendimiento, como alfalfa verde y otros forrajes, lo cual impacta positivamente la productividad del agua, en términos de producción.

#### Conglomerado S3

El S3 tiene un desempeño general pobre (figura 3c). La gestión operativa de este grupo es la más deficiente, ya que utiliza mucha agua de riego y pierde altas cantidades por conducción, a pesar de tener una longitud considerable de canales con revestimiento. Como característica positiva presenta un estado del suelo favorable (cuadro 6).

#### Conglomerado S4

Este grupo sólo destaca en el desempeño financiero (figura 3d, cuadro 6). Este desempeño positivo se manifiesta como una suficiencia financiera, la cual puede explicarse por altos ingresos y aceptables proporciones de costos de mantenimiento, aunque sus costos de gestión son altos. Ambientalmente, el suelo presenta un nivel considerable de degradación.

#### Conglomerado S5

El conglomerado S5 presenta la mejor gestión del riego en este grupo climático (figura 3e, cuadro 6). Su buen desempeño operativo se explica por la baja cantidad de agua utilizada y pérdidas moderadas de agua en la conducción, lo cual puede atribuirse a su fuente de abastecimiento (pozos) limitada. En general, el dominio productivo es destacable por su alta productividad del agua en términos económicos, atribuible a cultivos (p. ej., vid mesa, chile verde y papa) de valor muy alto. El dominio financiero tiene una gestión desfavorable debido a bajos ingresos por servicios del agua. Finalmente, su dominio ambiental presenta un nivel aceptable.

#### *Grupo climático templado húmedo*

El grupo climático templado húmedo ocupa un 9% de la superficie total de los distritos, con alrededor de 18% del total de usuarios del país, con 2.5 ha por productor. En relación con el desempeño, los conglomerados de este grupo climático tienen un desempeño operativo aceptable, atribuible al uso de cantidades bajas de agua. La gestión del dominio productivo es pobre, ya que sus principales cultivos son de bajo valor económico y rendimiento (cuadro 7). Su manejo financiero y ambiental es apenas aceptable.

#### Conglomerado TH1

Presenta una variabilidad notable, principalmente en el dominio financiero, pero de acuerdo con la media, este grupo tiene un desempeño operativo relativamente bueno, ya que el consumo de agua del TH1 es comparativamente bajo; además, las pérdidas por conducción se pueden considerar bajas (figura 4a, cuadro 8).

#### Conglomerado TH2

En general tiene un desempeño operativo y productivo deficiente, pero se caracteriza de forma positiva por tener suficiencia financiera;

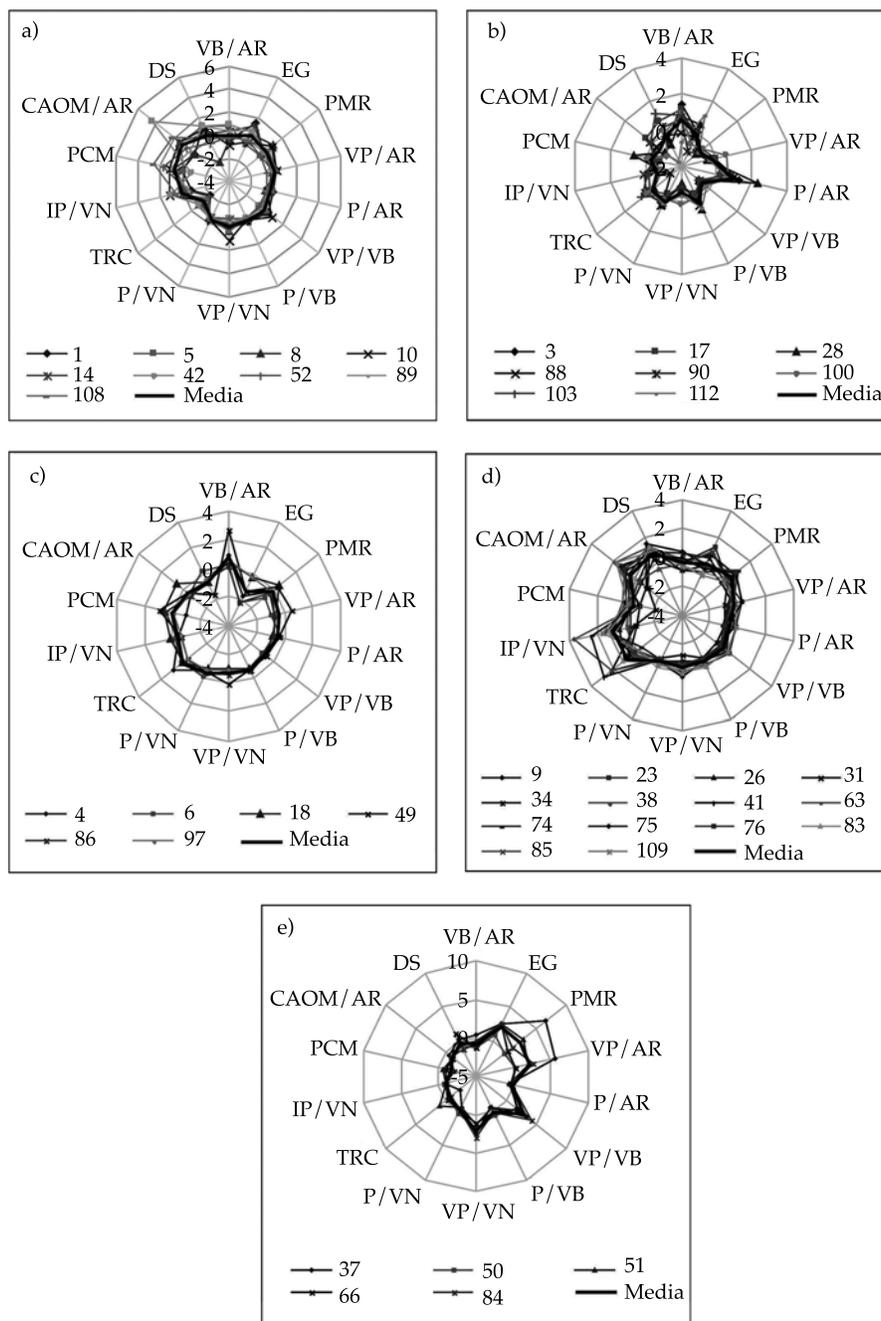


Figura 3. Conglomerados del grupo climático seco: (a) S1, (b) S2, (c) S3, (d) S4, (e) S5.

aunque sus ingresos son pocos, los costos de administración, operación y conducción de los distritos de riego también son bajos. El TH2 tiene un nivel de degradación del suelo aceptable

(figura 4b, cuadro 8). Cabe mencionar que en este grupo destaca el distrito 45 por cultivar guayaba, un frutal con un valor económico alto.

Cuadro 5. Características generales de los conglomerados del grupo climático seco.

Grupo	DR	AR (ha)	NU	FC	LCR (km)	LCSR (km)	LCE (Km)	Cultivos de mayor volumen y/o valor de producción
S1	1, 5, 8, 10, 14, 42, 52, 89, 108	473 587	54 539	GP, BP, GD	5 894.5	3 878.9	34.0	Alfalfa, maíz, chile verde, nuez, trigo, jitomate
S2	3, 17, 28, 88, 90, 100, 103, 112	141 786	101 115	GD, GP, BC	3 689.3	589.3	0	Alfalfa, sorgo forrajero verde, maíz forrajero verde, nuez, maíz, algodón
S3	4, 6, 18, 49, 86, 97	129 750	17 072	GP, GD	1 387.8	2 221.6	91.5	Zacates, sorgo forrajero verde, trigo, maíz elotero, limón, alfalfa
S4	9, 23, 26, 31, 34, 38, 41, 63, 74, 75, 76, 83, 85, 109	881 860	102 250	GP, GD	4 262.5	8 728.8	2 122.6	Alfalfa, maíz, sorgo, trigo, algodón, caña de azúcar, papa
S5	37, 50, 51, 66, 84	119 079	5 103	BP, GP	4 738.0	1 272.0	12.0	Alfalfa, zacate búffel verde, sandía, vid de mesa, papa, chile verde

AR: área regada; NU: número de usuarios; FC: fuente y conducción; GP: gravedad de presas; GD: gravedad de derivación; BC: bombeo de corrientes; BP: bombeo de pozos; LCR: longitud de canales revestidos; LCSR: longitud de canales sin revestir; LCE: longitud de canales entubados.

Cuadro 6. Desempeño de los conglomerados del Grupo Climático Seco por dimensión.

Conglomerado	Operativa	Producción	Productividad del agua en términos de valor de producción	Productividad del agua en términos de volumen de producción	Financiera	Ambiental
S1	M	R	R	R	R	M
S2	R	R	R	M	M	R
S3	B	R	R	R	R	R
S4	M	R	R	R	M	M
S5	A	A	MA	R	M	R

Muy bajo (MB), bajo (B), regular (R), medio (M), alto (A), muy alto (MA).

### Grupo climático cálido húmedo

El grupo climático cálido húmedo ocupa alrededor de 20% de la superficie total de los distritos de riego, cuenta con 19% del total de usuarios del país y una distribución cercana a 6 ha por usuario. En relación con el desempeño, los conglomerados de este grupo climático tienen una operación deficiente, lo cual puede atribuirse a pérdidas importantes de agua por la red de distribución del agua, a pesar de que esta

última tiene un porcentaje considerable entre canales revestidos e infraestructura entubada. Productivamente, este grupo climático tiene una producción regular, lo cual se puede atribuir a que gran parte del volumen de producción de los cultivos lo ocupa la caña de azúcar, la cual es de bajo valor económico; también se cosechan forrajes y algunos tipos granos como maíz y sorgo (cuadro 9). La productividad del agua es desfavorable, que puede atribuirse a los cultivos de bajo valor y altos consumos de agua. Por otra

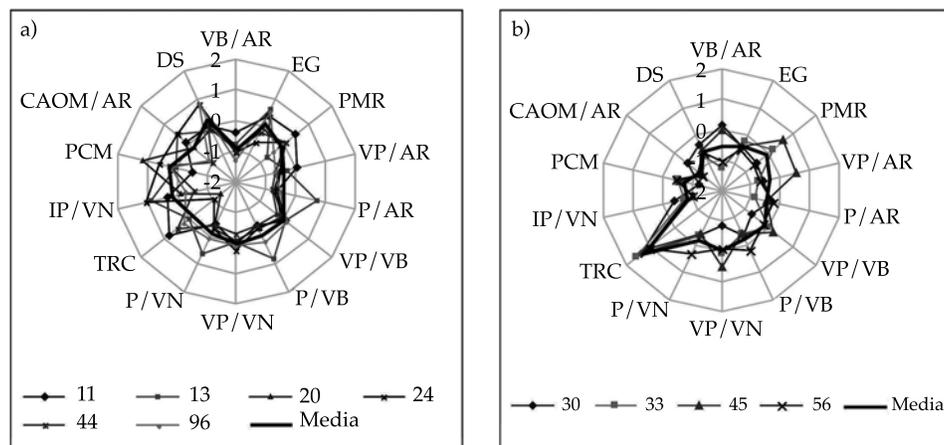


Figura 4. Conglomerados del grupo climático templado húmedo: a) TH1, b) TH2.

Cuadro 7. Características generales de los conglomerados del grupo climático templado húmedo.

Grupo	DR	AR (ha)	NU	FC	LCR (km)	LCSR (km)	LCE (Km)	Cultivos de mayor volumen y/o valor de producción
TH1	11, 13, 20, 24, 44, 96	163 152	47 144	GP, BC	638.9	2 584.7	22.0	Sorgo, caña de azúcar, alfalfa, maíz, trigo, zacate verde
TH2	30, 33, 45, 56	47 345	37 552	GP, GD	899.3	598.2	6.0	Alfalfa, trigo, maíz, guayabo

AR: área regada; NU: número de usuarios; FC: fuente y conducción; GP: gravedad de presas; GD: gravedad de derivación; BC: bombeo de corrientes; BP: bombeo de pozos; LCR: longitud de canales revestidos; LCSR: longitud de canales sin revestir; LCE: longitud de canales entubados.

Cuadro 8. Desempeño de los conglomerados del Grupo Climático Templado Húmedo por dimensión.

Conglomerado	Operativa	Producción	Productividad del agua en términos de valor de producción	Productividad del agua en términos de volumen de producción	Financiera	Ambiental
TH1	M	R	R	R	R	M
TH2	M	R	R	R	M	R

Muy bajo (MB), bajo (B), regular (R), medio (M), alto (A), muy alto (MA).

parte, la gestión financiera no es favorable y el grado de deterioro del suelo es relativamente bajo.

#### Conglomerado CH1

Los aspectos más notables del desempeño de CH1 se pueden observar en los temas producti-

vo, financiero y ambiental (figura 5a, cuadro 10). En el aspecto productivo es destacable su alto volumen de producción y alta productividad del agua por volumen de producción debido a que su cultivo predominante, la caña de azúcar, es de muy alto rendimiento. Por otro lado, financieramente, se podría decir que los ingresos son suficientes para solventar los costos de

gestión, siendo estos últimos muy altos, lo cual es indeseable. Por último, se debe resaltar que el estado del suelo del CH1 es muy deficiente.

#### Conglomerado CH2

Los distritos de este grupo presentan características de desempeño contrastantes, relacionadas con el desempeño operativo y productivo (figura 5b, cuadro 10). En particular, sus distritos tienen alto consumo de agua y pérdidas importantes en la conducción para un pobre desempeño operativo; asimismo, los rendimientos de sus cultivos principales, caña de azúcar y plátano, son muy altos, confiriéndole alta productividad de agua. El distrito 59 sobresale de manera significativa en la productividad del agua debido al bajo consumo de este recurso.

#### Conglomerado CH3

Este grupo muestra homogeneidad en la mayoría de los indicadores (figura 5c). Su comportamiento general no es aceptable, principalmente en el aspecto operativo, si bien su gestión ambiental tiene características positivas (cuadro 10). Otros aspectos que destacan de forma negativa son su deficiente distribución del agua, atribuida en particular al distrito 19, y los altos volúmenes de agua que utilizan los distritos miembros.

#### Conglomerado CH4

Este conglomerado muestra un comportamiento muy heterogéneo entre sus distritos, lo que complica identificar aspectos notables de desempeño (figura 5d, cuadro 10). De acuerdo con la media del grupo, su distribución y consumo de agua son regulares. Por otro lado, los cultivos son de bajo rendimiento y valor económico, lo cual le confiere baja productividad del agua. El desempeño financiero del grupo es aceptable, al tener ingresos promedio y costos de gestión regulares. Sin embargo, hay diferencias notables en el desempeño financiero entre sus distritos: los distritos 92C y 25 tienen altos ingresos, el

distrito 93 tiene costos considerables de administración y el distrito 25 destina una alta proporción de sus ingresos al mantenimiento. En el CH4, el suelo de riego tiene un estado aceptable.

#### Conglomerado CH5

Este conglomerado tiene un desempeño productivo positivamente destacable y un nivel de degradación del suelo favorable (figura 5e, cuadro 10). La gestión de su producción es buena, ya que tiene cultivos de alto valor (frutales) con rendimientos promedio. La productividad del agua, en valor económico, es buena debido al alto valor de sus cultivos, pero en volumen de producción es regular, ya que el rendimiento de los cultivos es apenas regular.

#### Conglomerado CH6

Este conglomerado comprende los distritos 60 y 092B. El grupo se destaca operativamente por tener un bajo consumo de agua, atribuible al uso de bombeo de corrientes, y el distrito 60 tiene una alta proporción de canales entubados. La caña de azúcar es el principal cultivo, aunque es de bajo valor económico, su excelente rendimiento le confiere alta eficiencia productiva. Asimismo, el CH6 destaca por sus valores muy altos de productividad de agua debido a los bajos volúmenes de agua utilizados y a los altos rendimientos de la caña de azúcar. Una de las debilidades de este grupo es la gestión financiera, ya que si bien sus ingresos por servicios del agua son altos, también lo son sus costos de gestión. El estado de sus suelos es bueno (figura 5f, cuadro 10).

### Conclusiones, consideraciones y recomendaciones

1. La estrategia metodológica desarrollada, basada en indicadores de desempeño y técnicas de estadística multivariada, resultó apropiada para clasificar y caracterizar el desempeño de la gestión de los distritos de riego en México. De manera general,

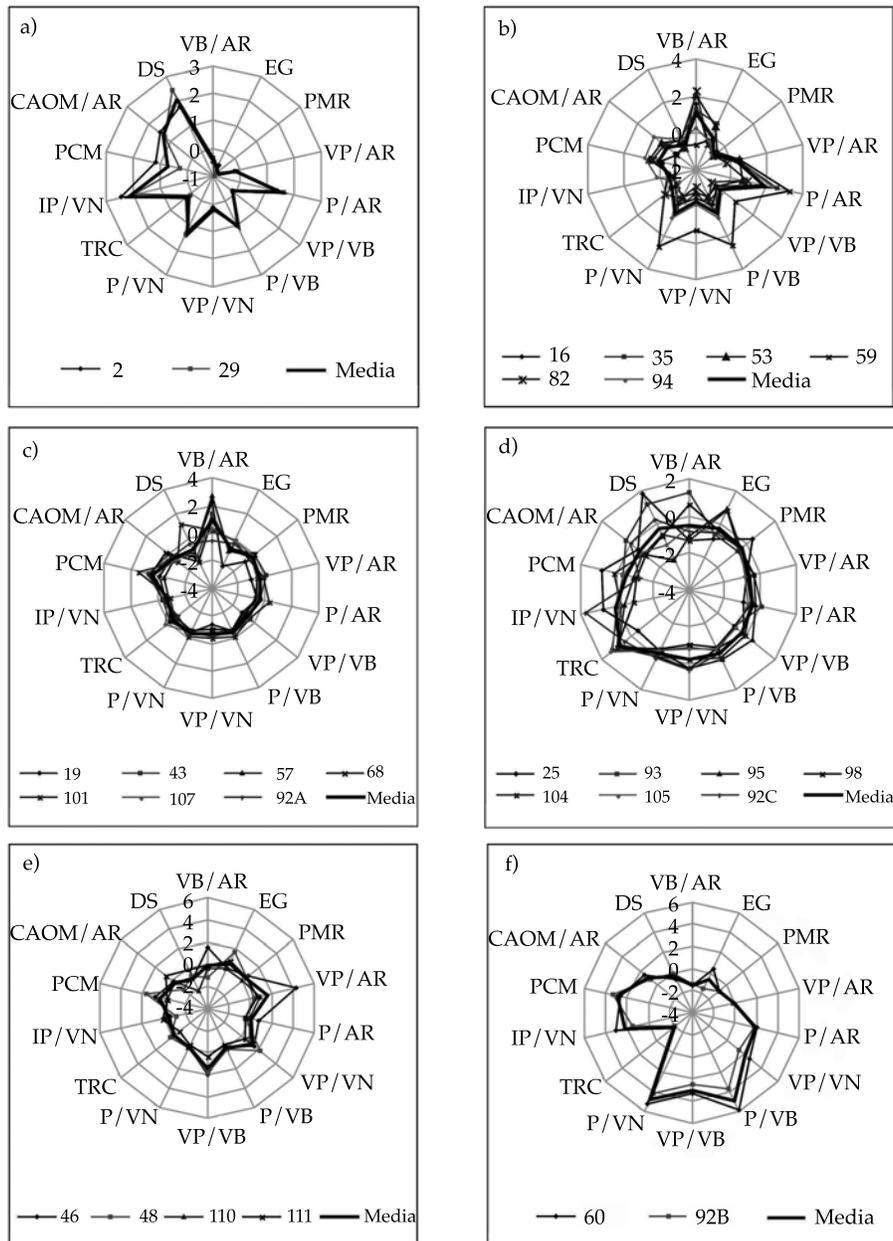


Figura 5. Conglomerados del Grupo Climático Cálido Húmedo: (a) CH1, (b) CH2, (c) CH3, (d) CH4, (e) CH5, (f) CH6.

los conglomerados obtenidos mostraron similitud en cultivos, aprovechamiento del agua, fuente de abastecimiento e infraestructura de canales de riego.

2. La clasificación inicial, por tipo de clima, permitió disminuir la heterogeneidad presente entre los distritos de riego. Bajo

este criterio, la precipitación y el tipo de cultivo otorgaron grado de homogeneidad significativo dentro de los tres grupos climáticos obtenidos, logrando una clasificación apropiada de los distritos.

3. El análisis de componentes principales redujo el número de indicadores de 14 a

Cuadro 9. Características generales de los conglomerados del grupo climático cálido húmedo.

Grupo	DR	AR (ha)	NU	FC	LCR (km)	LCSR (km)	LCE (Km)	Cultivos de mayor volumen y/o valor de producción
CH1	2, 29	31 860	4 755	GD, GP	118.0	502.0	0.0	Caña de azúcar
CH2	16, 35, 53, 59, 82, 94	100 695	25 607	GD, GP	2 265.0	1 071.7	276.8	Caña de azúcar, plátano
CH3	19, 43, 57, 68, 101, 107, 92A	104 928	26 865	GD, GP	1 771.9	2 120.4	504.8	Zacates, caña de azúcar, melón, sorgo forrajero verde
CH4	25, 93, 95, 98, 104, 105, 92C	230 257	22 091	GD, GP, BC	1 532.6	3 238.6	25.0	Sorgo, zacate estrella verde, mango, maíz
CH5	46, 48, 110, 111	20 124	6 439	GD, BP	285.0	78.0	1.0	Plátano, naranja, limón, papayo, maíz elotero
CH6	60, 92B	6 411	881	BC, BP	33.9	295.8	58.4	Caña de azúcar

AR: área regada; NU: número de usuarios; FC: fuente y conducción; GP: gravedad de presas; GD: gravedad de derivación; BC: bombeo de corrientes; BP: bombeo de pozos; LCR: longitud de canales revestidos; LCSR: longitud de canales sin revestir; LCE: longitud de canales entubados.

Cuadro 10. Desempeño de los conglomerados del grupo climático cálido húmedo por dimensión.

Conglomerado	Operativa	Producción	Productividad del agua en términos de valor de producción	Productividad del agua (en términos de volumen de producción)	Financiera	Ambiental
CH1	R	M	R	A	M	MA
CH2	R	M	R	A	R	R
CH3	R	R	R	M	R	R
CH4	M	R	R	R	M	R
CH5	M	M	A	R	R	R
CH6	M	M	A	MA	B	R

Muy bajo (MB), bajo (B), regular (R), medio (M), alto (A), muy alto (MA).

5 componentes para los grupos climáticos seco y cálido húmedo; y a cuatro para el grupo climático templado húmedo. Esta reducción en la dimensionalidad de los datos ayudó a disminuir la complejidad del análisis y facilitó la aplicación del análisis de conglomerados para la clasificación.

- Mediante el análisis de conglomerados se obtuvieron cinco conglomerados para el grupo climático seco; dos, para el templado húmedo, y seis para el cálido húmedo. De acuerdo con las gráficas de radar, los conglomerados obtenidos para el grupo

climático seco y el cálido húmedo tuvieron un grado de homogeneidad adecuada; mientras que los conglomerados obtenidos para el grupo climático templado húmedo no fueron muy homogéneos.

- Dado que la clasificación inicial de los distritos de riego en grupos climáticos resultó adecuada para el análisis posterior, se consideró pertinente hacer una evaluación de la gestión del riego por grupo climático. Algunos aspectos destacables son los siguientes: los conglomerados del grupo climático seco tienen un desempeño

- aceptable en la gestión operativa, financiera y ambiental; sin embargo, su desempeño productivo es desfavorable, atribuible a la alta producción de cultivos de valor y/o rendimiento regular. En particular, el conglomerado S5 resultó el mejor gestionado y el conglomerado S3 el peor gestionado, mientras que el resto de los conglomerados tuvieron desempeños regulares. Los conglomerados del grupo climático templado húmedo tuvieron un desempeño operativo aceptable, un desempeño productivo pobre, atribuible a la producción de cultivos de valor regular y/o bajo rendimiento, y un desempeño financiero y ambiental apenas aceptable. Ningún conglomerado destaca de manera particular en este grupo climático. En los conglomerados del grupo climático cálido húmedo predomina la gestión deficiente en todas las dimensiones de gestión, con excepción del ambiental, ya que tienen un adecuado estado de los suelos. Sin embargo, de manera particular, los conglomerados CH5 y CH6 presentaron un desempeño favorable en la mayoría de sus dimensiones, pero sólo representan alrededor de 6% de la superficie regada de este grupo climático.
6. Como conclusión general, la gestión de los DR es baja. *Operativamente* se puede decir que la gestión es apenas aceptable, lo cual es atribuible a las altas pérdidas de agua por conducción debido al inadecuado estado de la red, a un alto porcentaje de canales sin revestir o sin entubar, al desnivel de las tierras de cultivos y a malas prácticas culturales de riego de los usuarios, además de los altos consumos de agua. *Productivamente* predomina una gestión pobre, lo cual puede deberse a los altos volúmenes de producción de cultivos de bajo y/o regular valor de producción, como los forrajes (p. ej., alfalfa, zacates) y granos (p. ej., maíz, trigo y sorgo), y a la baja producción de cultivos de alto valor como las hortalizas (p. ej., papa, jitomate y chile). De igual manera, la *productividad del agua* también es desfavorable, gracias al alto

consumo de agua y a los cultivos con bajo valor y/o rendimientos regulares. La *gestión financiera* es apenas aceptable, atribuible a ingresos por cuota del servicio de riego apenas suficientes para los gastos de administración, operación y mantenimiento. Por último, la *gestión ambiental*, medida a través del estado de degradación del suelo, tiene un valor aceptable.

7. La clasificación y caracterización de los distritos de riego alcanzada en este trabajo es de gran utilidad para estudios posteriores que aborden su *eficiencia técnica*, lo cual permitirá identificar áreas de oportunidad y emitir recomendaciones puntuales para mejorar su gestión.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al personal del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y de la Comisión Nacional de Agua de México, por brindar generosamente datos utilizados en este estudio.

## Referencias

- Burton, M. (2010). *Irrigation management: Principles and practices*. Connecticut, USA: CABI.
- Conabio & García, E. (2001). "Climas" (*clasificación de Köppen, modificado por García*). Escala 1:1000000. Consultado el 14 de octubre de 2015. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>.
- Conagua (2011). *Agenda del agua 2030*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Conagua (2013). *Resultados de los estados financieros 2012 de las ACU y SRL de los Distritos de Riego*. México, DF: Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola.
- Conagua (2014). *Resultados de los estados financieros 2013 de las ACU y SRL de los Distritos de Riego*. México, DF: Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola.
- Conagua (2015a). *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*. México, DF: Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola.
- Conagua (2015b). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. Consultado el 17 de julio de 2015. Recuperado de <http://www.edistritos.com/DR/>.

- Córcoles, J. I., De Juan, J. A., Ortega, J. F., Tarjuelo, J. M., & Moreno, M. A. (2010). Management evaluation of Water Users Associations using benchmarking techniques. *Agricultural Water Management*, 98(1), 1-11.
- Cornish, G. A. (2005). *Performance bechmarking in the Irrigation and drainage sector: Experiences to date and conclusions*. Recovered from [http://eprints.hrwallingford.co.uk/69/1/OD155\\_-\\_REPRO\\_-\\_Benchmarking\\_in\\_Irrigation\\_and\\_Drainage\\_Sector-teb.pdf](http://eprints.hrwallingford.co.uk/69/1/OD155_-_REPRO_-_Benchmarking_in_Irrigation_and_Drainage_Sector-teb.pdf).
- INEGI (2005). *Guía para la interpretación de cartografía climatólogica*. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática.
- Laszlo, A., & Krippner, S. (1998). Systems Theories: Their Origins, Foundations, and Development (pp. 47-74). In: *Systems theories and a priori aspects of perception*. Jordan, J. S. (ed.). Amsterdam: Elsevier Science.
- Lowdermillk, M. K., Clyma, W., Dunn, L. E., Haider, M. T., Laitos, W. R., Nelson, L. J., & Podmore, T. H. (1983). *Diagnostic analysis of irrigation systems. Volume 1: Concepts & Methodology*. Podmore, C. A. (ed.). Fort Collins, USA: Water Management Synthesis Project.
- Malano, H., & Burton, M. (2001). *Guidelines for benchmarking performance in the irrigation and drainage sector*. Roma: Food & Agriculture Organization.
- 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.
- Molden, D., Burton, M., & Bos, M. G. (2007). Performance assessment , irrigation service delivery and poverty reduction: Benefits of improved system management. *Irrigation and Drainage*, 56(1-2), 307-320.
- 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.
- Palerm, J., Collado, J., & Rodriguez, B. (2010). Retos para la administración y gestión del agua de riego. En: *El agua en México: cauces y encauces* (pp. 141-178). Jiménez, B., Torregrosa, M. L., & Aboites, L. (eds.). México, DF: Academia Mexicana de Ciencias.
- Rodríguez-Díaz, J. A., Camacho-Poyato, E., López-Luque, R., & Pérez-Urrestarazu, L. (2008). Benchmarking and multivariate data analysis techniques for improving the efficiency of irrigation districts: An application in Spain. *Agricultural Systems*, 96(1-3), 250-259.
- Schultz, B., & Wrachien, D. (2002). Irrigation and drainage systems research and development in the 21st century. *Irrigation and Drainage*, 51(4), 311-327.
- Semarnat (2013). *Programa Nacional Hídrico 2014-2018*. México, DF: Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Semarnat & Dirección de Geomática (2004). *Degradación del suelo en la República Mexicana - Escala 1:250 000*. Consultado el 10 de noviembre de 2015. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>.
- Sistema Nacional de Información del Agua (2016). *Distritos de Riego (Nacional)*. Consultado el 1 de marzo de 2016. Recuperado de [http://201.116.60.25/sina/index\\_jquery-mobile2.html?tema=distritosriego](http://201.116.60.25/sina/index_jquery-mobile2.html?tema=distritosriego).
- Small, E. L., & Svendsen, M. (1990). A framework for assessing irrigation performance. *Irrigation and Drainage Systems*, 4(4), 283-312.
- Stapenhurst, T. (2009). *The benchmarking book: A how-to-guide to best practice for managers and practitioners*. Oxfordshire, Inglaterra: Butterworth-Heinemann.
- Zema, D. A., Nicotra, A., Tamburino, V., & Zimbone, S. M. (2015). Performance Assessment of Collective Irrigation in Water Users' Associations of Calabria (Southern Italy). *Irrigation and Drainage*, 64(3), 314-325.

## Dirección institucional de los autores

M.C. Anabel Altamirano Aguilar

Estudiante de Doctorado en Ciencias  
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo,  
A.C. (CIAD)  
Carretera a Eldorado km. 5.5, Col. Campo El Diez  
80110 Culiacán, Sinaloa, MÉXICO  
Teléfono: +52 (667) 7605 536/537/538  
[anabel.altamirano@estudiantes.ciad.mx](mailto:anabel.altamirano@estudiantes.ciad.mx)

Dr. José Benigno Valdez Torres

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo,  
A.C. (CIAD)  
Departamento de Estadística Aplicada  
Carretera a Eldorado km. 5.5, Col. Campo El Diez  
80110 Culiacán, Sinaloa, MÉXICO  
Teléfono: +52 (667) 7605 536/537/538  
[jvaldez@ciad.mx](mailto:jvaldez@ciad.mx)

Dr. Cuitláhuac Valdez Lafarga

Coordinador Académico del Doctorado en Ciencias  
Administrativas  
Universidad de Occidente Unidad Culiacán  
Boulevard Lola Beltrán 3210  
80020 Culiacán, Sinaloa, MÉXICO  
Teléfono: +52 (667) 7591 300  
[cuitlahuac.valdez@udo.mx](mailto:cuitlahuac.valdez@udo.mx)

Dr. Jorge Inés León Balderrama

Investigador Titular C, SNI nivel I  
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo,  
A.C. (CIAD)  
Coordinación de Desarrollo Regional  
Departamento de Economía Regional e Integración  
Internacional (DERII)  
Edificio Desarrollo, carretera a la Victoria km. 0.6  
Apdo. Postal 1735

83304 Hermosillo, Sonora, MÉXICO  
Teléfono: +52 (662) 289 2400, ext. 370  
jleon@ciad.mx

*Dr. Miguel Betancourt Lozano*

Investigador Titular C, SNI nivel I.  
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo,  
A.C. (CIAD)  
Coordinación de Acuicultura y Manejo Ambiental  
Unidad Mazatlán en Acuicultura y Manejo Ambiental.  
Apartado Postal 711  
82000 Mazatlán, Sinaloa, MÉXICO  
Teléfono: +52 (669) 9898 700, ext. 240  
mbl@ciad.mx

*Dr. Tomás Osuna Enciso*

Investigador Titular C, SIN nivel I  
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo,  
A.C. (CIAD)  
Departamento de Horticultura  
Carretera a Eldorado km. 5.5, Col. Campo El Diez  
80110 Culiacán, Sinaloa, MÉXICO  
Teléfono: +52 (667) 7605 536/537/538  
osuna@ciad.mx