

Productivity analysis of the Río Bravo irrigation districts using performance indicators

Análisis productivo de los distritos de riego del Río Bravo usando indicadores de desempeño

Mauro Íñiguez-Covarrubias^{1*}; Waldo Ojeda-Bustamante²;
Víctor Manuel Olmedo-Vázquez³

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac núm. 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos. C. P. 62550, MÉXICO.

²Colegio Mexicano de Ingenieros en Irrigación (COMIIL). Vicente Garrido núm. 106, Col. Amp. Maravillas, Cuernavaca, Morelos, C. P. 62230, MÉXICO.

³Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario del Noroeste (CRUNO). Colima 163 Norte, Col. Centro, Ciudad Obregón, Sonora, C. P. 85000, MÉXICO.

*Corresponding author: mic@tlaloc.imta.mx, tel. 777 329 3600.

Abstract

Introduction: Irrigation districts (IDs) are irrigation projects that require periodic evaluation to determine performance.

Objectives: To analyze the production behavior of several IDs located in the transboundary Río Bravo basin, Mexico.

Methodology: Agricultural and hydrometric information was compiled, organized and analyzed for 11 IDs in the Río Bravo basin to determine production performance based on seven indicators.

Results: The production value with respect to the volume of water extracted from the supply source varied from 1.1 to 9 $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$, while the productivity of water extracted from the supply source varied from 0.6 a 5.7 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ and the production per unit of water delivered to users varied from 0.81 to 9.27 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Limitations of the study: Performance indicators reflect the productivity of the irrigation area according to management of the crop, irrigation service, technological package, crop pattern, infrastructure, among other factors.

Originality: Performance of IDs located in the high-water pressure area in the Río Bravo basin was analyzed based on available information.

Conclusions: Several performance indicators are required to characterize integrally IDs' productivity. With the use of hydro-agricultural indicators it is possible to implement improvement actions, where the value of irrigation water can be maximized for the benefit of producers.

Resumen

Introducción: Los distritos de riego (DR) son proyectos de irrigación que requieren ser evaluados periódicamente para determinar su desempeño.

Objetivos: Analizar el comportamiento productivo de varios DR localizados en la cuenca transfronteriza del Río Bravo, México.

Metodología: Se compiló, organizó y analizó información agrícola e hidrométrica de 11 DR de la cuenca del Río Bravo para determinar su desempeño productivo a partir de siete indicadores.

Resultados: El valor de la producción con respecto al volumen de agua extraída de la fuente de abastecimiento varió de 1.1 a 9 $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$, mientras que la productividad del agua extraída de la fuente de abastecimiento varió de 0.6 a 5.7 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ y la producción por unidad de agua entregada a usuarios fue de 0.81 a 9.27 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Limitaciones del estudio: Los indicadores de desempeño reflejan la productividad de la zona de riego de acuerdo con el manejo del cultivo, servicio de riego, paquete tecnológico, padrón de cultivos, infraestructura, entre otros factores.

Originalidad: Con base en la información disponible, se analizó el desempeño de los DR localizados en la zona de alta presión hídrica de la cuenca del Río Bravo.

Conclusiones: Para poder caracterizar la productividad de los DR en forma integral, se requieren varios indicadores de desempeño. Con el uso de indicadores hidroagrícolas es posible plantear acciones de mejora, en donde se pueda maximizar el valor del agua de riego en beneficio de los productores.

Keywords: productivity indices, conduction efficiencies, evaluation of irrigation areas.

Palabras clave: indicadores productivos, eficiencias de conducción, evaluación de zonas de riego.



Introduction

In Mexico, irrigation districts (IDs), consisting of a delimited irrigation area, are irrigation projects established by the Federal Government through presidential decrees, since 1926, the year in which the Comisión Nacional de Irrigación was founded.

IDs were created to promote national agricultural production and to ensure commercial production in times of limited or scarce rainfall. IDs have been managed, operated and maintained by the Federal Government since creation. At the beginning of 1992, the centralized federal administration, through the *Comisión Nacional del Agua* (CONAGUA), transferred the administration of minor distribution network and the users irrigation service through Water Users Associations (ACUs), and issued the water concession rights, as well as the use of hydraulic infrastructure works. Currently, the organization of an ID is mixed, because it involves the CONAGUA, the ACUs and a Federation of ACUs known as Limited Responsibility Society (S. de R. L.). The ACUs are responsible for the operation, conservation, and management of the infrastructure under concession to provide the irrigation service to the users. The water delivery responsibility from the source to the farm intake are as follow: from the CONAGUA to the S. de R. L., from the S. de R. L. to the ACUs and from the ACUs to the users (Palacios-Vélez, 2000).

Irrigated agriculture requires various techniques for the farm irrigation application once water service is delivered to the ID users. This type of agriculture demands large capital investments and frequent maintenance of hydraulic infrastructure: dams, canals, and conduction, distribution and protection structures (CONAGUA, 1994).

The analysis of performance indicators for irrigation areas requires statistical tools. Infante-Gil and Zárate-de Lara (2012) show elements of descriptive statistics and statistical inference that can be used to generate and analyze performance indicators. The productivity of an irrigated area may indirectly indicate the capacity of the irrigation infrastructure to generate the planned products and the level at which the available resources or inputs are used. The better the productivity, the higher the profitability of the ID. In this way, optimal resource management seeks to ensure that every organization manages to improve productivity with the available infrastructure and resources.

The analysis of performance indicators through benchmarking applied to irrigation areas has been documented by Burt and Styles (2004) and Malano,

Introducción

En México, los distritos de riego (DR), conformados por una superficie de riego delimitada, son proyectos de irrigación establecidos por el Gobierno Federal mediante decretos presidenciales desde 1926, año en que se fundó la Comisión Nacional de Irrigación.

Los DR se crearon para promover la producción agrícola nacional y para asegurar la producción comercial en épocas con limitada o escasa lluvia. Los DR fueron administrados, operados y conservados por el Gobierno Federal desde su creación. A inicios de 1992, el Ejecutivo Federal, por conducto de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), transfirió la red de distribución menor a los usuarios a través de Asociaciones Civiles de Usuarios (ACUs), y emitió los títulos de concesión de agua, así como el uso de las obras de infraestructura hidráulica. Actualmente, la organización de un DR es mixta, ya que interviene la CONAGUA, las ACUs y una organización de ACUs conocida como Sociedad de Responsabilidad Limitada (S. de R. L.). Las ACUs se hacen cargo de la operación, conservación y administración de la infraestructura concesionada para proporcionar el servicio de riego a los usuarios. Los niveles de entrega del agua de la fuente a la toma granja parcelaria son: de la CONAGUA a la S. de R. L., de la S. de R. L. a las ACUs y de las ACUs a los usuarios (Palacios-Vélez, 2000).

La agricultura de riego requiere diversas técnicas de aplicación del riego parcelario una vez que se entrega el servicio de agua a los usuarios del DR. Este tipo de agricultura demanda grandes inversiones de capital y un mantenimiento frecuente de la infraestructura hidráulica: presas, canales, y estructuras de conducción, distribución y protección (CONAGUA, 1994).

El análisis de indicadores de desempeño de las zonas de riego requiere herramientas estadísticas. Infante-Gil y Zárate-de Lara (2012) presentan elementos de la estadística descriptiva y la inferencia estadística que se pueden utilizar para generar y analizar los indicadores de desempeño. La productividad de una zona de riego puede indicar, en forma indirecta, la capacidad de la infraestructura de riego para generar los productos planeados y el nivel en el cual se aprovechan los recursos o insumos disponibles. La mejor productividad supone una mayor rentabilidad del DR. De esta manera, la gestión óptima de recursos busca que toda organización logre mejorar su productividad con la infraestructura y recursos disponibles.

El análisis de indicadores de desempeño a través de la evaluación comparativa aplicada a zonas de riego ha sido documentado por Burt y Styles (2004)

Burton, and Makin (2004). This technique has been used to compare the water management performance of ACUs in various countries around the world (Alexander & Potter, 2004; Cakmak, Beyribey, Yildirim, & Kodal, 2004; Ruiz-Carmona, Ojeda-Bustamante, & Contijoch, 2006). Altamirano-Aguilar et al. (2017) classified and evaluated Mexico's IDs based on performance indicators, for which they grouped IDs into clusters by climate group. In this study they classified the IDs located in the Río Bravo basin, which are contemplated in the dry group in the "Water Treaty" of 1944 between Mexico and the United States of America (Mexico-USA). In the case of Bajo Río Bravo ID 025 and Bajo Río San Juan ID 026, which are located in the Bajo Bravo sub-region, Altamirano-Aguilar et al. (2017) mentioned that they belong to another climate group and, in general, the irrigation performance of all the conglomerates was reported as low.

Olmedo-Vázquez, Camacho-Poyato, Rodríguez-Díaz, Minjares-Lugo, and Hernández-Hernández (2017) analyzed irrigation water use management in ACUs of ID 041, Río Yaqui, Mexico, based on eleven yield indicators and eight productivity efficiency indicators. These authors reported that most of the ACUs were inefficient (66 %) in the four agricultural years analyzed, from 2010 to 2014.

According to the dictionary of the Royal Spanish Academy (RAE in Spanish), productivity is a concept that describes the capacity or level of production per unit of input. In economics, productivity is understood as the link between what has been produced and the means used to achieve it (labor, materials, energy, among others), and is usually associated with efficiency and time: the less time invested in achieving the expected result, the greater the production character or performance of the system (Blanchard, 2017).

Since water is a scarce resource, water use efficiency is a concept of productivity at the biological level to describe the amount of biomass accumulated (yield) as a function of the volume of water supplied (Bos, Burton, & Molden, 2005). If this term is applied to irrigated agriculture, it can be expressed in terms of yield ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) or in economic terms regarding the unit of volume of water applied ($\text{\$}\cdot\text{m}^{-3}$).

The overall conduction efficiency of an ID ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$) is given by the total volume of water delivered (m^3) to users at farm intake level among the total volume of water withdrawn (m^3) from supply sources (surface + groundwater). Intrinsically included in this relationship of volumes is the method of water distribution, infrastructure and regulation systems (Íñiguez-Covarrubias, de León-Mojarro, Prado-Hernández, & Rendón-Pimentel, 2007). On the other

y Malano, Burton, y Makin (2004). Esta técnica se ha usado para comparar el desempeño de la gestión del agua de ACUs de varios países del mundo (Alexander & Potter, 2004; Cakmak, Beyribey, Yildirim, & Kodal, 2004; Ruiz-Carmona, Ojeda-Bustamante, & Contijoch, 2006). Altamirano-Aguilar et al. (2017) clasificaron y evaluaron los DR de México con base en indicadores de desempeño, para ello agruparon a los DR en conglomerados por grupo climático. En dicho estudio catalogaron a los DR ubicados en la cuenca del Río Bravo, los cuales están contemplados en el grupo seco en el "Tratado de Aguas" de 1944 entre México y Estados Unidos de América (México-EUA). En el caso de Bajo Río Bravo DR 025 y Bajo Río San Juan DR 026, que se ubican en la subregión Bajo Bravo, Altamirano-Aguilar et al. (2017) mencionan que pertenecen a otro grupo climático y, en general, el desempeño del riego de todos los conglomerados fue reportado como bajo.

Olmedo-Vázquez, Camacho-Poyato, Rodríguez-Díaz, Minjares-Lugo, y Hernández-Hernández (2017) analizaron la gestión del uso de agua de riego en ACUs del DR 041, Río Yaqui, México, a partir de once indicadores de rendimiento y ocho indicadores de eficiencia en productividad. Estos autores reportaron que la mayoría de las ACUs fueron ineficientes (66 %) en los cuatro años agrícolas analizados, de 2010 a 2014.

De acuerdo con el diccionario de la Real Academia Española (RAE), la productividad es un concepto que describe la capacidad o el nivel de producción por unidad de insumo. En economía, se entiende por productividad al vínculo que existe entre lo que se ha producido y los medios que se han empleado para conseguirlo (mano de obra, materiales, energía, entre otros), y suele estar asociada a la eficiencia y al tiempo: cuanto menos tiempo se invierta en lograr el resultado esperado, mayor será el carácter o desempeño productivo del sistema (Blanchard, 2017).

Dado que el agua es un recurso escaso, la eficiencia del uso del agua es un concepto de productividad a nivel biológico para describir la cantidad de biomasa acumulada (rendimiento) en función del volumen de agua suministrada (Bos, Burton, & Molden, 2005). Si se aplica dicho término a la agricultura de riego, se puede expresar en términos de rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) o en términos económicos considerando la unidad de volumen de agua aplicada ($\text{\$}\cdot\text{m}^{-3}$).

La eficiencia global de conducción de un DR ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$) está dada por el volumen total de agua entregada (m^3) a los usuarios a nivel toma granja entre el volumen total de agua extraída (m^3) de las fuentes de abastecimiento (superficial + subterránea). En esta relación de volúmenes están incluidos, intrínsecamente, el método de distribución de agua, la infraestructura

hand, the total volume of water extracted from the source of supply by irrigated area ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) integrates the crop water needs, farm efficiency and global conduction efficiency, being an important parameter in the water resources management of an ID.

The *Secretaría de Recursos Hidráulicos* (SRH, 1973), in the recommendations of the “Project Manual of Irrigation Areas”, defined the global efficiency of an ID (η_{dist}) as the product of conduction efficiency (η_{cond}) and farm efficiency (η_{parc}), for which a conduction efficiency is determined according to the type of canal lining: soil ($\eta_{\text{cond}} = 0.7$), masonry ($\eta_{\text{cond}} = 0.75$) or concrete ($\eta_{\text{cond}} = 0.85$). On the other hand, the term productivity is related to yield, since it requires good management of resources in order to achieve results that make the work carried out within the association efficient, both in the provision of the service and in the methods used and the internal relationship of the organization.

The concepts and variables associated with the main indicators for evaluating the management, planning, operation and conservation behavior of large irrigation areas are found in the study of Bos et al. (2005) By conducting an analysis of production indicators, it is possible to lay the groundwork for subsequent studies, this in order to update the indicators so that they can quantify changes in the performance of IDs in response to policies, programs, climate patterns or management of an irrigation area. In this sense, the objective of this study is to quantify and analyze the behavior of productive performance indicators of 11 IDs located in the Río Bravo basin, México.

Materials and methods

Figure 1 shows the study region, which is the production area of the IDs located in the transboundary Río Bravo basin, Mexico, bordering the USA.

Table 1 shows the general data of the IDs studied. This information was extracted from the agricultural and hydrometric statistics compiled and published annually by CONAGUA (2017a). The supply main source is surface water; only IDs 005 and 009 report extractions from groundwater sources.

The estimation of IDs performance was obtained using the seven indicators shown in Table 2. Those performance indicators reported by Bos et al. (2005) that can be estimated with data available from official sources were chosen to evaluate IDs.

The rural average price (RAP) refers to the price paid to the producer for the first-hand sale of his farm, land or production area, and does not include the economic incentive granted by the federal and state government,

y los sistemas de regulación (Íñiguez-Covarrubias, de León-Mojarro, Prado-Hernández, & Rendón-Pimentel, 2007). Por otro lado, el volumen total de agua extraída de la fuente de abastecimiento por área regada ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) integra las necesidades hídricas del cultivo, la eficiencia parcelaria y la eficiencia global de conducción, siendo un parámetro importante en la gestión de los recursos hídricos de un DR.

La Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH, 1973), en las recomendaciones del “Manual de Proyectos de Zonas de Riego”, definió la eficiencia de un DR (η_{dist}) como el producto de la eficiencia de conducción (η_{cond}) y la eficiencia parcelaria (η_{parc}), para lo cual se determina una eficiencia de conducción según el tipo de revestimiento del canal: tierra ($\eta_{\text{cond}} = 0.7$), mampostería ($\eta_{\text{cond}} = 0.75$) o concreto ($\eta_{\text{cond}} = 0.85$). Por otro lado, el término productividad está relacionado con el rendimiento, ya que exige un buen manejo de los recursos a fin de conseguir resultados que vuelvan eficientes las labores desarrolladas dentro de la asociación, tanto en la prestación del servicio como en los métodos utilizados y la relación interna de la organización.

Los conceptos y las variables asociadas con los principales indicadores para evaluar el comportamiento de la administración, planeación, operación y conservación de grandes zonas de riego se encuentran en el trabajo de Bos et al. (2005). Al realizar un análisis de indicadores de productividad, es posible sentar las bases de estudios posteriores, esto con el fin de actualizar los indicadores para que permitan cuantificar los cambios en el desempeño de los DR en respuesta a políticas, programas, patrones climáticos o gestión de una zona de riego. En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue cuantificar y analizar el comportamiento de indicadores de desempeño productivo de 11 DR localizados en la cuenca del Río Bravo, México.

Materiales y métodos

En la Figura 1 se muestra la región de estudio, la cual es el área de producción de los DR localizados en la cuenca transfronteriza del Río Bravo, México, colindante con EUA.

El Cuadro 1 presenta los datos generales de los DR estudiados. Esta información se extrajo de las estadísticas agrícolas e hidrométricas que publica anualmente la CONAGUA (2017a). La principal fuente de abastecimiento son las aguas superficiales; únicamente los DR 005 y 009 reportan extracciones de fuentes subterráneas.

La estimación del desempeño de los DR se realizó usando los siete indicadores que se muestran en el

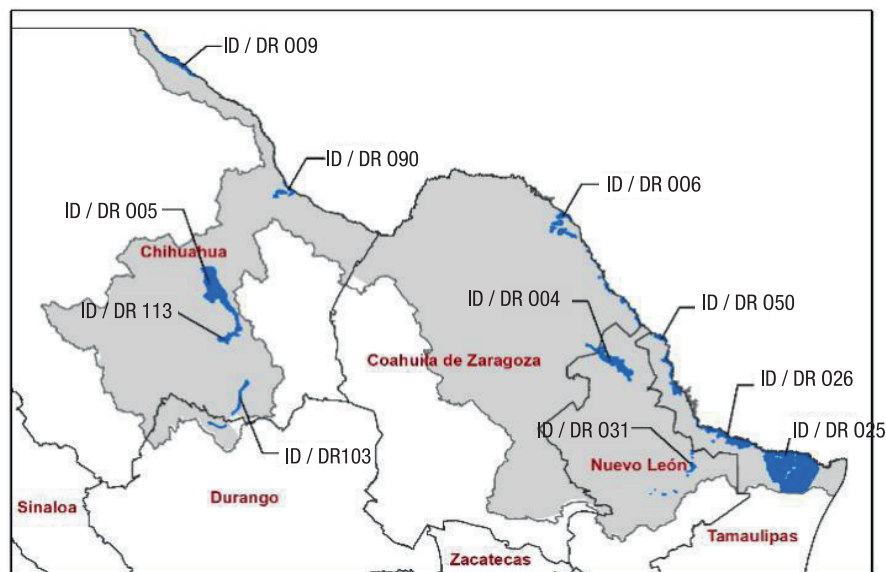


Figure 1. Location of the irrigation districts (IDs) in the Río Bravo basin, to the north of Mexico.
Figura 1. Localización de los distritos de riego (DR) en la cuenca del Río Bravo, al norte de México.

Table 1. General data of the agricultural year 2015-2016 of 11 irrigation districts in the Río Bravo basin, Mexico.

Cuadro 1. Datos generales del año agrícola 2015-2016 de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo, México.

Code /Clave	Name /Nombre	S_f	S_r	V_{bs}	V_{bss}	V_b
004	Don Martín, Coahuila-Nuevo León	18250	4580	97960	0	97960
005	Delicias, Chihuahua	73002	61443	839795	4506	844301
006	Palestina, Coahuila	12918	2579	28840	0	28840
009	Valle de Juárez, Chihuahua	20863	9266	126837	6691	133528
025	Bajo Río Bravo, Tamaulipas	201291	145064	511139	0	511139
026	Bajo Río San Juan, Tamaulipas	75930	67065	323983	0	323983
031	Las Lajas, Nuevo León	4046	1611	7477	0	7477
050	Acuña-Falcón, Tamaulipas	14036	2149	8094	0	8094
090	Bajo Río Conchos, Chihuahua	8095	3988	64451	0	64451
103	Río Florido, Chihuahua	8225	4670	69880	0	69880
113	Alto Río Conchos, Chihuahua	11943	4253	77390	0	77390

S_f = physical irrigable area (ha); S_r = irrigated area (ha); V_{bs} = gross distributed volume of surface water (hm^3); V_{bss} = gross distributed volume of groundwater (hm^3); V_b = sum of the gross distributed volumes (hm^3) at the supply source level ($V_b = V_{bs} + V_{bss}$).

S_f = superficie física regable (ha); S_r = superficie regada (ha); V_{bs} = volumen bruto distribuido de agua superficial (hm^3); V_{bss} = volumen distribuido de agua subterránea (hm^3); V_b = suma de los volúmenes brutos distribuidos (hm^3) a nivel de fuente de abastecimiento ($V_b = V_{bs} + V_{bss}$).

Table 2. Estimated production performance indicators for the irrigation districts (IDs) studied.
Cuadro 2. Indicadores de desempeño productivo estimados para los distritos de riego (DR) evaluados.

Indicators / Indicador	Formulation / Formulación
(1) Rural average price (\$·t ⁻¹) / (1) Precio medio rural (\$·t ⁻¹)	RAP = VP/Prod / PMR = VP/Prod
(2) Economic productivity of land (\$·ha ⁻¹) / (2) Productividad económica de la tierra (\$·ha ⁻¹)	EPL = VP/S _r / PET = VP/S _r
(3) Yield (t·ha ⁻¹) / (3) Rendimiento (t·ha ⁻¹)	Yield = Prod/S _r / Rend = Prod/S _r
(4) Economic productivity of water delivered at supply source level (\$·m ⁻³) / (4) Productividad económica del agua a nivel fuente de abastecimiento (\$·m ⁻³)	EPW _f = VP/V _b / PEA _f = VP/V _b
(5) Water productivity at supply source (kg·m ⁻³) / (5) Productividad del agua a nivel fuente de abastecimiento (kg·m ⁻³)	WP _f = Prod/V _b / PA _f = Prod/V _b
(6) Economic productivity of water delivered at the user level (\$·m ⁻³) / (6) Productividad económica del agua a nivel usuario (\$·m ⁻³)	EPW _u = VP/V _n / PEA _u = VP/V _n
(7) Water productivity at user level (kg·m ⁻³) / (7) Productividad del agua a nivel usuario (kg·m ⁻³)	WP _u = Prod/V _n / PA _u = Prod/V _n

VP = economic value of total agricultural production of the IDs at current prices (\$); Prod = total production (t); S_r = irrigated area (ha); V_b = sum of gross volumes extracted at source level (m³); V_n = net volume of water delivered to users at farm intake level (m³).

VP = valor económico de la producción total agrícola del DR a precios corrientes (\$); Prod = producción total (t); S_r = superficie regada (ha); V_b = suma de los volúmenes brutos distribuidos a nivel de fuente de abastecimiento (m³); V_n = volumen neto de agua entregado a los usuarios a nivel toma granja (m³).

nor the costs of transportation and sorting when the farmer brings his product to the sales center. In other words, RAP is the current price at the time the producer makes the first sale at the plot or farm.

To estimate the indicators, agricultural and hydrometric data were obtained for 15 years (2001-2002 to 2015-2016), from the agricultural statistics of the IDs reported by the CONAGUA for V_b, S_r, V_n, VP and Prod, and the financial statements of the IDs from 2012 to 2014 were used (CONAGUA, 2017b). Geospatial information on soil degradation was accessed by superimposing ID and degradation maps. This was carried out with the help of the ArcGIS v10.3 program and the data available in the Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) of CONAGUA (2017c).

For the presentation of results, “Box-Plot”, also known as box-bigot diagrams were made, used to visualize the distribution of a set of data: minimum and maximum values, quartiles (Q1, Q2 or median and Q3), existence of outliers and symmetry of the distribution. To do this, it is necessary to find the median and then the two remaining quartiles. The characteristics of this type of graph are:

- The symbol * is the average of the data.

Cuadro 2. Para evaluar los DR se eligieron aquellos indicadores de desempeño reportados por Bos et al. (2005) que se pueden estimar con los datos disponibles en fuentes oficiales.

El precio medio rural (PMR) se refiere al precio pagado al productor por la venta de primera mano en su parcela, predio o zona de producción. Dicho precio no incluye los beneficios económicos que otorga el Gobierno Federal y Estatal, ni gastos de traslado y clasificación cuando el agricultor lleva su producto al centro de venta. En otras palabras, el PMR es el precio vigente al momento en que el productor realiza la primera venta a pie de parcela o granja.

Para calcular los indicadores, se obtuvieron registros agrícolas e hidrométricos de 15 años (2001-2002 a 2015-2016), de las estadísticas agrícolas de los DR reportadas por la CONAGUA para V_b, S_r, V_n, VP y Prod, y se utilizaron los estados financieros de los DR de 2012 a 2014 (CONAGUA, 2017b). Asimismo, se tuvo acceso a información geoespacial de degradación del suelo al superponer mapas de degradación y del DR. Lo anterior se realizó con ayuda del programa ArcGIS v10.3 y los datos que se encuentran disponibles en el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) de la CONAGUA (2017c).

- The horizontal line across the box is the median (Q2).
- The lower side of the rectangle represents the first quartile (Q1, median of the lower half of the data or 25 % of the data), and the upper side represents the third quartile (Q3, median of the upper half of the data or 75 % of the data). Therefore, the height of the box represents the interquartile range (the difference between Q3 and Q1).
- Vertical lines (whiskers or axes) protruding from the box extend to the minimum and maximum of the data set, as long as these values do not differ from the average by more than 1.5 times the interquartile range. The ends of the whiskers are marked by two short horizontal lines.
- The values, indicated by +, below and above the whiskers, lower and upper, are considered outliers.

Graphs showing the variation of the indicators in each ID studied were created. The districts were separated into two large groups, and in order to identify them in the graphs, a symbol was assigned to each ID according to Table 3.

Results and discussion

Performance indicators

The values of the first performance indicator (RAP; $\$/t^{-1}$) of the 11 IDs are shown in Table 4. Due to a crop pattern concentrated in forages, the ID 006 has the lowest average RAP.

Para la presentación de resultados, se realizaron gráficas tipo “Box-Plot”, también conocidas como diagramas de caja-bigotes, utilizadas para visualizar la distribución de un conjunto de datos: los valores mínimo y máximo, los cuartiles (Q1, Q2 o mediana y Q3), la existencia de valores atípicos y la simetría de la distribución. Para ello, es necesario encontrar la mediana y después los dos cuartiles restantes. Las características de dicho tipo de gráfico son:

- El símbolo * es la media de los datos.
- La línea horizontal a través de la caja es la mediana (Q2).
- El lado inferior del rectángulo representa el primer cuartil (Q1, la mediana de la mitad inferior de los datos o el 25 % de los datos), y el lado superior, el tercer cuartil (Q3, la mediana de la mitad superior de los datos o el 75 % de los datos). En consecuencia, la altura de la caja representa el rango intercuartil (la diferencia entre Q3 y Q1).
- Las líneas verticales (bigotes o ejes) que sobresalen de la caja se extienden hasta el mínimo y el máximo del conjunto de datos, siempre que estos valores no difieran de la media en más de 1.5 veces el rango intercuartil. Los extremos de los bigotes están marcados por dos líneas horizontales cortas.
- Los valores, indicados por +, por debajo y por encima de los bigotes, inferior y superior, se consideran valores atípicos.

Se generaron gráficas que muestran la variación de los indicadores en cada DR estudiado. Los distritos

Table 3. Symbology used for the irrigation districts (IDs) of the Río Bravo basin, Mexico.

Cuadro 3. Simbología de representación de los distritos de riego (DR) de la cuenca del Río Bravo, México.

Code/ Clave	ID Río Bravo/ DR Río Bravo	Symbol/ Simbología	Code/ Clave	ID conchos and others/ DR conchos y otros	Symbol/ Simbología
04	Don Martín, Coahuila, Nuevo León	★	05	Delicias, Chihuahua	★
06	Palestina, Coahuila	■	31	Las Lajas, Nuevo León	●
09	Valle de Juárez, Chihuahua	●	90	Bajo Río Conchos, Chihuahua	◆
25	Bajo Río Bravo, Tamaulipas	*	103	Río Florido, Chihuahua	■
26	Bajo Río San Juan, Tamaulipas	▲	113	Alto Río Conchos, Chihuahua	▲
50	Acuña-Falcón, Tamaulipas	◆		Nacional	—

Table 4. Rural average price (\$·t⁻¹), nationwide and for 11 irrigation districts in the Río Bravo basin, Mexico.
Cuadro 4. Precio medio rural (\$·t⁻¹) a nivel nacional y de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo, México.

Year/ Año	Irrigation district/Distrito de riego											Nationwide/ Nacional
	004	005	006	009	025	026	031	050	090	103	113	
2002		1776	353	891		1096	992		1151	968		1184
2003		1802	327	1130	1298	1336	892	654	1372	855		1159
2004	2533	2891	399	1193	1570	880	1173	418	1258	1508		1283
2005	930	2387	393	1363	1236	1592	1053	1743	1511	916		1281
2006					1486	1795	979	1402	1539	760		1314
2007	768	1426	347	1277	1833	2152	1234	1004	1420	1129		1590
2008	1814	1929	363	1486	2580	2836	1372	1093	1411	1453		1798
2009	1475	1421	598	1483	2228	2176	1515	1309	2083	1337		1882
2010	1698	1717	561	1857	2129	2269	1394	1604	1949	2604		1985
2011	1998	1687	676	2548	3196	3537	2507	1757	2351	2104		2290
2012	1955	1475	565	1290	3397	4321	2189	1869	566	940		2394
2013	1994	1888	624	1235	3436	3561	3011	1836	697	616		2277
2014	1781	1464	670	1632	2923	3604	2601	2047	806	706	4065	2315
2015	2547	2276	677	1481	3388	3301		2352	921	958	9355	2566
2016	2519	1960	647	1578	3129	3332	2660	2533	1147	1014	12017	2818

Figure 2 shows the RAP per crop year for each ID, and the national average value is reported as a reference. A problem when valuing agricultural production at current prices is the effects on the fluctuations in the RAP of production volumes, so it is recommended to carry out an analysis at constant prices to remove these effects and homogenize the values of each year with respect to the base year (Kennedy, 2016).

Table 5 shows the results of the descriptive statistics and the results associated with the RAP of the IDs studied. The statistics obtained are the basis of Figure 3. This graph shows high variability in the average of the RAP, and a greater variability in the IDs 025, 026 and 031, due to their crop pattern.

The second production indicator studied was the economic productivity of land (EPL; thousands of \$·ha⁻¹). Table 6 shows the EPL results for the 11 IDs analyzed and the nationwide value. Gaps can be observed because data from some IDs were not available.

Figure 4 shows the EPL per agricultural year of the ID in the Río Bravo basin and the nationwide value reported in Table 7.

se separaron en dos grandes grupos, y para poder identificarlos en las gráficas se asignó un símbolo a cada DR de acuerdo con el Cuadro 3.

Resultados y discusión

Indicadores de desempeño

Los valores del primer indicador de desempeño (PMR; \$·t⁻¹) de los 11 DR se presentan en el Cuadro 4. Por el patrón de cultivo concentrado en forrajes, el DR 006 es el que presenta el PMR promedio más bajo.

En la Figura 2 se presenta el PMR por año agrícola para cada DR, y como referencia se reporta el valor promedio nacional. Un problema al valorizar la producción agrícola a precios corrientes son los efectos en las fluctuaciones en el PMR de los volúmenes de producción, por lo que se recomienda realizar un análisis a precios constantes para quitar dichos efectos y homogenizar los valores de cada año con respecto al año base (Kennedy, 2016).

En el Cuadro 5 se muestran los resultados de las medidas estadísticas descriptivas y los resultados asociados al PMR de los DR analizados. Las medidas

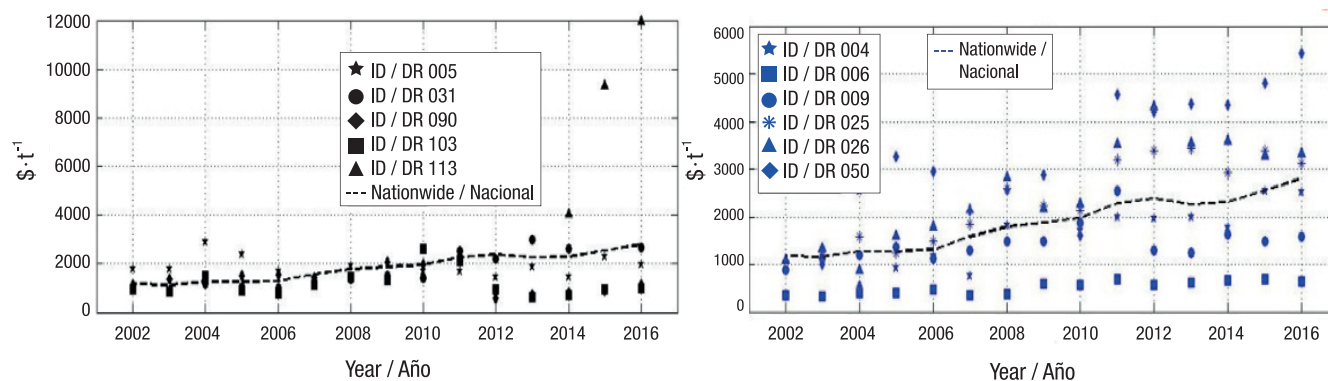


Figure 2. Rural average price per year of 11 irrigation districts (IDs) in the Río Bravo basin and nationwide, Mexico.
Figura 2. Precio medio rural por año de 11 distritos de riego (DR) de la cuenca del Río Bravo y nacional, México.

Table 5. Descriptive statistics of the rural average price ($\$ \cdot t^{-1}$) of 11 irrigation districts in the Río Bravo basin, Mexico.
Cuadro 5. Medidas descriptivas del precio medio rural ($\$ \cdot t^{-1}$) de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo, México.

Statistics / Medida	Irrigation district / Distrito de riego										
	004	005	006	009	025	026	031	050	090	103	113
Average / Media	1834	1864	514	1460	2 416	2 519	1684	1544	1345	1191	8 479
Median / Mediana	1885	1789	563	1422	2 404	2 269	1383	1674	1372	968	9 355
Standard Deviation / Desviación estándar	575	418	141	393	833	1060	742	607	506	545	4 048
Minimum / Mínimo	768	1421	327	891	1236	880	892	418	566	616	4 065
Maximum / Máximo	2 547	2 892	677	2 548	3 436	4 321	3 011	2 533	2 351	2 604	12 017
Quartile 25 % / Cuartil 25 %	1531	1472	360	1224	1549	1592	1038	1071	921	855	4 065
Quartile 75 % / Cuartil 75 %	2 389	2 039	652	1592	3 244	3 537	2 531	1914	1539	1453	12 017
Lower whisker / Bigote inferior	768	1421	327	891	1236	880	892	418	566	616	4 065
Upper whisker / Bigote superior	2 547	2 892	677	2 548	3 436	4 321	3 011	2 533	2 351	2 604	12 017

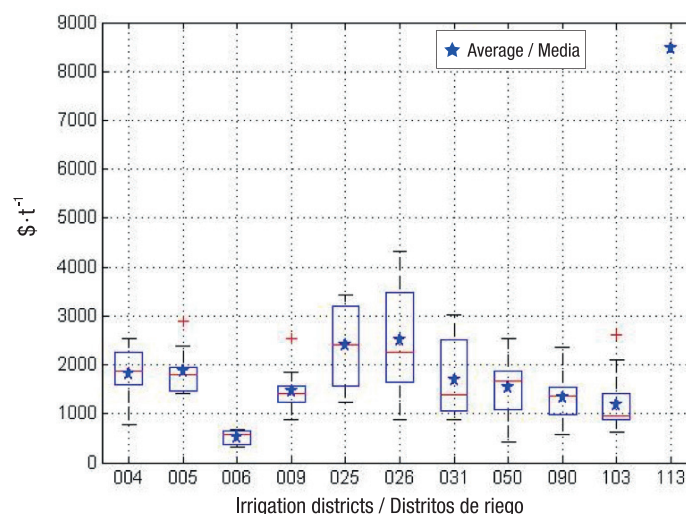


Figure 3. Graphical representation of descriptive statistics of the rural average price of 11 irrigation districts in the Río Bravo basin, Mexico.
Figura 3. Representación gráfica de las medidas estadísticas descriptivas del precio medio rural de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo, México.

Table 6. Economic land productivity value (thousands of \$·ha⁻¹) of 11 irrigation districts in the Río Bravo basin and nationwide, Mexico.

Cuadro 6. Valor de la productividad económica de la tierra (miles de \$·ha⁻¹) de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo y nacional, México.

Year/ Año	Irrigation district / Distrito de riego											Nationwide/ Nacional
	004	005	006	009	025	026	031	050	090	103	113	
2002		21.85	8.14	14.47		4.52	6.04		13.17	13.71		18.05
2003		23.27	8.15	15.10	5.63	5.33	7.61	4.97	17.08	10.86		17.83
2004	36.18	35.62	9.12	15.65	9.55	8.24	4.18	7.63	15.32	15.19		22.19
2005	3.58	30.00	9.50	17.56	5.75	9.29	5.43	29.35	19.05	16.25		19.86
2006					6.97	9.70	5.03	15.60	21.01	15.43		20.80
2007	6.40	30.89	6.77	16.96	8.68	12.52	3.92	14.55	18.51	17.57		25.51
2008	8.73	38.53	5.95	19.42	11.68	14.23	8.83	27.48	13.45	24.76		28.89
2009	13.80	30.12	10.72	22.21	10.11	11.81	5.95	32.78	21.50	19.12		28.60
2010	17.89	35.72	10.64	28.96	11.23	11.32	6.78	51.24	24.53	21.76		30.71
2011	18.91	34.24	15.36	25.50	13.84	15.09	9.75	40.76	29.36	45.90		34.52
2012	17.86	39.76	12.14	25.57	17.97	25.76	11.95	52.21	27.12	40.79		42.36
2013	20.37	46.80	11.60	24.83	16.17	20.38	14.57	47.86	32.44	25.31		39.49
2014	16.26	40.50	13.38	32.32	15.50	23.24	11.12	51.45	34.26	22.33	61.68	37.97
2015	28.67	66.26	13.85	37.62	20.04	22.79		77.50	45.48	32.24	93.51	45.28
2016	34.66	81.13	13.95	38.27	18.61	22.74	10.35	83.96	54.91	34.61	110.53	51.48

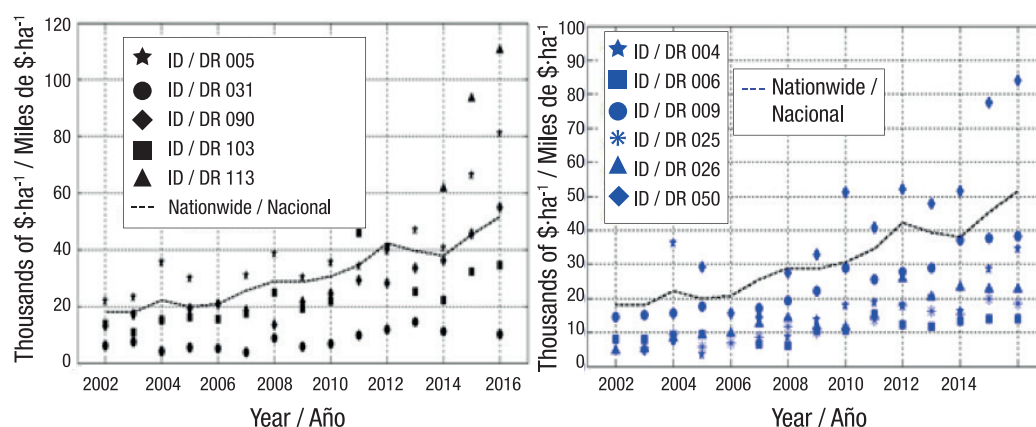


Figure 4. Economic land productivity of 11 irrigation districts (IDs) in the Río Bravo basin and the nationwide value, Mexico.

Figura 4. Productividad económica de la tierra de 11 distritos de riego (DR) de la cuenca del Río Bravo y nacional, México.

Table 7 shows the results of the descriptive statistics of the EPL of ID in the Río Bravo basin. These statistics are the basis of Figure 5, where the ID 050 had the greatest dispersion.

The third production indicator analyzed was yield ($t\cdot ha^{-1}$). Table 8 shows the values of this indicator for the 11 IDs and the nationwide value. It is worth mentioning that the agricultural year from 2005-2006

obtenidas son la base de la Figura 3. En dicha gráfica se observa alta variabilidad en la media del PMR, así como una mayor variabilidad en los DR 025, 026 y 031, esto debido a su padrón de cultivo.

El segundo indicador productivo estudiado fue la productividad económica de la tierra (PET; miles de $\$ \cdot ha^{-1}$). En el Cuadro 6 se muestran los resultados de la PET para los 11 DR distritos analizados y el valor nacional.

Table 7. Descriptive statistics of land economic productivity (thousands of $\$ \cdot ha^{-1}$) of 11 irrigation districts in the Río Bravo basin, Mexico.

Cuadro 7. Medidas descriptivas de la productividad económica de la tierra (miles de $\$ \cdot ha^{-1}$) de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo, México.

Statistics / Medida	Irrigation district / Distrito de riego										
	004	005	006	009	025	026	031	050	090	103	113
Average / Media	18.61	39.62	10.66	23.89	12.27	14.47	7.97	38.38	25.81	23.72	88.57
Median / Mediana	17.87	35.67	10.68	23.52	11.46	12.52	7.19	36.77	21.50	21.76	93.51
Standard deviation / Desviación estándar	10.33	16.15	2.87	8.05	4.82	6.91	3.21	24.20	11.97	10.37	24.80
Minimum / Mínimo	3.58	21.85	5.95	14.47	5.63	4.52	3.92	4.97	13.17	10.86	61.68
Maximum / Máximo	36.18	81.13	15.36	38.27	20.04	25.76	14.57	83.96	54.91	45.90	110.53
Quartile 25 % / Cuartil 25 %	9.99	30.09	8.15	16.63	8.25	9.29	5.33	15.34	17.08	15.43	61.68
Quartile 75 % / Cuartil 75 %	26.59	42.08	13.50	29.80	16.62	22.74	10.54	51.64	32.44	32.24	110.53
Lower whisker / Bigote inferior	3.58	21.85	5.95	14.47	5.63	4.52	3.92	4.97	13.17	10.86	61.68
Upper whisker / Bigote superior	36.18	72.42	15.36	38.27	20.04	25.76	14.57	83.96	54.91	45.90	110.53

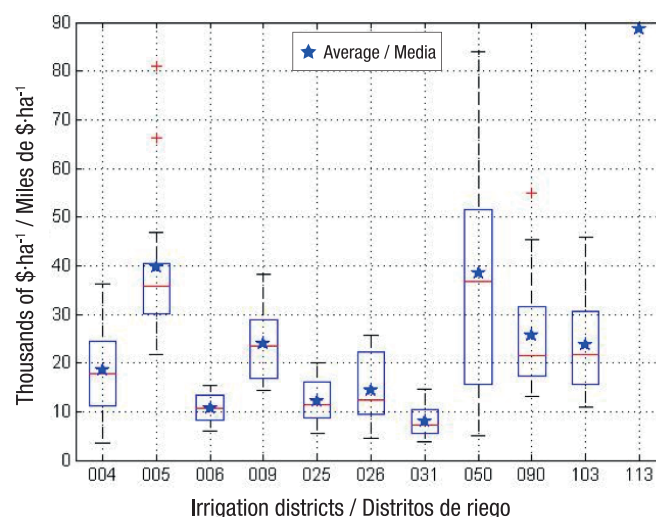


Figure 5. Graphical representation of descriptive statistics of the economic productivity of land in 11 irrigation districts in the Río Bravo basin, Mexico.

Figura 5. Representación gráfica de las medidas estadísticas descriptivas de la productividad económica de la tierra de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo, México.

was very dry for several studied; therefore, IDs 004, 005, 006 and 009 did not establish irrigated area (Table 6).

Figure 6 represents the yield per agricultural year of the ID in the Río Bravo basin and the nationwide value reported in Table 8.

Table 9 shows the results of the descriptive statistical measurements of the yield of the ID in the Río Bravo basin. These measurements are the basis of Figure 7.

Los datos de algunos DR no fueron encontrados, por lo que se pueden observar espacios vacíos.

En la Figura 4 se muestra la PET por año agrícola de los DR de la cuenca Río Bravo y nacional reportada en el Cuadro 7.

En el Cuadro 7 se muestran los resultados de las medidas estadísticas descriptivas de la PET de los DR de la cuenca del Río Bravo. Estas medidas son la base

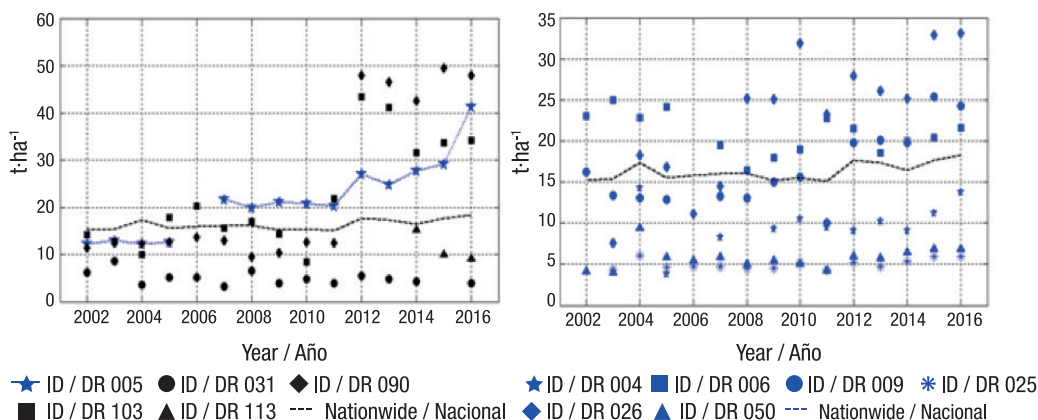


Figure 6. Yield of 11 irrigation districts (IDs) in the Río Bravo basin and nationwide, Mexico.

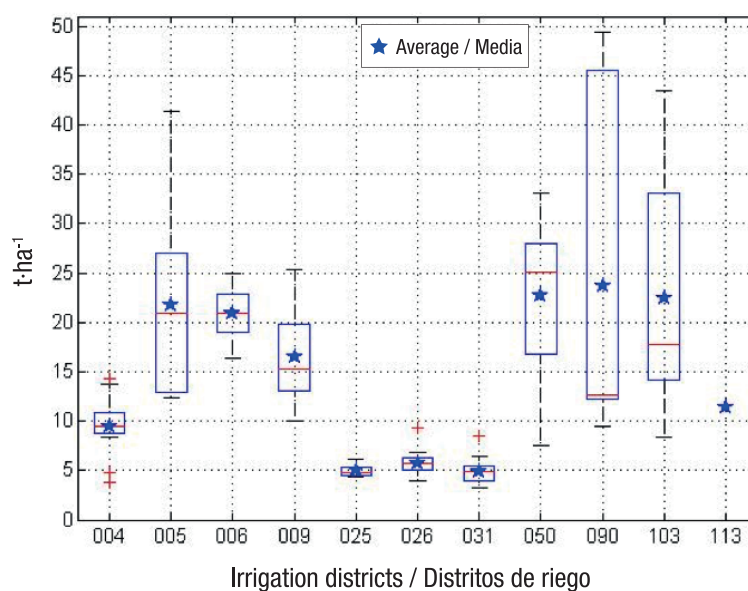
Figura 6. Rendimiento de 11 distritos de riego (DR) de la cuenca del Río Bravo y nacional, México.

Table 8. Yield (t·ha⁻¹) obtained for 11 irrigation districts in the Río Bravo basin and the nationwide value, Mexico. Cuadro 8. Rendimiento (t·ha⁻¹) obtenido para 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo y nacional, México.

Year/ Año	Irrigation district/Distrito de riego											Nationwide/ Nacional
	004	005	006	009	025	026	031	050	090	103	113	
2002		12.30	23.05	16.24		4.13	6.09		11.44	14.17		15.24
2003		12.91	24.95	13.36	4.34	3.99	8.53	7.60	12.45	12.70		15.38
2004	14.29	12.32	22.84	13.12	6.09	9.36	3.57	18.28	12.18	10.08		17.30
2005	3.85	12.57	24.18	12.89	4.65	5.84	5.16	16.83	12.61	17.75		15.50
2006					4.69	5.40	5.14	11.12	13.65	20.31		15.83
2007	8.33	21.66	19.52	13.27	4.74	5.82	3.18	14.49	13.04	15.56		16.04
2008	4.81	19.98	16.40	13.06	4.53	5.02	6.44	25.15	9.53	17.04		16.06
2009	9.36	21.20	17.93	14.98	4.54	5.43	3.93	25.04	10.32	14.31		15.20
2010	10.53	20.80	18.98	15.60	5.28	4.99	4.86	31.95	12.58	8.36		15.47
2011	9.47	20.29	22.71	10.01	4.33	4.27	3.89	23.20	12.49	21.81		15.07
2012	9.13	26.97	21.48	19.83	5.29	5.96	5.46	27.93	47.92	43.41		17.70
2013	10.21	24.79	18.60	20.11	4.70	5.72	4.84	26.07	46.53	41.10		17.34
2014	9.13	27.66	19.96	19.81	5.30	6.45	4.28	25.14	42.51	31.65	15.17	16.40
2015	11.25	29.12	20.44	25.39	5.91	6.90		32.95	49.40	33.64	10.00	17.65
2016	13.76	41.39	21.58	24.25	5.95	6.83	3.89	33.15	47.88	34.13	9.20	18.27

Table 9. Descriptive yield measurements ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) of 11 irrigation districts in the Río Bravo basin, Mexico.
Cuadro 9. Medidas descriptivas del rendimiento ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo, México.

Statistics / Medida	Irrigation district / Distrito de riego										
	004	005	006	009	025	026	031	050	090	103	113
Average / Media	9.51	21.71	20.90	16.57	5.02	5.74	4.95	22.78	23.64	22.40	11.46
Median / Mediana	9.41	21.00	20.96	15.29	4.72	5.72	4.85	25.09	12.61	17.75	10.00
Standard deviation / Desviación estándar	3.03	8.13	2.49	4.61	0.61	1.35	1.40	8.04	17.08	11.40	3.24
Minimum / Mínimo	3.84	12.30	16.40	10.01	4.33	3.99	3.18	7.60	9.53	8.36	9.20
Maximum / Máximo	14.29	41.39	24.95	25.39	6.09	9.36	8.53	33.15	49.40	43.41	15.17
Quartile 25 % / Cuartil 25 %	8.53	12.83	18.88	13.10	4.54	4.99	3.89	16.25	12.18	14.17	9.20
Quartile 75 % / Cuartil 75 %	11.07	27.14	22.89	19.90	5.46	6.45	5.62	28.93	46.53	33.64	15.17
Lower whisker / Bigote inferior	4.72	12.30	16.40	10.01	4.33	3.99	3.18	7.60	9.53	8.36	9.20
Upper whisker / Bigote superior	14.29	41.39	24.95	25.39	6.09	9.36	8.53	33.15	49.40	43.41	15.17


Figure 7. Graphical representation of descriptive statistical yield measurements of 11 irrigation districts in the Río Bravo basin, Mexico.
Figura 7. Representación gráfica de las medidas estadísticas descriptivas del rendimiento de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo, México.

The values obtained from the yield were very variable in IDs 005, 050, 090 and 103, this due to the mixture of forage crops and grains. This indicates that the interdistrict comparison of yield, as a single value for each agricultural year (Tables 8 and 9), is complicated by the fact that there is inter- and interdistrict variation in crop patterns and seasons, because it generates an overestimation of the production of perennial forage and horticultural crops over grains. This is due to the fact that different production organs, which have different humidity, are compared in relation to the yield, that is, green matter against dry matter.

The fourth production indicator studied is the economic productivity of water at source (EPW_f ; $\$/m^3$). Table 10 shows the results of this indicator for the 11 IDs and nationwide.

Figure 8 shows the EPW_f per agricultural year of the ID in the Río Bravo basin and nationwide reported in Table 10.

de la Figura 5, en donde el DR 050 presentó la mayor dispersión.

El tercer indicador productivo analizado fue el rendimiento ($t\cdot ha^{-1}$). En el Cuadro 8 se muestran los valores de dicho indicador para los 11 DR y el nacional. Cabe mencionar que el año agrícola 2005-2006 fue muy seco para varios DR estudiados; por ello, los DR 004, 005, 006 y 009 no establecieron superficie bajo riego (Cuadro 6).

La Figura 6 representa el rendimiento por año agrícola de los DR de la cuenca del Río Bravo y nacional reportado en el Cuadro 8.

El Cuadro 9 muestran los resultados de las medidas estadísticas descriptivas del rendimiento de los DR de la cuenca del Río Bravo. Dichas medidas son la base de la Figura 7.

Los valores obtenidos del rendimiento fueron muy variables en los DR 005, 050, 090 y 103, esto debido a

Table 10. Economic productivity of water at level of the supply source ($\$/m^3$) of 11 irrigation districts in the Río Bravo basin and nationwide, Mexico.

Cuadro 10. Productividad económica del agua a nivel fuente de abastecimiento ($\$/m^3$) de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo y nacional, México.

Year/ Año	Irrigation district /Distrito de riego											Nationwide/ Nacional
	004	005	006	009	025	026	031	050	090	103	113	
2002		1.09	0.82	0.85		0.77	0.60		0.70	0.76		1.3
2003		1.41	1.15	0.90	2.15	0.91	1.21	1.98	0.84	0.62		1.6
2004	12.01	2.07	2.19	1.11	2.31	1.77	0.36	3.21	1.13	0.91		1.8
2005	0.19	1.54	0.90	1.32	1.50	1.29	0.43	4.58	1.00	0.86		1.6
2006					1.59	1.31	0.59	3.05	1.25	1.00		1.6
2007	0.55	1.88	0.65	1.28	2.30	2.28	0.60	5.54	1.33	0.97		2.0
2008	0.55	2.71	0.50	1.49	2.12	1.85	0.76	8.65	0.83	1.85		2.2
2009	0.72	1.55	0.71	1.41	2.06	1.75	0.53	6.48	1.20	1.07		2.2
2010	1.26	2.15	1.44	1.78	3.23	2.60	0.92	8.21	1.37	1.62		2.5
2011	1.03	1.81	1.04	1.89	2.10	1.95	0.71	9.19	1.42	2.51		2.0
2012	1.27	2.34	1.09	1.85	3.28	3.57	1.08	12.69	2.03	2.59		3.9
2013	1.27	3.23	1.07	1.74	4.68	3.32	1.64	12.60	2.38	1.68		3.7
2014	1.00	2.72	0.94	2.49	5.72	4.81	2.00	8.98	2.33	1.47	2.82	3.5
2015	1.79	4.58	1.63	2.36	7.49	7.52		20.09	2.72	1.84	4.47	3.7
2016	1.62	5.89	1.25	2.53	5.28	4.71	2.23	22.29	3.40	2.31	6.07	4.0

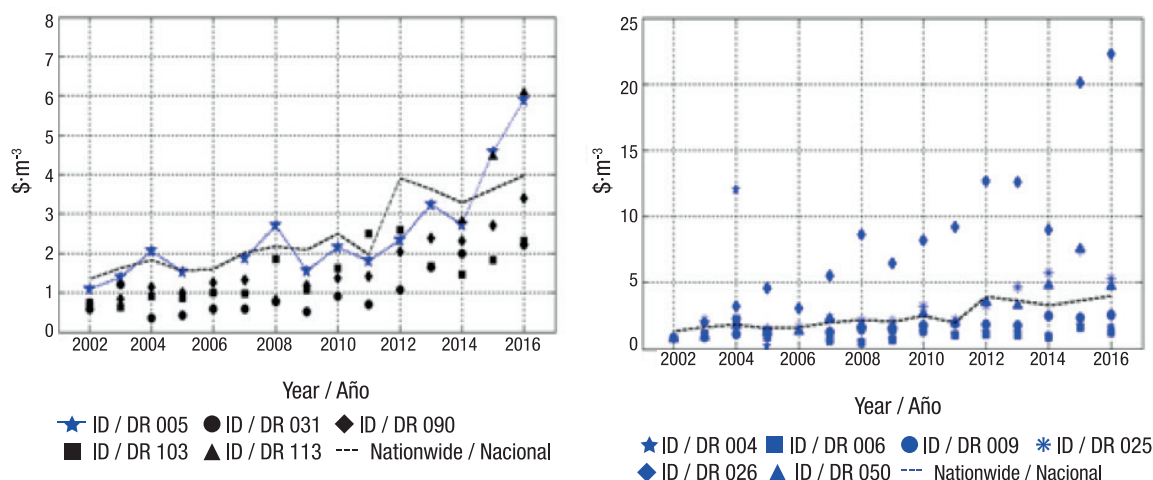


Figure 8. Economic productivity of water at the level supply source for 11 irrigation districts in the Rio Bravo basin and nationwide, Mexico.

Figura 8. Productividad económica del agua a nivel fuente de abastecimiento de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo y nacional, México.

Table 11 shows the results of the descriptive statistics of EPW_f of ID of the Rio Bravo Basin. These statistics are the basis of Figure 9, where ID 050 has the greatest variability.

The fifth production indicator studied was water productivity at the source of supply level (WP_f ; $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Table 12 shows the results obtained for this indicator for the 11 IDs and nationwide.

Figure 10 shows the WP_f per agricultural year of the ID in the Río Bravo basin and nationwide reported in Table 12. Most of the values obtained are below the baseline of $1.62 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ established for 2012 in the “National Development Plan 2013-2018” (CONAGUA, 2014), and the target for 2018 that was established at $1.87 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; only five IDs had higher values in 2016.

Table 13 shows the results of the descriptive statistics of the WP_f of the ID of the Rio Bravo basin. These values are the basis of Figure 11, where DR 050 is the one with the greatest variability in values.

The sixth production indicator evaluated was the economic productivity of water at the user level (EPW_u ; $\text{\$}\cdot\text{m}^{-3}$). Table 14 shows the results of that indicator for 11 IDs of the agricultural years with data availability.

Table 15 shows the results of the descriptive statistics of the EPW_u for the ID in the Río Bravo basin. These values are the basis of Figure 12, where the high variability in water availability of ID 050 can be seen, which may be due to the cultivation pattern based on forage and fruit trees. Olmedo et al. (2017) report average EPW_u values in the range of 2.8 to $6 \text{ \$}\cdot\text{m}^{-3}$ for the ID 041, which are very similar to those estimated in this study, where the main crop is wheat grain.

la mezcla de cultivos forrajeros y granos. Esto indica que la comparación interdistrital del rendimiento, como un valor único para cada año agrícola (Cuadros 8 y 9), se complica al tener variación interanual e interdistrital en los patrones y ciclos de cultivos, ya que genera una sobrevaloración de la producción de los cultivos perennes forrajeros y hortícolas sobre los granos. Lo anterior debido a que se comparan diferentes órganos productivos, que tienen diferente humedad, relacionados con el rendimiento, es decir, materia verde contra materia seca.

El cuarto indicador productivo estudiado fue la productividad económica del agua a nivel fuente de abastecimiento (PEA_f ; $\text{\$}\cdot\text{m}^{-3}$). El Cuadro 10 muestra los resultados de dicho indicador para los 11 DR y el nacional.

La Figura 8 presenta la PEA_f por año agrícola de los DR de la cuenca del Río Bravo y nacional reportada en el Cuadro 10.

En el Cuadro 11 se muestran los resultados de las medidas estadísticas descriptivas de la PEA_f de los DR de la cuenca Río Bravo. Dichas medidas son la base de la Figura 9, en donde el DR 050 es el que presenta mayor variabilidad.

El quinto indicador productivo que se estudió fue la productividad del agua a nivel fuente de abastecimiento (PA_f ; $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$). En el Cuadro 12 se muestran los resultados obtenidos para de dicho indicador para los 11 DR y el nacional.

En la Figura 10 se representa la PA_f por año agrícola de los DR de la cuenca del Río Bravo y nacional reportada en el Cuadro 12. La mayoría de los valores obtenidos

Table 11. Descriptive statistics of the economic productivity of water at level of the supply source (\$·m⁻³) of 11 irrigation districts in the Río Bravo basin, Mexico.

Cuadro 11. Medidas descriptivas de la productividad económica del agua a nivel fuente de abastecimiento (\$·m⁻³) de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo, México.

Statistics / Medida	Irrigation district / Distrito de riego										
	004	005	006	009	025	026	031	050	090	103	113
Average / Media	1.94	2.50	1.10	1.64	3.27	2.70	0.98	9.11	1.59	1.47	4.45
Median / Mediana	1.15	2.11	1.05	1.61	2.31	1.95	0.74	8.43	1.33	1.47	4.47
Standard deviation / Desviación estándar	3.20	1.32	0.44	0.55	1.82	1.83	0.59	6.09	0.79	0.65	1.63
Minimum / Mínimo	0.19	1.09	0.50	0.85	1.50	0.77	0.36	1.98	0.70	0.62	2.82
Maximum / Máximo	12.01	5.89	2.19	2.53	7.49	7.52	2.23	22.29	3.40	2.59	6.07
Quartile 25 % / Cuartil 25 %	0.59	1.55	0.79	1.24	2.09	1.31	0.57	4.24	1.00	0.91	2.82
Quartile 75 % / Cuartil 75 %	1.53	2.85	1.30	2.01	4.83	3.57	1.32	12.63	2.33	1.85	6.07
Lower whisker / Bigote inferior	0.19	1.09	0.50	0.85	1.50	0.77	0.36	1.98	0.70	0.62	2.82
Upper whisker / Bigote superior	3.55	5.48	2.19	2.53	7.49	7.52	2.23	22.29	3.40	2.59	6.07

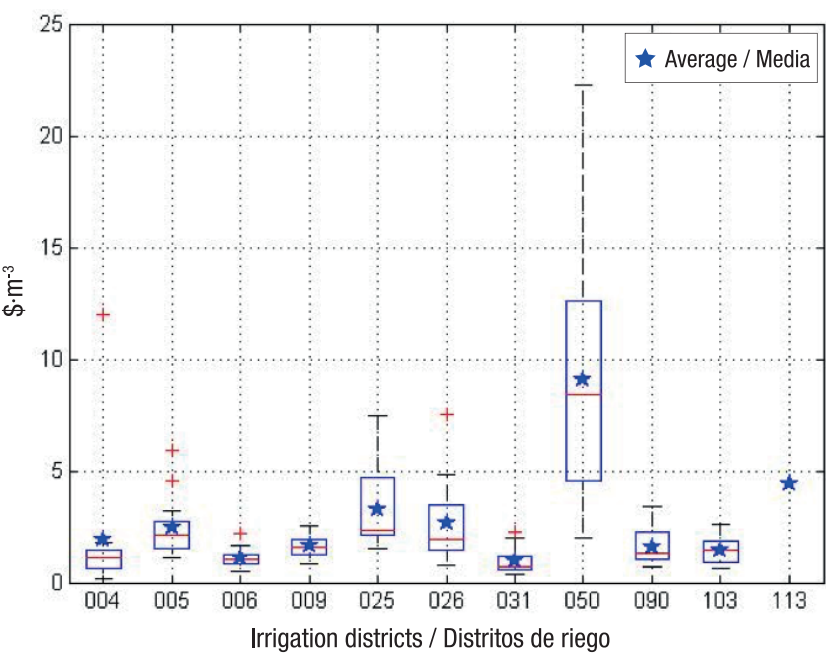


Figure 9. Graphical representation of descriptive statistics of economic water productivity at level of the supply source for 11 irrigation districts in the Río Bravo basin, Mexico.

Figura 9. Representación gráfica de las medidas estadísticas descriptivas de la productividad económica del agua a nivel fuente de abastecimiento de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo, México.

Table 12. Water productivity at the level of the supply source ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) of 11 irrigation districts in the Río Bravo basin and nationwide, Mexico.

Cuadro 12. Productividad del agua a nivel fuente de abastecimiento ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo y nacional, México.

Year/ Año	Irrigation district / Distrito de riego										Nationwide/ Nacional	
	004	005	006	009	025	026	031	050	090	103		113
2002		0.62	2.33	0.95		0.70	0.60		0.61	0.78		0.99
2003		0.78	3.51	0.80	1.65	0.68	1.36	3.04	0.61	0.73		1.23
2004	4.74	0.72	5.48	0.93	1.47	2.01	0.30	7.69	0.90	0.60		1.18
2005	0.21	0.65	2.28	0.97	1.21	0.81	0.41	2.63	0.66	0.94		1.09
2006					1.07	0.73	0.60	2.17	0.81	1.32		1.07
2007	0.72	1.32	1.89	1.00	1.26	1.06	0.48	5.52	0.94	0.86		1.14
2008	0.30	1.40	1.38	1.00	0.82	0.65	0.56	7.92	0.59	1.27		1.09
2009	0.49	1.09	1.19	0.95	0.92	0.80	0.35	4.95	0.58	0.80		1.01
2010	0.74	1.25	2.57	0.96	1.52	1.15	0.66	5.12	0.71	0.62		1.13
2011	0.52	1.07	1.54	0.74	0.66	0.55	0.28	5.23	0.60	1.19		0.76
2012	0.65	1.59	1.93	1.43	0.96	0.83	0.49	6.79	3.59	2.75		1.48
2013	0.63	1.71	1.71	1.41	1.36	0.93	0.54	6.87	3.41	2.72		1.43
2014	0.56	1.86	1.40	1.53	1.96	1.34	0.77	4.39	2.89	2.08	0.69	1.28
2015	0.70	2.02	2.41	1.59	2.21	2.28		8.54	2.95	1.91	0.48	1.26
2016	0.64	3.00	1.93	1.60	1.69	1.41	0.84	8.80	2.96	2.28	0.51	1.27

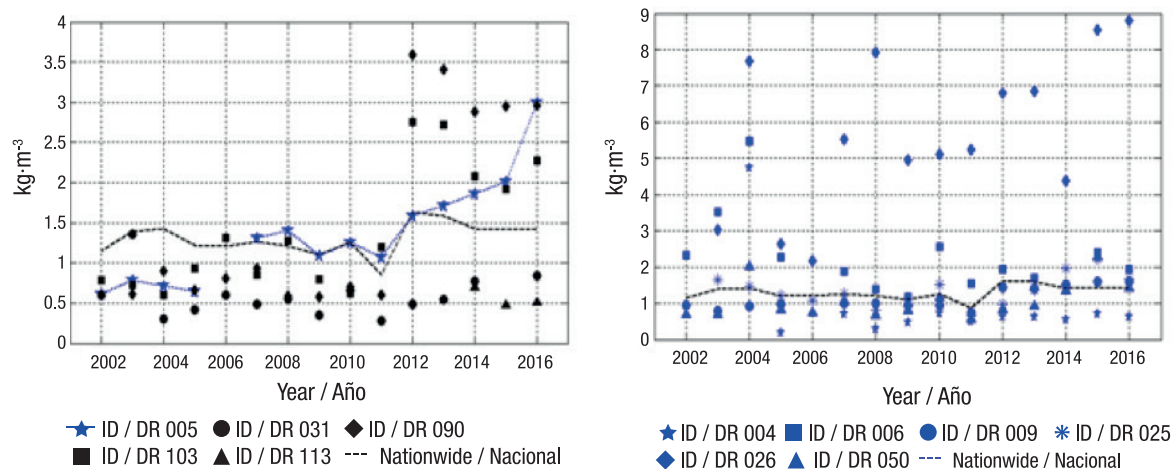


Figure 10. Water productivity at level of the supply source of 11 irrigation districts in the Río Bravo basin and nationwide, Mexico.

Figura 10. Productividad del agua a nivel fuente de abastecimiento de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo y nacional, México.

Table 13. Descriptive statistics of water productivity at level of supply source (kg·m⁻³) of 11 irrigation districts in the Rio Bravo basin, Mexico.

Cuadro 13. Medidas descriptivas de la productividad del agua a nivel fuente de abastecimiento (kg·m⁻³) de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo, México.

Statistics /Medida	Irrigation district /Distrito de riego										
	004	005	006	009	025	026	031	050	090	103	113
Average /Media	0.91	1.36	2.25	1.13	1.34	1.06	0.59	5.69	1.52	1.39	0.56
Median /Mediana	0.64	1.28	1.93	0.98	1.31	0.83	0.55	5.37	0.81	1.19	0.51
Standard deviation /Desviación estándar	1.22	0.65	1.11	0.31	0.44	0.51	0.27	2.17	1.22	0.76	0.12
Minimum /Mínimo	0.20	0.62	1.19	0.74	0.66	0.55	0.28	2.17	0.58	0.60	0.48
Maximum /Máximo	4.74	3.00	5.48	1.60	2.21	2.28	1.36	8.80	3.59	2.75	0.69
Quartile 25 % /Cuartil 25 %	0.49	0.76	1.50	0.95	0.95	0.70	0.40	4.05	0.61	0.78	0.48
Quartile 75 % /Cuartil 75 %	0.71	1.75	2.45	1.46	1.66	1.34	0.69	7.75	2.95	2.08	0.69
Lower whisker /Bigote inferior	0.20	0.62	1.19	0.74	0.66	0.55	0.28	2.17	0.58	0.60	0.48
Upper whisker /Bigote superior	1.47	3.00	4.35	1.60	2.21	2.28	1.30	8.80	3.59	2.75	0.69

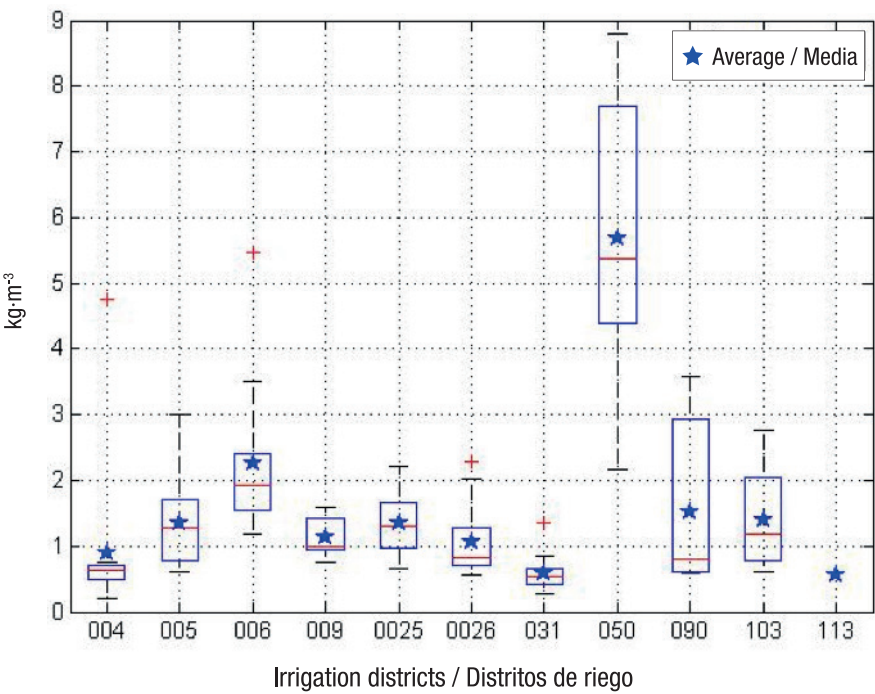


Figure 11. Graphical representation of descriptive statistics of water productivity at level of the supply source for 11 irrigation districts in the Rio Bravo basin, Mexico.

Figura 11. Representación gráfica de las medidas estadísticas descriptivas de la productividad del agua a nivel fuente de abastecimiento de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo, México.

Table 14. Water economic productivity at user level (\$·m⁻³) of 11 irrigation districts of the Río Bravo basin, Mexico.
Cuadro 14. Productividad económica del agua a nivel usuario (\$·m⁻³) de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo, México.

Year / Año	Irrigation district / Distrito de riego										
	004	005	006	009	025	026	031	050	090	103	113
2012	2.64	3.73	2.76	3.14	6.77	5.94	1.51	16.40	3.62	4.02	
2013	3.06	6.87	2.92	3.41	8.41	5.21	2.18	16.28	4.32	2.66	
2014	2.43	4.70	3.00	4.23	10.32	7.33	2.32	11.60	4.48	2.10	4.42
2015	3.79	6.92	5.70	3.89	16.59	11.85		27.47	5.34	3.21	7.56
2016	3.50	8.65	3.42	4.10	10.38	6.95	2.48	28.80	6.67	3.56	9.28

Table 15. Descriptive statistics of economic water productivity at the user level (\$·m⁻³) of 11 irrigation districts in the Río Bravo basin, Mexico.

Cuadro 15. Medidas descriptivas de la productividad económica del agua a nivel usuario (\$·m⁻³) de 11 distritos de riego en la cuenca del Río Bravo, México.

Statistics / Medida	Irrigation district / Distrito de riego										
	04	05	06	09	025	026	031	050	090	103	113
Average / Media	3.09	6.18	3.56	3.75	10.50	7.46	2.12	20.11	4.88	3.11	7.08
Median / Mediana	3.06	6.87	3.00	3.89	10.32	6.95	2.25	16.40	4.48	3.21	7.56
Standard deviation / Desviación estándar	0.57	1.96	1.22	0.46	3.72	2.59	0.43	7.59	1.17	0.76	2.47
Minimum / Mínimo	2.43	3.73	2.76	3.14	6.77	5.21	1.51	11.60	3.62	2.10	4.42
Maximum / Máximo	3.79	8.65	5.70	4.23	16.59	11.85	2.48	28.80	6.67	4.02	9.28
Quartile 25 % / Cuartil 25 %	2.54	4.22	2.84	3.28	7.59	5.58	1.67	13.94	3.97	2.38	4.42
Quartile 75 % / Cuartil 75 %	3.65	7.79	4.56	4.17	13.49	9.59	2.44	28.14	6.00	3.79	9.28
Lower whisker / Bigote inferior	2.43	3.73	2.76	3.14	6.77	5.21	1.51	11.60	3.62	2.10	4.42
Upper whisker / Bigote superior	3.79	8.65	5.70	4.23	16.59	11.85	2.48	28.80	6.67	4.02	9.28

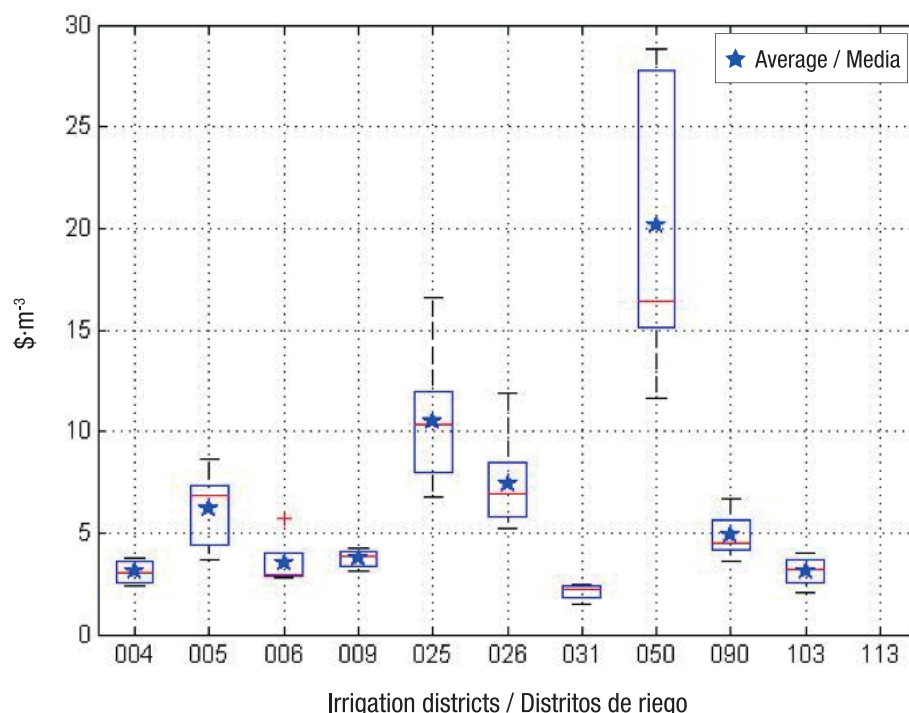


Figure 12. Graphical representation of descriptive statistics of economic water productivity at the user level for 11 irrigation districts in the Río Bravo basin, Mexico.

Figura 12. Representación gráfica de las medidas estadísticas descriptivas de la productividad económica del agua a nivel usuario de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo, México.

The last production indicator studied was water productivity at user level (WP_u ; $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$). Table 16 shows the results of this indicator for the 11 IDs of the agricultural years with data availability.

Table 17 shows the results of the descriptive statistics of the WP_u of 11 ID in the Río Bravo Basin. These statistics are the basis of Figure 13, where IDs 005, 006, 025, 026, 050 and 103 show between medium and high variability; this is due to the uncertainty in the volumes delivered at the user level due to the lack of reliable estimates, as reported by Alexander (2002) for ID 041 in Mexico. Another factor may be the year-to-year change in cropping plans due to the variability in annual availability at the source level, as is the case of IDs 025 and 026.

If EPL (thousands $\$ \cdot \text{ha}^{-1}$) and yield ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) are related, then RAP (Equation 1) is obtained.

$$RAP = \frac{EPL}{Yield} = \frac{VP/S_r}{Prod/S_r} = \frac{VP}{Prod} = \frac{(\$)}{(t)} \quad (1)$$

With regard to total production (Prod), if we consider RAP , yield, WP_f and WP_u , we can see that as production increases, the values of the indicators increase. Table 18 shows the average values of each production performance indicator per ID.

están por debajo de la línea base de $1.62 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ establecida para 2012 en el “Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018” (CONAGUA, 2014), y de la meta para 2018 que fue establecida de $1.87 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; únicamente cinco DR presentaron valores superiores en 2016.

El Cuadro 13 presenta los resultados de las medidas estadísticas descriptivas de la PA_f de los DR de la cuenca del Río Bravo. Dichos valores son la base de la Figura 11, en donde el DR 050 es el que presenta mayor variabilidad en los valores.

El sexto indicador productivo evaluado fue la productividad económica del agua a nivel usuario (PEA_u ; $\$ \cdot \text{m}^{-3}$). En el Cuadro 14 se muestran los resultados de dicho indicador para 11 DR de los años agrícolas con disponibilidad de datos.

El Cuadro 15 presenta los resultados de las medidas estadísticas descriptivas de la PEA_u de los DR de la cuenca de Río Bravo. Dichos valores son la base de la Figura 12, en donde se puede apreciar la alta variabilidad en la disponibilidad hídrica del DR 050, lo que puede deberse al padrón de cultivo basado en forrajes y frutales. Olmedo et al. (2017) reportan valores promedio de PEA_u en el rango de 2.8 a $6 \text{ \$} \cdot \text{m}^{-3}$ para el DR 041, los cuales son muy similares a los estimados en este trabajo, en donde el cultivo principal es el grano de trigo.

Table 16. Water productivity at user level ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) of 11 irrigation districts of the Río Bravo basin, Mexico.

Cuadro 16. Productividad del agua a nivel usuario ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo, México.

Year / Año	Irrigation district / Distrito de riego										
	004	005	006	009	025	026	031	050	090	103	113
2012	1.35	2.53	4.88	2.44	1.99	1.38	0.69	8.77	6.39	4.28	
2013	1.54	3.64	4.68	2.76	2.45	1.46	0.72	8.87	6.20	4.32	
2014	1.37	3.21	4.47	2.59	3.53	2.03	0.89	5.67	5.55	2.97	1.09
2015	1.49	3.04	8.42	2.62	4.90	3.59		11.68	5.80	3.35	0.81
2016	1.39	4.41	5.28	2.60	3.32	2.09	0.93	11.37	5.82	3.51	0.77

Table 17. Descriptive statistics for water productivity at the user level ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) of 11 irrigation districts in the Río Bravo basin, Mexico.

Cuadro 17. Medidas descriptivas para la productividad del agua a nivel usuario ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) de 11 distritos de riego en la cuenca del Río Bravo, México.

Statistics / Medida	Irrigation district / Distrito de riego										
	004	005	006	009	025	026	031	050	090	103	113
Average / Media	1.43	3.37	5.55	2.60	3.24	2.11	0.81	9.27	5.95	3.69	0.89
Median / Mediana	1.39	3.21	4.88	2.60	3.32	2.03	0.81	8.87	5.82	3.51	0.81
Standard deviation / Desviación estándar	0.08	0.71	1.63	0.11	1.12	0.89	0.12	2.43	0.34	0.59	0.17
Minimum / Mínimo	1.35	2.53	4.47	2.44	1.99	1.38	0.69	5.67	5.55	2.97	0.77
Maximum / Máximo	1.54	4.41	8.42	2.76	4.90	3.59	0.93	11.68	6.39	4.32	1.09
Quartile 25 % / Cuartil 25 %	1.36	2.79	4.58	2.52	2.22	1.42	0.70	7.22	5.67	3.16	0.77
Quartile 75 % / Cuartil 75 %	1.51	4.03	6.85	2.69	4.21	2.84	0.92	11.52	6.30	4.30	1.09
Lower whisker / Bigote inferior	1.35	2.53	4.47	2.44	1.99	1.38	0.69	5.67	5.55	2.97	0.77
Upper whisker / Bigote superior	1.54	4.41	8.42	2.76	4.90	3.59	0.93	11.68	6.39	4.32	1.09

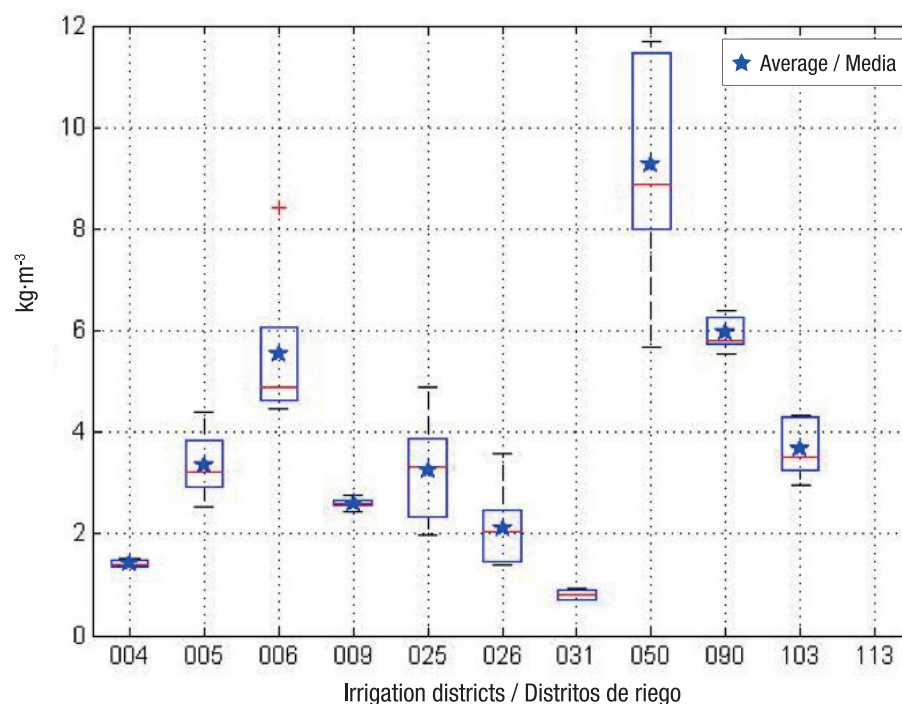


Figure 13. Graphical representation of descriptive statistical measurements of water productivity at the user level for 11 irrigation districts in the Río Bravo basin, Mexico.

Figura 13. Representación gráfica de las medidas estadísticas descriptivas de la productividad del agua a nivel usuario de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo, México.

Table 18. Average values of the seven indicators evaluated per irrigation district in the Río Bravo basin and nationwide, Mexico.

Cuadro 18. Valores medios de los siete indicadores evaluados por distrito de riego de la cuenca del Río Bravo y nacional, México.

Indicator/Indicador	Irrigation district/Distrito de riego											Nationwide/ Nacional
	004	005	006	009	025	026	031	050	090	103	113	
(1) RAP (\$·t ⁻¹)/ (1) PMR (\$·t ⁻¹)	1834	1864	514	1460	2416	2519	1684	1544	1345	1191	8479	1875.7
(2) EPL (thousand \$·ha ⁻¹)/ (2) PET (miles \$·ha ⁻¹)	18.61	39.62	10.66	23.9	12.27	14.47	7.97	38.4	25.8	23.72	88.6	30.9
(3) Yield (t·ha ⁻¹)/ (3) Rend (t·ha ⁻¹)	9.51	21.71	20.9	16.6	5.02	5.74	4.95	22.8	23.6	22.4	11.5	16.3
(4) EPW _f (\$·m ⁻³)/ (4) PEA _f (\$·m ⁻³)	1.94	2.5	1.1	1.64	3.27	2.7	0.98	9.11	1.59	1.47	4.45	1.17
(5) WP _f (kg·m ⁻³)/ (5) PA _f (kg·m ⁻³)	0.91	1.36	2.25	1.13	1.34	1.06	0.59	5.69	1.52	1.39	0.56	0.99
(6) EPW _u (\$·m ⁻³)/ (6) PEA _u (\$·m ⁻³)	3.09	6.18	3.56	3.75	10.5	7.46	2.12	20.1	4.88	3.11	7.08	-
(7) WP _u (kg·m ⁻³)/ (7) PA _u (kg·m ⁻³)	1.43	3.37	5.55	2.6	3.24	2.11	0.81	9.27	5.95	3.69	0.89	-

The estimated values of the seven performance indicators are within the range reported by Altamirano-Aguilar et al. Table 19 shows an analysis of the indicators with respect to their average, highlighting the districts with the highest and lowest values. IDs 031, 050 and 113 show the values with the highest dispersion with respect to the average of the basin ID. The data reported in this table indicate that it is not feasible to use a single indicator to evaluate performance, but several complementary indicators are required to characterize ID integrally, this is due to the complexity of the agronomic, environmental, political and socio-economic factors defining water and land productivity of ID.

Indicators regarding the value of production (VP) at current prices, as is the case of RAP, show a positive trend (Figure 14) due to the effect of the increase in production costs and inflation.

Since there is great variation between indicator values at the ID level, a more detailed analysis at the irrigation module level is recommended. This is because each irrigation module is autonomous, and they are responsible for delivering the irrigation service to the users and conserving the hydro-agricultural infrastructure under concession.

En último indicador productivo estudiado fue la productividad del agua a nivel usuario (PA_u ; $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$). En el Cuadro 16 se muestran los resultados de dicho indicador para los 11 DR de los años agrícolas con disponibilidad de datos.

El Cuadro 17 presenta los resultados de las medidas estadísticas descriptivas de la PA_u de 11 DR de la cuenca del Río Bravo. Dichas medidas son la base de la Figura 13, en donde se puede observar que los DR 005, 006, 025, 026, 050 y 103 exhiben variabilidad entre media y alta; esto debido a la incertidumbre en los volúmenes entregados a nivel usuario por falta de estimaciones confiables, como fue reportado por Alexander (2002) para el DR 041 de México. Otro factor puede ser el cambio interanual en los planes de cultivo ocasionado por la variabilidad en la disponibilidad anual a nivel fuente, como es el caso de los DR 025 y 026.

Si se relacionan la PET (miles $\text{\$}\cdot\text{ha}^{-1}$) y el rendimiento ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) se obtiene el PMR (Ecuación 1).

$$PMR = \frac{PET}{\text{Rendimiento}} = \frac{VP/S_r}{Prod/S_r} = \frac{VP}{Prod} = \frac{(\$)}{(t)} \quad (1)$$

Con respecto a la producción total (Prod), si se consideran los indicadores PMR, rendimiento, PA_f y

Table 19. Average values of the distribution of seven performance indicators of 11 irrigation districts in the Río Bravo basin, Mexico (from 2002 to 2016).

Cuadro 19. Valores medios de la distribución de siete indicadores de desempeño de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo, México (de 2002 a 2016).

Indicator/Indicador	Average / Media			Reference range / Rango de referencia
	Intermediate / Intermedia	Low / Baja	High / Alta	
(1) RAP ($\text{\$}\cdot\text{t}^{-1}$) / (1) PMR ($\text{\$}\cdot\text{t}^{-1}$)	2259.09	514 (ID 006) / 514 (DR 006)	8479 (ID 113) / 8479 (DR 113)	325 - 16 572
(2) EPL (thousand $\text{\$}\cdot\text{ha}^{-1}$) / (2) PET (miles $\text{\$}\cdot\text{ha}^{-1}$)	27.63	7.97 (ID 031) / 7.97 (DR 031)	88.57 (ID 113) / 88.57 (DR 113)	8.8 - 226.0
(3) Yield ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) / (3) Rend ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	14.97	4.95 (ID 031) / 4.95 (DR 031)	23.64 (ID 090) / 23.64 (DR 090)	4.4 - 102.6
(4) EPW_f ($\text{\$}\cdot\text{m}^{-3}$) / (4) PEA_f ($\text{\$}\cdot\text{m}^{-3}$)	2.80	1.1 (ID 006) / 1.1 (DR 006)	9.11 (ID 050) / 9.11 (DR 050)	0.38 - 20.3
(5) WP_f ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) / (5) PA_f ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	1.62	0.56 (ID 113) / 0.56 (DR 113)	5.7 (ID 050) / 5.7 (DR 050)	0.50 - 26.2
(6) EPW_u ($\text{\$}\cdot\text{m}^{-3}$) / (6) PEA_u ($\text{\$}\cdot\text{m}^{-3}$)	6.53	2.12 (ID 031) / 2.12 (DR 031)	20 (ID 050) / 20 (DR 050)	1.0 - 21.47
(7) WP_u ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) / (7) PA_u ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	3.54	0.89 (ID 113) / 0.89 (DR 113)	9.27 (ID 050) / 9.27 (DR 050)	0.75 - 37.1

The data in brackets indicates the irrigation district with the highest or lowest average value. The reference column is based on the study of Altamirano-Aguilar et al. (2017).

El dato entre paréntesis indica el distrito de riego con el valor de la media más alto o bajo. La columna de referencia es con base en el trabajo de Altamirano-Aguilar et al. (2017).

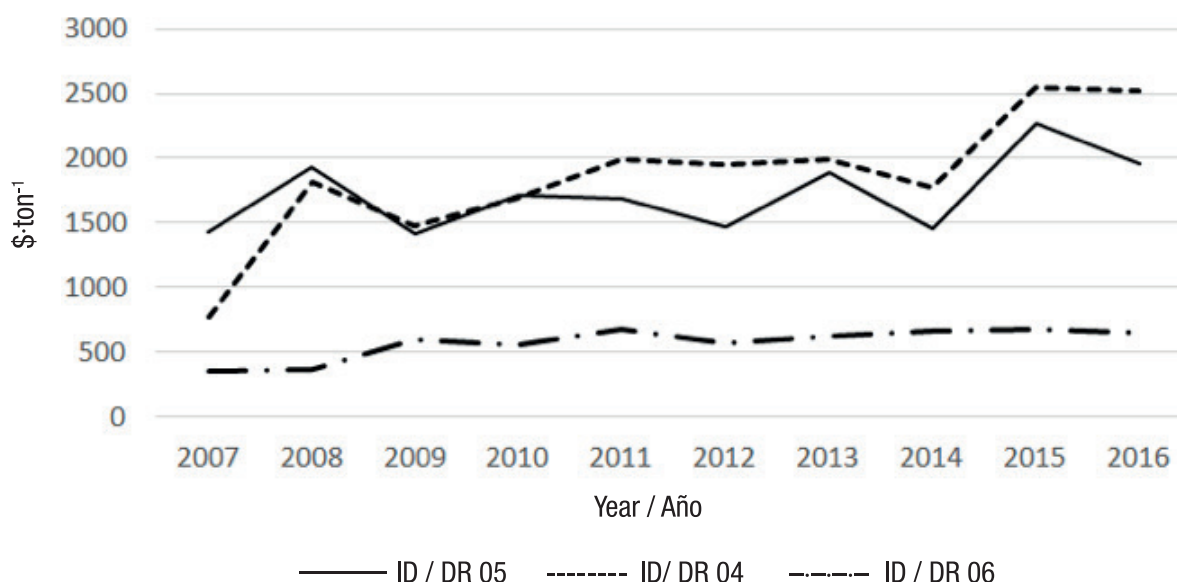


Figure 14. Rural average price of three irrigation districts (IDs) in the Río Bravo basin, Mexico.

Figura 14. Precio medio rural de tres distritos de riego (DR) de la cuenca del Río Bravo, México.

Table 20 shows a dispersion analysis of the production per unit of water extracted from the supply source of the 11 IDs.

By studying the correlation of two production performance indicators, it is possible to determine the conduction efficiency (CE) of the supply source to the farm intake, where it is delivered to the user. In this case, the related indicators are WP_f and WP_u , as shown in the following equation:

$$CE = \frac{WP_f}{WP_u} = \frac{(Prod/V_b)}{(Prod/V_n)} = \frac{V_b}{V_n} = \frac{m^3}{m^3} \quad (2)$$

Table 21 shows the conduction efficiencies obtained from Equation 2 of the 11 IDs studied, and Figure 15 shows the efficiencies of IDs 004 and 005, where ID 050 stands out. It is worth mentioning that most Mexican IDs were designed with a conduction efficiency of 70 %, assuming earth-lined channels (SRH, 1973).

In general, conduction efficiencies remained almost constant over the five years studied. Based on the results obtained (Table 21 and Figure 15), it can be deduced that the large investments made to improve the conduction network of many IDs have not translated into a significant increase in conduction efficiency, from the source of supply to the farm. This was possibly coupled with limited conservation of the IDs studied.

PA_u , se puede apreciar que al aumentar la producción incrementan los valores de los indicadores. El Cuadro 18 muestra los valores medios de cada indicador de desempeño productivo por DR.

Los valores estimados de los siete indicadores de desempeño se encuentran dentro del rango reportado por Altamirano-Aguilar et al. (2017). En el Cuadro 19 se presenta un análisis de los indicadores con respecto a su media, resaltando los distritos con el valor más alto y el más bajo. Los DR 031, 050 y 113 exhiben los valores con mayor dispersión con respecto a la media de los DR de la cuenca. Los datos reportados en dicho cuadro indican que no es factible utilizar un solo indicador para evaluar el desempeño, sino que se requieren varios indicadores complementarios para poder caracterizar los DR en forma integral; esto debido a la complejidad de los factores agronómicos, ambientales, políticos y socioeconómicos que definen la productividad del agua y de la tierra de un DR.

Los indicadores que consideran el valor de la producción (VP) a precios corrientes, como es el caso del PMR, presentan una tendencia positiva (Figura 14) por efecto del incremento en los costos de producción y de la inflación.

Debido a que existe gran variación entre los valores de los indicadores a nivel DR, se recomienda realizar un análisis más detallado a nivel módulo de riego. Lo anterior debido a que cada módulo es autónomo, y los

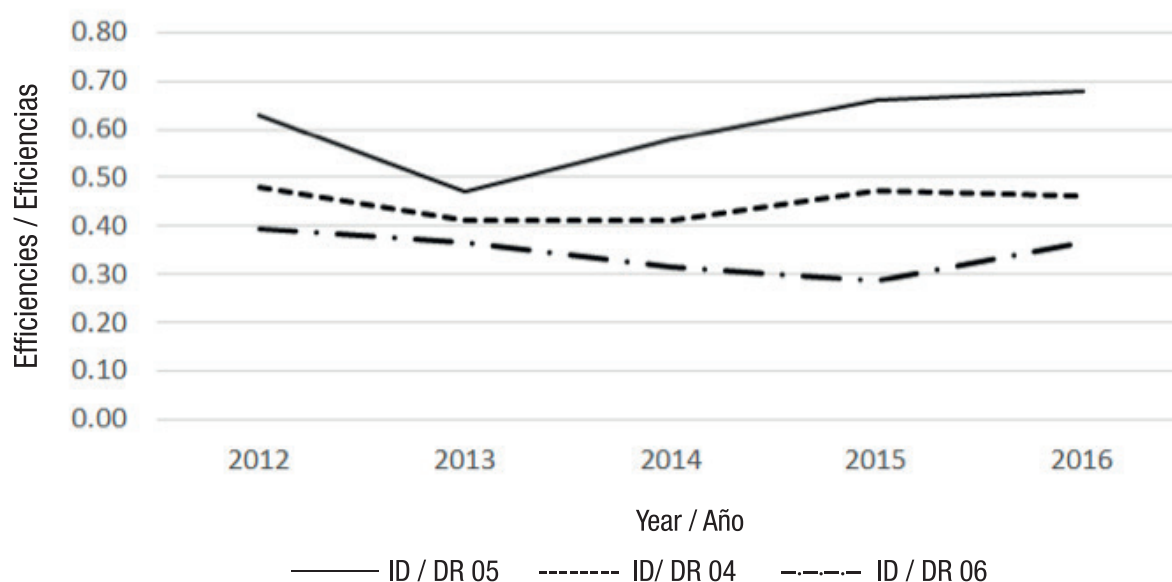
Table 20. Analysis of water productivity dispersion at level of the supply source (WP_f) per irrigation district (IDs) analyzed.

Cuadro 20. Análisis de dispersión de la productividad del agua a nivel fuente de abastecimiento (PA_f) por distrito de riego (DR) analizado.

ID / DR	WP_f Highlights / Información sobresaliente de la PA_f
004	It has outliers of 0.21 and 4.74 kg·m ⁻³ . In 2016, it had a productivity of 0.64 kg·m ⁻³ , which is equal to the Median. / Cuenta con valores atípicos de 0.21 y 4.74 kg·m ⁻³ . En 2016 tuvo una productividad de 0.64 kg·m ⁻³ , que es igual a la mediana.
005	It has upward values and Upper Whisker limits of 3 kg·m ⁻³ . / Presenta valores al alza y límites del bigote superior de 3 kg·m ⁻³ .
006	Part of high values. In 2016, it had a productivity of 1.93 kg·m ⁻³ , which was lower than in 2015. / Parte de valores altos. En 2016 presentó una productividad de 1.93 kg·m ⁻³ , que fue menor a la de 2015.
009	It shows an increase since 2009, with the highest value in 2016 of 1.60 kg·m ⁻³ . / Muestra un aumento desde 2009, con el valor más alto en 2016 de 1.60 kg·m ⁻³ .
025	It shows ups and downs greater than the Median (1.31 kg·m ⁻³), with a Maximum of 2.21 kg·m ⁻³ in 2015. In the period evaluated it showed an average of 1.34 kg·m ⁻³ . / Presenta altibajos mayores a la mediana (1.31 kg·m ⁻³), con un máximo de 2.21 kg·m ⁻³ en 2015. En el periodo evaluado presentó una media de 1.34 kg·m ⁻³ .
026	Values oscillate mainly in the range of 0.65 to 1.4 kg·m ⁻³ , with an outlier Maximum value of 2.28 and an average value of 1.06 kg·m ⁻³ . / Los valores oscilan principalmente en el rango de 0.65 a 1.4 kg·m ⁻³ , con un valor máximo atípico de 2.28 y valor medio de 1.06 kg·m ⁻³ .
031	It shows little variation in values, with a small positive trend in the analysis period and a high outlier of 1.36 kg·m ⁻³ in 2003. / Presenta poca variación en los valores, con una pequeña tendencia positiva en el periodo de análisis y un valor alto atípico de 1.36 kg·m ⁻³ en 2003.
050	It starts with high values, and during the period evaluated shows values higher than 7.75 kg·m ⁻³ and a Median of 5.37 kg·m ⁻³ . In 2016 it had the highest productivity of all the IDs, with a value of 8.80 kg·m ⁻³ . / Parte de valores altos, y durante el periodo evaluado presenta valores mayores a 7.75 kg·m ⁻³ y una mediana de 5.37 kg·m ⁻³ . En 2016 tuvo la productividad más alta de todos los DR, con un valor de 8.80 kg·m ⁻³ .
090	It started with low values, and from 2012 productivity increased above the average and Median, with an outlier of 3.59 kg·m ⁻³ . / Inicia con valores bajos, y a partir de 2012 incrementó su productividad por arriba de la media y mediana, con un valor atípico de 3.59 kg·m ⁻³ .
103	It starts with low values, and from 2012 productivity increased above the average and Median, with an outlier of 2.75 kg·m ⁻³ . / Parte de valores bajos, y a partir de 2012 incrementó su productividad por arriba de la media y mediana, con un valor atípico de 2.75 kg·m ⁻³ .
113	It has very few available data. In 2016 it had values equal to the Median (0.51 kg·m ⁻³). / Cuenta con muy pocos datos. En 2016 tuvo valores iguales a la mediana (0.51 kg·m ⁻³).

Table 21. Conduction efficiencies of 11 irrigation districts in the Río Bravo basin, Mexico.**Cuadro 21. Eficiencias de conducción de 11 distritos de riego de la cuenca del Río Bravo, México.**

Year / Año	Irrigation districts / Distritos de riego										
	004	005	006	009	025	026	031	050	090	103	113
2012	0.48	0.63	0.39	0.59	0.48	0.6	0.72	0.77	0.56	0.64	
2013	0.41	0.47	0.37	0.51	0.56	0.64	0.75	0.77	0.55	0.63	
2014	0.41	0.58	0.31	0.59	0.55	0.66	0.86	0.77	0.52	0.7	0.64
2015	0.47	0.66	0.29	0.61	0.45	0.63		0.73	0.51	0.57	0.59
2016	0.46	0.68	0.37	0.62	0.51	0.68	0.9	0.77	0.51	0.65	0.65

**Figure 15. Conduction efficiency of three irrigation districts (IDs) in the Río Bravo basin, Mexico.****Figura 15. Eficiencia de conducción de tres distritos de riego (DR) de la cuenca del Río Bravo, México.**

Conclusions

The most common indicators for evaluating the performance of an ID in Mexico are yield and global conduction efficiency. However, as the results indicate, no single performance indicator can be used, but several complementary indicators are required to characterize IDs, integrally. Inter-district comparison of indicator values is complicated due to district variation in cropping cycles and patterns, resulting in an overestimation of the production of perennial forage and horticultural crops over grains.

The values of conduction efficiency of hydraulic infrastructure of IDs are below those contemplated in the original design of IDs. This indicates a degradation of the irrigation infrastructure, possibly due to limited conservation or operation of the IDs studied.

encargados son los responsables de entregar el servicio de riego a los usuarios y de conservar la infraestructura hidroagrícola concesionada.

El Cuadro 20 presenta el análisis de dispersión de la producción por unidad de agua extraída de la fuente de abastecimiento de los 11 DR.

Al estudiar la correlación de dos indicadores de desempeño productivo es posible determinar la eficiencia de conducción (EC) de la fuente de abastecimiento a la toma granja, que es en donde se entrega al usuario. Para tal caso, los indicadores que se relacionan son la PA_f y la PA_u , tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$EC = \frac{PA_f}{PA_u} = \frac{(Prod/V_b)}{(Prod/V_n)} = \frac{V_b}{V_n} = \frac{m^3}{m^3} \quad (2)$$

The productive performance of IDs is low due to a series of structural and non-structural factors that limit development at the irrigation area level. Some of the factors are low efficiency of conduction network (from the supply source to the farm), high inter-annual variability of available volumes at the source level, low irrigation fee, low technological level and increase in production costs, among others.

It is recommended to carry out the performance analysis per irrigation module and, to be not only productive, but also operational and administrative. This is the responsibility of the ACUs, because they are responsible for delivering the irrigation service to the users and for conserving the hydro-agricultural infrastructure under concession.

To dispose of unused water, one way is to improve planning, distribution and conservation of the distribution network. In addition, it is necessary to conduct a more detailed analysis of the irrigation service offered by the ACUs based on performance indicators at the ACU level, and not integrally as shown in this study.

The indicators used and results obtained can be used to evaluate the production behavior of IDs, as well as to analyze the investment policies to improve the hydro-agricultural infrastructure (both of the distribution network and of the farm technification), and agricultural policies of subsidies through guarantee prices and support to the agricultural areas under irrigation. This should be reflected in a change in performance indicators, since the value of irrigation water should be maximized for the benefit of producers and society.

End of English version

References / Referencias

- Alexander, P. J. (2002). *Benchmarking of the irrigation and drainage sector in Mexico*. Australia: International Program for Technology and Research in Irrigation and Drainage - Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). Retrieved from http://www.fao.org/tempref/agl/IPTRID/benchmark_mex_2.pdf
- Alexander, P. J., & Potter, M. O. (2004). Benchmarking of Australian irrigation water provider businesses. *Irrigation and Drainage*, 53(2), 165-173. doi: 10.1002/ird.131
- Altamirano-Aguilar, A., Valdez-Torres, J., Valdez-Lafarga, C., León-Balderrama, J., 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), 79-99. doi: 10.24850/j-tyca-2017-04-05

En el Cuadro 21 se muestran las eficiencias de conducción obtenidas a partir de la Ecuación 2 de los 11 DR analizados, y la Figura 15 presenta las eficiencias de los DR 004 y 005, donde destaca el DR 050. Cabe mencionar que la mayoría de los DR mexicanos fueron diseñados con una eficiencia de conducción de 70 %, asumiendo canales revestidos de tierra (SRH, 1973).

En general, las eficiencias de conducción se mantuvieron casi constantes en los cinco años estudiados. Con base en los resultados obtenidos (Cuadro 21 y Figura 15), se puede deducir que las grandes inversiones realizadas para mejorar la red de conducción de varios DR no se han traducido en un incremento significativo en la eficiencia de conducción, desde la fuente de abastecimiento hasta la toma granja. Lo anterior aunado, posiblemente, a una limitada conservación de los DR estudiados.

Conclusiones

Los indicadores más comunes para evaluar el desempeño de un DR en México son el rendimiento y la eficiencia de conducción global. Sin embargo, como los resultados indican, no se puede utilizar un solo indicador de desempeño, sino que se requieren varios indicadores complementarios para poder caracterizar los DR en forma integral. La comparación interdistrital de los valores de los índices se complica por la variación distrital en los patrones y ciclos de cultivo, lo que genera una sobrevaloración de la producción de los cultivos perennes forrajeros y hortícolas sobre los granos.

Los valores de la eficiencia de conducción de la infraestructura hidráulica de los DR están por debajo de los contemplados en el diseño original de los DR. Esto indica una degradación de la infraestructura de riego, debido posiblemente a una limitada conservación u operación de los DR estudiados.

El desempeño productivo de los DR es bajo debido a una serie de factores estructurales y no estructurales que limitan su desarrollo a nivel zona de riego. Algunos de los factores son la baja eficiencia de conducción de las redes (desde la fuente de abastecimiento a la parcela), la alta variabilidad interanual de los volúmenes disponibles a nivel fuente, la baja cuota de riego, el bajo nivel tecnológico y el incremento en los costos de producción, entre otros.

Se recomienda realizar el análisis de desempeño por módulo de riego, y que sea no solo productivo, sino también operativo y administrativo. Esto bajo la responsabilidad de las ACUs, ya que son las responsables de entregar el servicio de riego a los usuarios y de conservar la infraestructura hidroagrícola concesionada.

- Blanchard, O. (2017). *Macroeconomía*. Madrid, Spain: Pearson.
- Bos, M. G., Burton, M. A., & Molden, D. J. (2005). *Irrigation and drainage performance assessment: practical guidelines*. London: CABI Publishing.
- Burt, C. M., & Styles, S. W. (2004). Conceptualizing irrigation projects modernization through benchmarking and the rapid appraisal process. *Irrigation and Drainage*, 53(2), 145-154. doi: 10.1002/ird.127
- Cakmak, B., Beyribey, M., Yildirim, E. Y., & Kodali, S. (2004). Benchmarking performance of irrigation schemes: A case study from Turkey. *Irrigation and Drainage Journal*, 53(2), 155-163. doi: 10.1002/ird.130
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (1994). *Transferencia de los distritos de riego en México*. México: Author.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2014). *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Programa Nacional Hídrico*. México: CONAGUA. Retrieved from <https://www.aguas.org.mx/sitio/publicaciones/plan-nacional-de-desarrollo-2013-2018/plan-nacional-de-desarrollo-2013-2018.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2017a). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego: Año agrícola 2015-2016*. México: CONAGUA – Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Retrieved from https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EA_2015-2016.pdf
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2017b). *Informes estadísticos de los distritos de riego. Años agrícolas 1997-1998 al 2016-2017*. México: Comisión Nacional del Agua. Retrieved from <http://edistritos.com/eaDR/>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2017c). *Sistema Nacional de Información del Agua*. México: Comisión Nacional del Agua. Retrieved from <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php>
- Infante-Gil, S., & Zárate-de Lara, G. (2012). *Métodos estadísticos: Un enfoque interdisciplinario*. México: Colegio de Postgraduados.
- Íñiguez-Covarrubias, M., de León-Mojarro, B., Prado-Hernández, J. V., & Rendón-Pimentel, L. (2007). Análisis y comparación de tres métodos para determinar la capacidad de conducción de canales, aplicados en el distrito de riego La Begoña. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 22(2), 81-90. Retrieved from <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/192>
- Kennedy, D. (2016). Fundamentos económicos y cuentas nacionales: una propuesta de medición de la evolución del valor. *Cuadernos de Economía*, 35(68), 407-431. doi: 10.15446/cuad.econ.v35n68.41662
- Malano, H., Burton, M., & Makin, I. (2004). Benchmarking performance in the irrigation and drainage sector: a tool for change. *Irrigation and Drainage*, 53(2), 119-133. doi: 10.1002/ird.126
- Olmedo-Vázquez, V. M., Camacho-Poyato, E., Rodríguez-Díaz, J. A., Minjares-Lugo, J. L., & Hernández-Hernández, M. L. (2017). Determinación de indicadores de gestión en los módulos del distrito de riego núm. 041, Río Yaqui (Sonora, México). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(2), 149-168. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/143469076.pdf>
- Palacios-Vélez, E. (2000). Benefits and second generation problems of irrigation management transfer in Mexico. In: Svendsen, M., & Groenfeldt, D. (Eds), *Participatory irrigation management case studies series*. Washington D. C.: World Bank and the International Irrigation Management Institute.
- Ruiz-Carmona, V. M., Ojeda-Bustamante, W., & Contijoch, M. (2006). Evaluación rápida de una zona de riego típica de Pakistán. *Ingeniería Hidráulica en México*, 21(3), 43-56. Retrieved from <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/download/1079/968>
- Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH). (1973). *Proyecto de zonas de riego*. México: Secretaría de Recursos Hidráulicos y Dirección de Proyectos de Grande Irrigación.

Fin de la versión en español