



Análisis econométrico de la disponibilidad de agua para producción agrícola de riego en México (2003-2015)

A. G. Andrade-Servín^{1,2,*}, H. R. Guerrero-García Rojas², R. Colín-Martínez²

(1) Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Av. Fco. J. Múgica s/n 58040, Morelia, Michoacán, México.

(2) Facultad de Economía, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Av. Fco. J. Múgica s/n 58040, Morelia, Michoacán, México.

* Autor de correspondencia: A. Andrade [agandrade@fevaq.net]

> Recibido el 16 de julio de 2019 - Aceptado el 17 de abril de 2020

Andrade-Servín, A.G., Guerrero-García Rojas, H.R., Colín-Martínez, R. 2020. Análisis econométrico de la disponibilidad de agua para producción agrícola de riego en México (2003-2015). *Ecosistemas* 29(2):1816. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1816>

A partir de un modelo econométrico con datos de panel, se realizó una valoración de la producción agrícola de riego (ton) con respecto al volumen de agua utilizado (millones de m³) en el territorio mexicano, durante 13 años consecutivos (2003 a 2015). Cabe destacar, que México cuenta con 13 organismos de cuenca, los cuales se comportaron de manera distinta tanto en producción agrícola de riego como en la cantidad de agua requerida para obtener producción agrícola. El objetivo del presente estudio fue analizar el comportamiento de la cantidad de agua requerida para generar diversidad de productos agrícolas de riego en México. A partir de los datos de panel se mostró que la producción agrícola de riego está determinada en un 94% por la disponibilidad de agua. El cambio porcentual de la producción agrícola con el uso del agua va de un 47 a 60% por cada unidad de agua destinada a riego. Este tipo de modelos permite analizar que la cantidad y diversidad de productos agrícolas está estrechamente ligada a la disponibilidad de agua en cada organismo de cuenca. Además, considerar ser más eficientes en el uso del agua para riego de productos agrícolas, utilizar la cantidad necesaria para riego, mejorar los sistemas de riego para evitar desperdiciar recurso hídrico, sobre todo en la zona norte de México, siendo Pacífico Norte quien genera mayor producción agrícola y requirió mayor cantidad de recurso hídrico.

Palabras clave: datos de panel; organismos de cuenca; recurso hídrico

Andrade-Servín, A.G., Guerrero-García Rojas, H.R., Colín-Martínez, R. 2020. Econometric analysis of water availability for agricultural irrigation production in Mexico (2003-2015). *Ecosistemas* 29(2):1816. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1816>

From an econometric model with panel data, an assessment of agricultural irrigation production (ton) was made with respect to the volume of water used (millions of m³) in the Mexican territory, for 13 consecutive years (2003 to 2015). It should be noted that Mexico has 13 basin organizations, which behaved differently both in agricultural irrigation production and in the amount of water required to obtain agricultural production. The objective of this study was to analyze the behavior of the amount of water required to generate diversity of agricultural irrigation products in Mexico. From the panel data it was shown that agricultural irrigation production is determined by 94% by the availability of water. The percentage change in agricultural production with the use of water ranges from 47 to 60% for each unit of water destined for irrigation. This type of model allows analyzing that the quantity and diversity of agricultural products is closely linked to the availability of water in each basin organization. In addition, consider being more efficient in the use of water for irrigation of agricultural products, use the amount necessary for irrigation, improve irrigation systems to avoid wasting water resources, especially in the northern part of Mexico, with the North Pacific generating the greatest agricultural production and required more water resources.

Keywords: panel data; basin organizations; hídric resource

Introducción

La extensión territorial de los Estados Unidos Mexicanos comprende 1 964 375 millones de km², de los cuales 99.7% corresponden a la superficie continental y la diferencia a la parte insular. México es un país con una alta producción de alimentos, se encuentra en el décimo segundo lugar a nivel mundial, para abastecimiento de sus habitantes, así como, es uno de los principales exportadores de productos de calidad. Además, cuenta con 24.6 millones de hectáreas para la agricultura, de la cuales se cultivan 21.9 millones. México tiene 122.8 millones de habitantes, siendo el décimo primer país más poblado del mundo. (INEGI 2018).

De acuerdo al Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA), México registró el 40.9% de sus productos de exportación (pepino, jitomate, limón,

aguacate, chile, fresa, calabacita, plátano, cebolla, zarzamora, sandía y frambuesa) con 10 915 mil millones de dólares. (CEDRSSA 2017).

Existen organismos como la Organización de las Naciones para la Alimentación y la Agricultura (FAO) que han puesto énfasis en incrementar la producción de alimentos, sin limitar el control de la población. Hace algunas décadas, se demostró que la disponibilidad de alimentos era suficiente para satisfacer la demanda de energía de los habitantes del planeta. Ante esto, durante la Cumbre Mundial de la Alimentación organizada por la (FAO 1996) que existe una seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimentarias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana, y para lograrlo el agua se considera un factor elemental (FAO 1996).

En México el Programa [Nacional Hídrico \(PNH\) 2014-2018](#), que contempla cuatro líneas de política pública: 1) servicios de agua adecuados, accesibles, asequibles y expeditos, 2) agua para la seguridad alimentaria que aliente la producción suficiente de alimentos para la población y el respaldo a las acciones de la Cruzada Nacional Contra el Hambre, 3) manejo responsable y sustentable del agua para orientar su uso y consumo racionales, 4) reducir la vulnerabilidad ante efectos del cambio climático y las contingencias ambientales; donde se especifica la importancia del manejo responsable y sustentable del agua para la seguridad alimentaria y la producción de alimentos para la población. Además, siendo importante cumplir con lo establecido en las políticas de México, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) ha impulsado estrategias y programas integrales para la modernización y tecnificación del riego que permitan incrementar los índices de productividad. En cambio, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) dentro de sus diversas funciones es atender la seguridad alimentaria de la población, elementos fundamentales para alcanzar un desarrollo sustentable ([SEMARNAT 2015](#)).

La CONAGUA, como órgano administrativo, normativo, técnico y consultivo encargado de la gestión del agua en México, desempeña sus funciones a través de las 13 Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA), pero cuando el recurso hídrico se utiliza para riego estas regiones se denominan Organismos de Cuenca (OC), donde a su vez están formada por agrupaciones de cuencas, consideradas unidades básicas para la gestión y concesión de los recursos hídricos ([CONAGUA 2017](#)).

A nivel nacional, 76% del agua se destina para el sector agrícola, 15% para el abastecimiento público, 5% para la energía eléctrica excluyendo la energía hidroeléctrica y, 4% al sector industrial autoabastecida ([CONAGUA 2017](#)).

En México se tiene una clasificación general de la agricultura, la cual consta de cuatro categorías: 1) la agricultura tipo revolución verde (bajo riego o temporal); 2) la agricultura marginal (por la calidad de sus tierras y su clima); 3) la etnoagricultura (sedentaria o de roza-tumba-quema); y 4) la agricultura orgánica (nichos de alta calidad agrícola), sus productos son libres de agroquímicos y tienen un alto valor comercial ([Turrent-Fernández y Cortés-Flores 2005](#)). Dentro de esta clasificación, se abordará la agricultura tipo revolución verde, específicamente, la producción agrícola de riego a nivel nacional.

En este contexto, el objetivo del presente estudio fue determinar el grado de dependencia de la producción agrícola de riego con respecto al volumen de agua utilizado en los 13 OC en México durante un periodo de 13 años consecutivos (2003 a 2015), bajo un enfoque de disponibilidad de recurso hídrico para obtener producción agrícola de productos tanto de consumo básico como de exportación.

Material y métodos

Zona de estudio

En [CONAGUA \(2018\)](#), se tiene clasificado a México en 13 Regiones Hidrológicas-Administrativas (RHA); estas regiones están formadas por agrupaciones de cuencas, consideradas básicas para la gestión y concesión de los recursos hídricos. Los organismos de cuenca (OC), los cuales son las mismas 13 (RHA), se basa en la disponibilidad del recurso hídrico, consideradas para la distribución y de riego para cultivos perennes. Para que estas cuencas cuenten con la disponibilidad de agua, dependen en gran medida del clima y la precipitación, así como del relieve del territorio. México no es la excepción, nuestro país cuenta con una gran diversidad de climas, los cuales pueden clasificarse, según su temperatura, en cálido y templado. En cuanto a la humedad, se dividen en húmedo, subhúmedo y muy seco. De esta manera, la temperatura, humedad, precipitación y clima están estrechamente relacionados. Por ello México, es un país muy diverso en su flora y fauna, suelos, disponibilidad de agua, ubicación geográfica, entre otros. Primeramente, en la parte norte del país se tiene un clima seco y muy seco,

el clima seco se encuentra en la mayor parte del centro y norte del país, región que comprende el 28.3% del territorio nacional. Los climas secos se caracterizan por la circulación de los vientos, que provocan escasa nubosidad y precipitaciones de 300 a 600 mm anuales, con temperaturas en promedio de 22° a 26° C, en unas regiones y de entre 18° a 22° C, en otras. El clima muy seco registra temperaturas promedio de 18° a 22° C, con casos extremos de más de 26°C; presentando precipitaciones anuales de 100 a 300 mm en promedio, se encuentra en el 20.8% de México. Posteriormente, en la parte centro del país predomina el clima cálido, se subdivide en cálido húmedo y cálido subhúmedo. El primero, ocupa el 4.7% del territorio nacional y se caracteriza por tener una temperatura media anual entre 22° y 26°C. Las precipitaciones están entre 2000 a 4000 mm anuales. En el caso del clima cálido subhúmedo se encuentra en el 23% del país. En esta zona se registran precipitaciones entre 1000 y 2,000 mm anuales, con temperaturas que oscilan de 22° y 26°, si bien en algunas zonas puede llegar a superar los 26°C. Finalmente, en la parte sur del país predomina el clima templado, se divide en húmedo y subhúmedo. En el primero de ellos se registran temperaturas entre 18° y 22°C y precipitaciones en promedio de 2000 a 4000 mm anuales; comprende el 2.7% del territorio nacional. En cuanto, al clima templado subhúmedo, se encuentra en el 20.5% del país. En su mayoría se observan temperaturas entre 10° a 22°C, sin embargo, en algunas regiones puede disminuir a menos de 10°C; registra precipitaciones de 600 a 1000 mm en promedio durante el año ([INEGI 2016](#)).

En cuanto a las temperaturas, el territorio mexicano se comporta de una manera muy variada, al norte del trópico de Cáncer, la temperatura aumenta sustancialmente con respecto al sur. Específicamente en la parte norte central del altiplano mexicano las temperaturas son mayores, siendo extremas. Las temperaturas más altas en México alcanzan los 43° C, ocurren en julio y agosto en el centro de Baja California y en los desiertos del norte de Sonora y Chihuahuaense. Fuera de las áreas montañosas altas del norte de México y el norte de altiplano mexicano, las temperaturas más bajas normalmente no descienden por debajo de los 0° C ([INEGI 2016](#)). Considerando las precipitaciones y temperaturas del país, existe una gran vulnerabilidad, sobre todo, por las elevadas temperaturas en la parte norte y poca disponibilidad del recurso hídrico.

La [CONAGUA \(2018\)](#) concesionó en el país los volúmenes de agua para usos agrupados consuntivos y por fuente de extracción, respectivamente. Las RHA que tienen concesionado un mayor volumen de agua son: VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IV Balsas, III Pacífico Norte y VI Río Bravo. Una vez que estas regiones abastecen de agua a las superficies cosechadas se convierten en organismos de cuenca siguiendo la misma nomenclatura de las regiones hidrológicas administrativas.

El [INEGI \(2016\)](#), mostró en sus estadísticas que en la parte Norte del país existió menor agua disponible, así como mayor población y aportación al PIB; en cambio, en la parte Sur se registró una mayor cantidad de agua disponible, menor población y aportación al PIB. Además, dos terceras partes del territorio se consideraron áridas o semiáridas, con precipitaciones anuales menores a los 500 mm, mientras que una tercera parte, el sureste, es húmedo, con precipitaciones anuales que superaron los 2000 mm por año. En la mayor parte del territorio la lluvia fue más intensa en verano, principalmente de tipo torrencial. A partir de 2016, México estuvo conformado por 31 estados y la Ciudad de México, que a su vez se constituyeron por 2442 municipios y 16 delegaciones, respectivamente.

Para el caso de los suelos, México es muy diverso al igual de los climas y temperaturas; se tienen que los leptosoles se consideran suelos someros con menos de 25 cm de profundidad, además de ser abundantes (28.3%) predominan en la parte norte y sur del territorio mexicano. En cuanto a los regosoles, son representados en un 13.7% principalmente en zonas montañosas, así como, pantanosas; los phaeozems son suelos típicos de agricultura. Posteriormente, en la parte desértica figuran los calcisoles, estos suelos dominan el 10.4% de la superficie mexicana y se caracterizan por

tener un enriquecimiento de carbonatos. En el caso de los suelos luvisoles representan el 9.0% del territorio mexicano, éstos se asocian a tierras planas con climas templados o cálidos con estaciones húmedas y secas vinculadas a zonas boscosas y selváticas. Por último, los vertisoles, representan el 8.6%, asociándose a llanuras fértiles de regiones costeras, sobresaliendo por una gran capacidad para retener humedad siendo suelos idóneos para zonas agrícolas (INEGI 2007).

Caracterización de los 13 OC en México con análisis econométrico

El análisis consistió en 13 años consecutivos (2003-2015); las variables fueron la producción agrícola de riego correspondiente a los 13 organismos de cuenca en el territorio mexicano (Fig. 1), y el volumen de agua que se requirió para generar dicha producción. Es importante mencionar que los datos utilizados en el modelo son datos agregados de toda la producción agrícola de riego, indistintamente del producto, esto es, ya sea maíz de consumo interno o aguacate para exportación.

El análisis de datos cuantitativos se realiza tomando en cuenta los niveles de medición de las variables y mediante la estadística, que puede ser paramétrico (regresión lineal, coeficientes de correlación, entre otros).

Se consultaron las estadísticas agrícolas de México y se recopilaban los datos de los años correspondientes al periodo 2003-2015 (CONAGUA 2003-2015) para el análisis de producción y la cantidad de recurso hídrico utilizado para riego a nivel nacional. Una vez recopilados los datos se procesaron en un análisis econométrico utilizando el software *EViews 9.5 Student Version* con un modelo de datos panel para obtener una regresión lineal en los últimos 13 años analizados, así como el análisis de dependencia y correlación de las variables.

Una vez obtenida la base de datos se recurrió a los modelos econométricos, por medio de los cuales se pueden estimar los parámetros de un modelo y probar hipótesis acerca de ellos. Los tipos de estructura de datos más comúnmente empleados en econometría aplicada son los datos de corte transversal, las series de tiempo, las combinaciones de cortes transversales y los datos panel (Wooldridge 2009).

Se tiene que un modelo econométrico, es una forma válida de plantear un conocimiento que ayuda a entender la realidad, proveyendo de una base explícita para la discusión (Armenta-Faire et al. 2001). El éxito de cualquier análisis econométrico depende en último término de la disponibilidad de información apropiada. Es muy importante dedicar algún tiempo a estudiar la naturaleza, las fuentes y las limitaciones de los datos que se pueden encontrar en el análisis empírico. Puede haber tres tipos de datos disponibles para el análisis empírico: series de tiempo, series de corte transversal e información combinada, esta última incluye series de tiempo en combinación con series de corte transversal (Gujarati 2010).

Por medio de un modelo, se exige una especificación más precisa de las variables que lo integran, así como una relación funcional definida y tienen, además, un carácter aleatorio. La elaboración de un modelo econométrico se da por varias etapas: a) especificación de las hipótesis establecidas con las que se intenta medir el fenómeno; b) estimación de sus parámetros, por medio de técnicas econométricas apropiadas; c) evaluación de los resultados, sobre la base de criterios económicos, estadísticos y econométricos, además de la valoración de su capacidad predictiva. Los datos utilizados para la estimación del modelo considerado pueden presentarse en forma de serie temporal, suministrando información acerca de los valores numéricos de las variables a lo largo del tiempo; de tipo transversales cuando se refieran a un conjunto de observaciones de una determinada variable, observada en distintas unidades y



Figura 1. Organismos de cuenca hidrológicas en México (CONAGUA 2010).

Figure 1. Hydrological basin organizations in Mexico (CONAGUA 2010).

una unidad temporal; o panel, si proporcionan información derivada de análisis repetidos de una muestra simple en diferentes periodos de tiempo (Díaz-Fernández y Llorente-Marrón 2007).

Cabe destacar la importancia en el análisis de series de tiempo, la cual incorpora información de variables y/o unidades individuales de estudios durante un periodo determinado de tiempo (dimensión temporal). Por tal motivo, se recurrió a la utilización de un modelo de datos panel que incluye una muestra de agentes económicos o de interés como los individuos, empresas, bancos, ciudades, países, entre otros, para un periodo determinado de tiempo, desde una dimensión temporal y estructural (Novales 2010).

El principal objetivo de aplicar y estudiar los datos panel, es capturar heterogeneidad no observable, ya sea entre agentes económicos o de estudio, así como también en el tiempo, dado que esta heterogeneidad no se puede detectar ni con estudios de series temporales ni tampoco con los de corte transversal. Este tipo de estudios, permite realizar un análisis más dinámico al incorporar la dimensión temporal de los datos, lo que enriquece el estudio, particularmente en periodos de grandes cambios. Los efectos temporales son aquellos que afectan por igual a todas las unidades individuales del estudio (Baronio y Vianco 2014).

Específicamente, un modelo de regresión puede explicar si existe una relación causal entre las variables dependientes y las independientes. El análisis de regresión trata el estudio de la dependencia de una variable (variable dependiente) respecto de una o más variables (variables independientes) con el objetivo de estimar o predecir la media o el valor promedio (Gujarati 2010).

En estadística y econometría, el término de datos de panel se refiere a datos que combinan una dimensión temporal con otra transversal. Un conjunto de datos que recoge observaciones de un fenómeno a lo largo del tiempo se conoce como serie temporal. Dichos conjuntos de datos están ordenados y la información relevante respecto al fenómeno estudiado es la que proporciona su evolución en el tiempo. Un conjunto transversal de datos contiene observaciones sobre múltiples fenómenos en un momento determinado. En este caso, el orden de las observaciones es irrelevante. El conjunto de datos de panel recoge observaciones sobre múltiples fenómenos a lo largo de determinados periodos. La dimensión temporal enriquece la estructura de los datos y es capaz de aportar información que no aparece en un único corte (Baronio y Vianco 2014).

Se utilizó un modelo de datos de panel en el cual se explica la relación entre las variables de producción Q (miles de ton) y volumen de agua utilizado W (millones de m^3) considerando un modelo de regresión lineal simple establecido en la siguiente función (Gujarati 2010):

$$Q = \alpha_{ij} + \beta_{ij} W + u_{it} \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde:

Q = producción agrícola (miles de ton) (variable dependiente)
 α_{ij} = influencia de otras variables sobre Q en cada uno de los 13 organismos de cuenca

β_{ij} = cambio porcentual (β) Q por cambios en W en el periodo 2003-2015

W = volumen de agua (miles de m^3) (variable independiente)

i = 13 (número de muestra)

j = 13 años (tiempo)

u_{it} = es el término del error

u_{it} se puede descomponer de la siguiente forma:

$$u_{it} = u_i + v_t + w_{it} \quad (\text{ecuación 2})$$

Donde:

u_i = representa los efectos no observables que difieren entre las unidades de estudio, pero no en el tiempo, que generalmente se asocia a la tecnología incorporada.

v_t = se le identifica con efectos no cuantificables que varían en el tiempo, pero no entre las

unidades de estudio

w_{it} = se refiere al término de error puramente aleatorio. i significa la i -ésima unidad transversal y t el tiempo (Gujarati 2010).

Un modelo de regresión común para el análisis de datos panel tiene la forma particular donde la variable dependiente y la variable independiente son coeficientes, además son los índices para los individuos y el tiempo y, finalmente, un error estimado. Las hipótesis establecidas sobre este último determinan que el modelo se considere de efectos fijos o aleatorios (Greene 2008).

En la ecuación 3, se hace referencia a la distribución de la media correspondiente a los 13 años analizados para obtener diferencias entre la cantidad de agua utilizada y la producción agrícola.

$$X = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N X_{ij} \quad (\text{ecuación 3})$$

Donde:

X = media

N = Número de muestra

X_{ij} = 13 organismos de cuenca con producción agrícola y volumen de agua

i = 13 (número de muestra)

j = 13 años (tiempo)

Para la estimación del modelo se utilizó el método de mínimos cuadrados para datos de panel. Además, de la información proporcionada en las estadísticas agrícolas de México para el periodo 2003-2015 (CONAGUA 2003-2015). Se generó un archivo con la información por medio de la paquetería estadística Excel, la cual fue de vital ayuda en el proceso de los datos.

Resultados

Producción a nivel nacional

Partiendo del valor agregado de la producción en el país se utilizó un modelo de datos de panel, en el cual se explica la relación entre las variables de producción Q (miles de ton) y volumen de agua utilizado W (miles de m^3). Estos datos se adecuan al análisis de panel, por el cual es un análisis transversal; al analizar los periodos de tiempo, se tiene una correlación positiva y alta influencia de las cuencas en la producción. Por consiguiente, la producción agrícola de riego depende de la disponibilidad de agua de cada OC.

Derivado del supuesto de que existe dependencia de la producción agrícola de riego con la disponibilidad de agua en México. Se utilizó la media armónica para obtener el promedio de los datos, la cual resulta poco influida por la existencia de determinados valores mucho más grandes que el conjunto de los otros, presentando cambios sensibles a valores mucho más pequeños que el conjunto, así mismo este valor se emplea para promediar variaciones con respecto al tiempo. Por ello, se pretende obtener mayor precisión con los datos, omitiendo la aplicación de la media aritmética, para evitar algún sesgo.

Se presentan los promedios de producción agrícola y consumo de agua para cada organismo de cuenca en el periodo de estudio. El organismo de cuenca correspondiente a Pacífico Norte es quien requirió mayor cantidad de recurso hídrico y obtuvo mayor producción; en cambio, el organismo de cuenca correspondiente a Pacífico Sur, requirió la menor cantidad de agua y la menor producción del país la registró Península de Yucatán. Por tanto, existe una relación proporcional directa, es decir, quien requirió una mayor can-

tividad de recurso hídrico, obtuvo mayor producción, considerando que existen una gran cantidad de productos de exportación, los cuales se incrementan en valor monetario. Por lo tanto, no se está siendo sostenible, en la cuestión de la utilización del recurso hídrico, siendo lo ideal, con poca cantidad de agua obtener una mayor producción (**Tabla 1**). Para Pacífico Norte es la región que obtuvo una mayor producción en México (caña de azúcar, jitomate, maíz grano, papa, sorgo y trigo), y con ello, requirió mayor volumen de agua, teniendo un comportamiento proporcional.

En el caso de Lerma-Santiago-Pacífico, rebasó las seis millones de toneladas de producción agrícola (aguacate, caña de azúcar, fresa, limón, mango, plátano, zarzamora, maíz grano), seguido de Golfo Norte (caña de azúcar, maíz grano y sorgo) con cuatro millones de toneladas; posteriormente, las Aguas del Valle de México (calabacita, maíz de grano y coliflor) también con cuatro millones de toneladas; después Balsas (arroz, chayote, fresa, guayaba, limón, maíz de grano, mango, pepino, plátano y toronja) rebasando los tres millones de toneladas; la región Noroeste (calabaza, chile verde, espárrago, jitomate, maíz grano, melón, papa, sandía, trigo y vino de mesa); con tres millones de toneladas de producción; al igual que la Península de Baja California (cebolla, espárragos, jitomate, lechuga, maíz de grano, naranja y papa); así como, Río Bravo con tres millones de toneladas (cebolla, chile verde, maíz de grano y sandía); para Golfo Centro con dos millones de toneladas (caña de azúcar y maíz elotero), seguido de las Cuencas Centrales del Norte (chile verde, melón y sandía) con más de un millón de tonelada, en cambio, Frontera Sur con un millón de tonelada (caña de azúcar, plátano y maíz grano), con menos de un millón de tonelada de producción se tiene a la Península de Yucatán (caña de azúcar, limón y naranja), finalmente, Pacífico Sur quien presenta la más baja producción (limón, maíz de grano, mango y papaya).

Comportamiento del uso del agua para riego

Particularmente, en el consumo del recurso hídrico, la región Pacífico Norte fue quien requirió el mayor volumen de agua para su producción, casi ocho millones de miles de metros cúbicos, seguido Noroeste y Lerma-Santiago-Pacífico con más de tres millones de m³ de agua para riego de producción agrícola, para la Península de Baja California, Balsas y Río Bravo con más de dos millones de m³, en Golfo Norte y Aguas del Valle de México con un millón de miles de m³ de agua para riego agrícola; las Cuencas Centrales del Norte, Golfo Centro, Pacífico Sur, Frontera Sur, y Península de Yucatán, por debajo de un millón de miles de m³. Por tanto, cada organismo de cuenca se comporta de manera diferente,

considerando la diversidad de los productos y disponibilidad de agua, además de las técnicas de riego, abono, semillas mejoradas, entre otros.

De acuerdo a la producción agrícola en el país, se tiene un comportamiento diferente en cada organismo de cuenca, siendo Noroeste, quien es la menos productiva, seguida de Pacífico Sur, Península de Baja California, Pacífico Norte, Río Bravo, Balsas, Cuencas Centrales del Norte; en cambio, Península de Yucatán la más productiva, seguida de Frontera Sur, Golfo Norte, Golfo Centro, Aguas del Valle de México y Lerma-Santiago-Pacífico, esto considerando la producción promedio de cada organismo de cuenca teniendo un m³ de agua disponible para regar sus diversos productos y considerando un uso homogéneo del recurso hídrico para todos los productos.

Para el caso de la disponibilidad del agua en cada organismo de cuenca, se tiene un comportamiento diverso, Noroeste es quien requiere mayor volumen de agua a nivel nacional, seguido de Península de Yucatán, Pacífico Norte, Río Bravo, Balsas, Pacífico Sur, y Cuencas Centrales del Norte; al contrario, de Península de Yucatán, que requirió el menor volumen de agua para obtener una tonelada de producción agrícola, seguido de Frontera Sur, Golfo Norte, Golfo Centro y Lerma-Santiago-Pacífico (**Tabla 1**).

La disponibilidad del agua y la producción agrícola de riego en el país es muy variada; en la parte norte se requiere mayor volumen hídrico debido a que la mayor producción se enfoca en vino de mesa, sandía, papa, maíz de grano y forrajero, caña de azúcar y trigo. Para la parte media del país, se obtiene mayor producción de aguacate, fresa, mango, zarzamora, limón, naranja, toronja, maíz de grano, calabacita y soya; finalmente, en la parte sur se produce papaya, maíz de grano, arroz, caña de azúcar y plátano.

Análisis econométrico y estadístico

El análisis de correlación se relaciona de manera estrecha con el de regresión, aunque conceptualmente los dos son muy diferentes. En el análisis de correlación, el objetivo principal es medir la fuerza o el grado de asociación lineal entre dos variables. El coeficiente de correlación mide esta fuerza de asociación lineal.

En cuanto a lo referente a la relación y dependencia de la producción agrícola de riego con la disponibilidad de agua, se utilizó un modelo con datos de panel, el cual es uno de los más confiables, y consideran datos de series de tiempo, con 13 observaciones como bien lo señala [Gujarati \(2010\)](#), presenta algunas ventajas respecto a los modelos transversales o de series temporales, porque

Tabla 1. Promedio de la producción y el volumen de agua utilizado (2003-2015). Fuente: Elaboración propia.

Table 1. Average production and volume of water used (2003-2015). Source: Own elaboration

Organismo de cuenca	Q (toneladas por ciclo)	W (miles de m ³)	W/Q (m ³ /ton)	Q/W (ton/m ³)
Península de Yucatán	549 200	78 249.81	142.48	7.02
Frontera Sur	1 403 440	337 878.99	240.75	4.15
Golfo Norte	4 568 850	1 230 160.70	269.25	3.71
Golfo Centro	2 236 970	675 865.46	302.13	3.31
Aguas del Valle de México	4 182 500	1 363 563.06	326.02	3.07
Lerma-Santiago-Pacífico	6 691 260	3 234 767.34	483.43	2.07
Cuencas Centrales del Norte	1 520 970	867 865.82	570.60	1.75
Balsas	3 577 350	2 451 469.72	685.28	1.46
Río Bravo	3 037 750	2 491 454.45	820.16	1.22
Pacífico Norte	9 593 340	7 998 098.08	833.71	1.20
Península de Baja California	3 060 770	2 656 951.86	868.07	1.15
Pacífico Sur	520 520	561 248.24	1 078.24	0.93
Noroeste	3 290 570	3 709 289.58	1 127.24	0.89

en él no existe límite para la heterogeneidad de los datos, proporciona una mayor cantidad de datos informativos, resulta más adecuado para estudiar la dinámica del cambio, puede detectar y medir algunos efectos, permite estudiar modelos de comportamiento más complejos y minimiza el sesgo resultante de una agregación total de datos. Además, existen muchas ventajas de utilizar datos de panel, entre ellas, al combinar las series de tiempo de las observaciones de corte transversal, los datos de panel proporcionan una mayor cantidad de datos informativos, más variabilidad, menos colinealidad entre variables, y una mayor eficiencia. Al estudiar las observaciones en unidades de corte transversal repetidas, los datos de panel resultan más adecuados para estudiar la dinámica del cambio. Los datos de panel detectan y miden mejor los efectos que sencillamente ni siquiera se observan en datos puramente de corte transversal o de series de tiempo, además, reducen el sesgo.

Para obtener más precisión de estos efectos no observables, se considera pertinente emplear la incorporación información de los tipos de suelo, la cantidad necesaria de irradiación de los diversos productos, mejoramiento de las semillas, cantidad de agua requerida para el mejor desarrollo, el tiempo de crecimiento de la plántula, así como, la utilización de los sistemas de información geográfica (SIG), específicamente aquellos especializados en suelos, agua, climáticos. Detectando suelos fértiles, disponibilidad de recurso hídrico superficiales y/o subterráneos en condiciones aprovechables para usos agrícolas; el impacto del cambio climático para detectar sequías, precipitaciones, huracanes, entre otros. También, la aplicación de tecnificación apropiada para riego eficiente, esto para proporcionar solamente la cantidad necesaria de agua para el crecimiento y desarrollo de los diversos productos agrícolas.

Los resultados encontrados en el modelo fueron con un nivel de confianza del 95%, este valor explica como la Q (variable dependiente) depende en un 95% de la W (variable independiente) y, una R^2 ajustada de 0.94, demuestran que el agua explica la pro-

ducción agrícola de riego en un 94%. El modelo -de acuerdo con el estadístico Durbin Watson (DW) -no está autocorrelacionado-, por tanto, este valor nos dice que no existe autocorrelación entre las variables, el modelo es confiable; siendo un valor válido (1.6), en el modelo. Cabe señalar, que este consta de un rango de 1.5 a 2.0 (Tabla 2). De acuerdo, con la razón de t, todos los coeficientes estimados fueron significativos y muestran congruencia con la producción obtenida de cada organismo de cuenca; por tanto, se puede afirmar que los factores que componen la ecuación son determinantes en la producción agrícola de riego. Además, se obtiene un valor de cero en la probabilidad, por consiguiente, es un modelo altamente confiable, mientras el valor este más cercano a cero, la probabilidad de sesgo disminuye.

La producción agrícola tiene un cambio porcentual importante ante modificaciones en el uso del agua, es decir, ante variaciones en la cantidad de agua utilizada; la producción agrícola de riego cambiará de forma variada, -uso de más agua, no necesariamente se tendrá mayor producción, menos agua utilizada no podrá arrojar mayor producción agrícola-, la cantidad utilizada de recurso hídrico en cada OC responde de manera diversa en la producción agrícola de riego que va de un rango de 47% a 60%. Siendo Golfo Norte quien obtuvo 60% de producción agrícola por cada unidad de agua que se le proporcionó; en seguida, se tiene a las Aguas del Valle de México (59%), Lerma-Santiago-Pacífico con un 58%, posteriormente Pacífico Norte y Golfo Centro con un 57% de producción, seguido de Frontera Sur (56%), con 55% para Balsas y Península de Yucatán; Río Bravo (54%), Noroeste y Cuencas Centrales del Norte (53%), y finalmente, con 47% para Pacífico Sur (Tabla 3).

Las diferencias son independientes en cada uno de los OC como se observa en el estadístico-t, el cual indica la distribución de probabilidad que surge de estimar la media de un conjunto de datos, en los datos se aprecia que cada uno de ellos utilizan cantidades diversas con respecto al recurso hídrico, por ende, diferentes

Tabla 2. Resultados generales del modelo de regresión (2003-2015). Fuente: Elaboración propia con datos de salida de Eviews.

Table 2. General results of the regression model (2003-2015). Source: self-processing with Eviews output data.

R-cuadrada	0.95
R-cuadrada ajustada	0.94
Durbin-Watson	1.6

Tabla 3. Resultados específicos del modelo de regresión (2003-2015). Fuente: Elaboración propia con datos de salida de Eviews.

Table 3. Specific results of the regression model (2003-2015). Source: self-processing with Eviews output data.

Organismo de cuenca	Variable	Coefficiente	Estadístico-t	Probabilidad
Península de Baja California	LOG(AGUA1)	0.54	147	0.0000
Noroeste	LOG(AGUA2)	0.53	148	0.0000
Pacífico Norte	LOG(AGUA3)	0.57	168	0.0000
Balsas	LOG(AGUA4)	0.55	150	0.0000
Pacífico Sur	LOG(AGUA5)	0.47	115	0.0000
Río Bravo	LOG(AGUA6)	0.54	147	0.0000
Cuencas Centrales del Norte	LOG(AGUA7)	0.53	134	0.0000
Lerma-Santiago-Pacífico	LOG(AGUA8)	0.58	162	0.0000
Golfo Norte	LOG(AGUA9)	0.60	155	0.0000
Golfo Centro	LOG(AGUA10)	0.57	141	0.0000
Frontera Sur	LOG(AGUA11)	0.56	133	0.0000
Península de Yucatán	LOG(AGUA12)	0.55	115	0.0000
Aguas del Valle de México	LOG(AGUA13)	0.59	153	0.0000

producciones agrícolas. Por ende, la parte no explicada por el uso del agua se debe a factores no considerados en el modelo, como la calidad de los suelos, los fertilizantes utilizados, y las técnicas empleadas en cada organismo de cuenca, la producción agrícola de riego en cada organismo de cuenca, se comporta de forma variada, entre otros.

El análisis abarca 13 años consecutivos (2003-2015); las variables son la producción agrícola correspondiente a cada uno de los 13 OC en el territorio mexicano, y el volumen de agua requerido para la dicha producción de riego. Cabe señalar, que los datos utilizados en el modelo son datos agregados de toda la producción agrícola, indistintamente del producto, así mismo que todos los productos requieren la misma cantidad de agua para su producción, considerando si es maíz de consumo interno o aguacate, para exportación.

Se observa que en los 13 organismos de cuenca es poca la producción para el volumen de agua que utilizan para dicha producción. Primeramente, se tiene a Pacífico Norte quien consumió alrededor de los ocho millones de m³ de agua; seguido de Noroeste con casi cuatro millones de m³; posteriormente, esta Lerma-Santiago-Pacífico, alrededor de los 3.5 millones de m³; en el caso de Balsas, Península de Baja California y Río Bravo con cerca de los tres millones; finalmente, Aguas del Valle de México y Golfo Norte con un millón de miles de m³; y Pacífico Sur, Cuencas Centrales del Norte, Frontera Sur y Península de Yucatán, por debajo de un millón de miles de m³ de consumo de recurso hídrico. De manera detallada, se tiene que el país se comporta de forma muy diversa, además cabe resaltar que no se tiene un uso sustentable, siendo lo ideal, una mayor producción con poco recurso hídrico (Fig. 2).

Discusión

Producción agrícola de riego en México

De acuerdo con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), organismo encargado de recabar información y realizar investigación con base al uso y disponibilidad del agua en México para sus diversos usos. Particularmente, en la agricultura se utiliza

83% del consumo total de agua en el país, y se pierde entre 30% y 50% del recurso por bajas eficiencias de conducción y por falta de incorporación de tecnología de riego por parte de los productores; de aquí se desprende la necesidad de establecer un mecanismo de adopción de tecnología que permita realizar un manejo adecuado del agua (Ortiz 1997). El riego tiene primordial importancia en el sistema productivo y alimentario de México, ya que aproximadamente 66% del territorio se caracteriza por pertenecer a zonas áridas y semiáridas (CONAGUA 2009).

En México alrededor del 80% del recurso hídrico superficial se destina a la agricultura (CONAGUA 2018). La producción agrícola de riego depende en esencia de la disponibilidad del recurso hídrico. A pesar de esto, y de que cada vez se pone mayor énfasis en la utilización de los mecanismos económicos para racionalizar la demanda de agua, existen bastantes estudios de regresión enfocados en la estimación de la función de demanda de agua para uso agrícola y la respuesta de ésta ante las modificaciones de los precios. (Cruz-Gutiérrez et al. 2015).

Utilización de modelos econométricos

En México existen estudios previos al análisis del consumo de agua para los cultivos. Una vez determinado el tipo de cultivo se puede pronosticar el requerimiento de riego ponderado para controlar el consumo de agua por cultivo. De esta manera, se realiza un estudio en México, en el cual se observa que el porcentaje para los organismos de cuenca que no cambiaron de sistema de riego fue de 78.6%, y de 21.4% para aquellos que sí lo hicieron. De los agricultores que cultivaron más de una vez fue de 12.5%, y 87.5% para quienes sólo tuvieron primeros cultivos. Además, se comprobó que la mayoría de los productores que adoptaron tecnología de riego se encuentran en la Península de Baja California, Pacífico Norte, Río Bravo y Golfo Norte. Con probabilidades de adopción de alta de tecnología se encuentran las Cuencas Centrales del Norte y Golfo Centro. Esto debido a que estas regiones constan de poca disponibilidad de agua. Por tanto, las regiones con menor disponibilidad media de agua, son las más propensas a un cambio tecnológico para ser más eficientes en sus sistemas de riego (Vichi 2013).

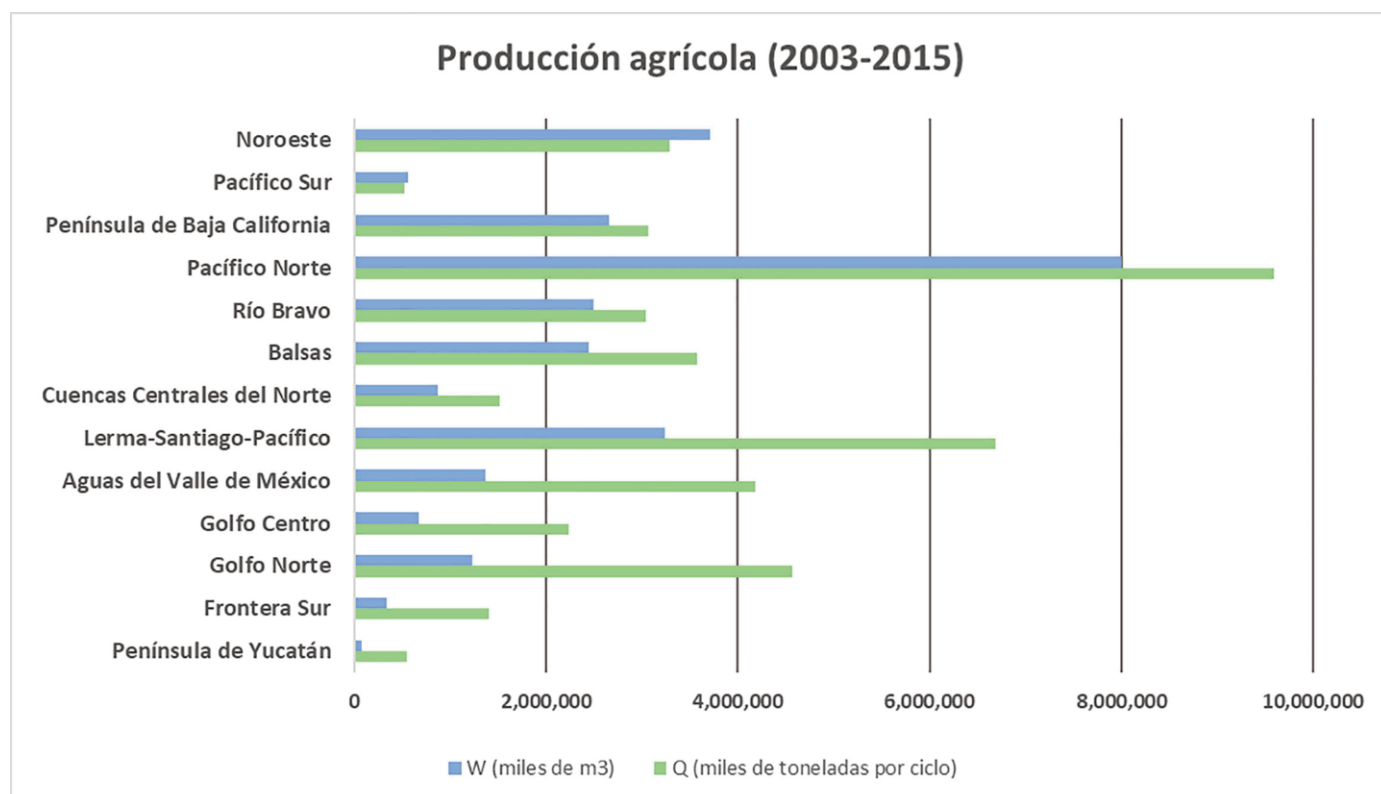


Figura 2. Producción agrícola del periodo 2003-2015 en México.
Figure 2. Agricultural production for the period 2003-2015 in Mexico.

En la región de San Martín, Perú se estableció un modelo econométrico lineal permitiendo comparar la relación existente entre la disponibilidad del recurso hídrico con la productividad agrícola, el suministro energético y el crecimiento económico de dicha región durante un periodo de nueve años consecutivos (2006-2015). Dicho análisis se realizó aplicando el método de mínimos cuadrados ordinarios. La regresión realizada muestra que existe un coeficiente de determinación igual al 97%, mostrando que el crecimiento económico es explicado por la disponibilidad del recurso hídrico, productividad agrícola y el suministro energético, existiendo además una relación fuerte entre dichas variables, pues se logra determinar un coeficiente de correlación del 0.98 entre crecimiento económico y las demás variables (Pérez-Grández y Del Aguila 2019).

La utilización del agua de riego se sugiere sea con eficiencia para optimizar su aprovechamiento. Para ello, se tienen sistemas de riego muy sistematizados y utilizados, como: por riego parcial, en el cual se aplica una aportación inferior de agua para riego a la referenciada por el tipo de cultivo; por goteo, es la aplicación de riegos frecuentes y ligeros; riego por aspersión, uso de sistemas fijos o autopropulsados. Esto con la finalidad del ahorro de agua para el riego en la producción agrícola, de esta manera se evita el despilfarro del agua utilizada por los riegos, reducir el consumo del recurso hídrico y optimizar la producción (Losada 1994).

Alcalá y Sancho (2002) realizaron un análisis econométrico con mínimos cuadrados ordinarios (MCO) de agua y producción agrícola en Murcia, España (1976-1998), 22 años de estudio, arrojando información detallada si el recurso hídrico se reduce, con ello también la producción agrícola, afectando en gran medida a los cultivos que requieren mayor cantidad de agua, por tanto, sugieren a la administración encargada del suministro del agua en el área, tiendan a la eficiencia del consumo del agua requerida para riego en la producción agrícola. Por lo tanto, es primordial atender la cantidad de agua que requieren los diversos cultivos para obtener producción agrícola de riego no solo en México sino en otros sitios. Además, de aplicar sistemas de riego eficientes sobre todo en zonas con poca disponibilidad de agua, así mismo, estudios previos de tipos de suelos y clima para conocer la variabilidad de las temperaturas y precipitaciones.

Cabe señalar, que estos modelos son de gran utilidad, sin embargo, es necesario realizar estudios más minuciosos de la producción de alimentos considerando parámetros como: tipo de cultivo, evapotranspiración de cada cultivo, factor climático, porcentaje de horas luz de la zona de cultivo, periodo de crecimiento, latitud de la región, cantidad de humedad, el tipo de suelo y la cantidad de recurso hídrico para su riego. Esto con la finalidad de obtener un panorama más preciso de las condiciones regiones y de cada cultivo para su óptimo desarrollo y producción (Fernández et al 2009).

Utilidad de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

En los 90's los SIG proporcionan una herramienta esencial para las ciencias ambientales y climáticas. De esta manera, uno de los tantos propósitos que se deben considerar por el cambio climático es la planificación de las actividades productivas, por tanto, la cuestión ambiental es primordial en la toma de decisiones al enfrentar problemas drásticos desde una perspectiva global. Ante ello, se tuvieron investigaciones enfocadas en la evaluación de suelos para ser más productivos considerando la información geográfica y condiciones regionales (GIS 1996).

De esta manera, los sistemas de información geográfica (SIG) son herramientas de gran utilidad en las tareas de análisis, gestión y planificación que están estrechamente vinculados a la cuantificación de procesos que operan en el territorio y afectan al medio ambiente (Conesa y Martínez 2004).

Además, los SIG permite medir con precisión cada vez mayor las superficies regadas y los tipos de cultivos, con ello se observan, así como cuantifican los usos del suelo y sus cambios. También, son de fácil manejo y monitoreo sobre los datos de las captaciones de agua existentes en cualquier zona y sobre los regadíos (Llamas 2006).

Como bien lo comenta De la Rosa (1997) se tiene un sistema de evaluación de suelos incluye una serie de componentes integrados para desarrollar tareas de inventario, evaluación y planificación del territorio el sistema MicroLEIS: Microcomputer-based Land Evaluation Information System 4.1., enfocado al uso agrícola.

Por ende, los SIG pueden modelar datos espaciales, una técnica estadística usada para la estimación, predicción y simulación de datos correlacionados espacialmente, estas herramientas son de gran utilidad en varias disciplinas como la producción agrícola y disponibilidad del recurso hídrico tanto a nivel mundial y/o regional.

Gobernanza y gestión hídrica

Desde el siglo pasado, se ha tenido la preocupación por almacenar recurso hídrico para producir alimentos. Llamas (2005) comenta que la gestión de los regadíos no pudo ser realizada individualmente. Se requirió un esfuerzo colectivo, que a su vez condujo a una sociedad estructurada que comenzó a vivir agrupada en núcleos urbanos. La tradición de trabajo colectivo para la construcción y operación de infraestructuras hidráulicas se han mantenido hasta nuestros días, construidas en su casi totalidad en los últimos cien años, han sido acciones colectivas, financiadas y controladas por organismos gubernamentales.

Esto encaminado a evitar el padecimiento de escasez de recurso hídrico para los diversos usos. Se admite que la escasez hídrica no se debe normalmente a la escasez física de agua sino a su inadecuada gestión, corrupción, falta de instituciones, inercia burocrática e insuficientes inversiones. Este problema, afecta de parecida manera tanto a los países ricos industrializados como a los países pobres, pero los pobres son los que más sufren. Particularmente, en España la gestión del agua es, en general, muy deficiente, como lo comentan Aldaya et al. (2008) es importante pasar del viejo paradigma "more crops and jobs per drop", que ha seguido el plan español de modernización del regadío, al nuevo paradigma "more cash and nature per drop". Donde cerca del 95% del agua utilizada en los regadíos sólo se produce el 60 % del valor económico de todo el regadío. Y además el regadío es una causa muy importante de la degradación de nuestros ecosistemas.

Por su parte Chapagain y Hoekstra (2004) publicaron un informe detallado en el que calculaban la huella hidrológica de todos los países del mundo. En este informe se contabiliza tanto el agua azul como el agua verde, aunque sin llegar a distinguirlas. Estos autores estiman que la huella hidrológica global es de 7450 km³/año, equivalente a 1240 m³/per cápita y año. La mayor parte se debe a los alimentos y otros productos agrícolas. Del total de agua consumida por los países, el 16% se destina al comercio internacional. Los productos que más contribuyen a la huella hidrológica externa son: carne bovina, soja, trigo, cacao, arroz, algodón y maíz.

La gestión de los recursos hídricos es proclive a conflictos en los países áridos o semiáridos, en el caso de España, por lo que se garantiza un uso sostenible es una tarea que presenta serias dificultades. La mayoría de expertos admiten que estos conflictos hídricos no se deben normalmente a la escasez física del agua (Llamas 2005) y que es necesario realizar inversiones a nivel institucional y a nivel de conocimiento y capacidad humana para lograr una mejor gestión del agua (Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture 2007).

Conclusiones

La aproximación del presente estudio es analizar la cantidad de recurso hídrico utilizado para obtener producción agrícola de riego a través de un modelo econométrico, siendo este de utilidad para tener un monitoreo en zonas con poco recurso hídrico para ser más sostenibles. Además, los resultados encontrados sobre la producción agrícola de riego en el territorio mexicano fueron diferentes en cada OC, se hace hincapié en considerar la importancia de adquirir sistemas de riego eficientes sobre todo en la parte norte de México, debido a su ubicación se debe poner mayor atención por requerir mayor cantidad de recurso hídrico para la obtención de producción agrícola.

Específicamente Pacífico Norte, requirió la mayor cantidad de recurso hídrico, y quien ha obtenido más producción agrícola de riego; en el caso contrario, Pacífico Sur registró la menor producción. Con este tipo de análisis se puede establecer un observatorio del comportamiento del uso del agua en el sector agrícola, priorizando los mecanismos que permitan evaluar la capacidad de México para asegurar el recurso hídrico para la producción agrícola, a fin de garantizar que el campo mexicano pueda estabilizar la producción de alimentos necesarios para sus actividades económicas y sociales en el contexto mexicano. Siendo el sector agrícola quien demanda una cantidad de agua relevante en comparación con otras actividades económicas, es necesario generar inversión pública y privada en el desarrollo de infraestructura y tecnología que permita el riego eficiente, y por ende un mejor aprovechamiento y aseguramiento de la disponibilidad del agua para la productividad de diversos alimentos.

Cabe señalar, la importancia tener un adecuado conocimiento de las condiciones y requerimientos necesarios para obtener alimentos de mayor calidad cubriendo su óptimo desarrollo, además de implementar los SIG en el sector agrícola, considerando la diversidad de climas, suelo y disponibilidad de recurso hídrico; así como, contemplar una gobernanza con una adecuada gestión del agua, sobre todo en las zonas áridas y semiáridas, esto con la finalidad de obtener productos de calidad y sustentables.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento para: (i) el Doctorado en Ciencias en Desarrollo Sustentable de la Mtra. Andrade Servín, y (ii) CONAGUA por el acceso a la información para construir la base de datos de la investigación.

Referencias

- Alcalá Aguilló, F., Sancho Portero, I. 2002. *Agua y producción agrícola: un análisis econométrico del caso de Murcia España*.
- Aldaya, M.M., Llamas, R., Garrido, A., Varela, C. 2008. *Importancia del conocimiento de la huella hidrológica par la política española del agua*. Encuentros multidisciplinares.
- Armenta-Faire, L., De la Cruz-Gallegos, J.L., Lagunes-Toledo, L.A. 2001. *Modelo de Análisis y Prospectiva Económica Aplicada MAPEA*. Trillas. Ciudad de México. México.
- Baronio, A., Vianco, A. 2014. *Datos de panel: Guía para el uso de Eviews*. Departamento de Matemática y Estadística de la Facultad de Ciencias Económicas de la UNRC, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- CEDRSSA 2017. *Las exportaciones agrícolas de México*. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria, Ciudad de México, México. Disponible en: www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/67Exportaciones.pdf
- Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. 2004. *Water footprints of nations. Value of Water Research Series No. 16*. UNESCO-IHE, Delft, Países Bajos.
- Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture 2007. *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Earthscan. London, Reino Unido.
- CONAGUA 2003. *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- CONAGUA 2004. *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- CONAGUA 2005. *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- CONAGUA 2006. *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- CONAGUA 2007. *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- CONAGUA 2008. *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- CONAGUA 2009. *Estadísticas del agua en México*. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/259343/_2009__Atlas_del_Agua_en_M_xico_2009.compressed.pdf
- CONAGUA 2010. *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- CONAGUA 2011. *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- CONAGUA 2012. *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- CONAGUA 2013. *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- CONAGUA 2014. *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- CONAGUA 2015. *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- CONAGUA 2017. *Estadísticas del agua en México*. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM-2017.pdf>
- CONAGUA 2018. *Estadísticas del agua en México*. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM2018.pdf>
- Conesa García, C., Martínez Guevara, J.B. 2004. *Territorio y medio ambiente: métodos cuantitativos y técnicas de información geográfica*. Universidad de Murcia. España.
- Cruz-Gutiérrez, F., Magaña-Zamora, J.D., Hernández-Gen, J. 2015. *Metodología para estimar el uso eficiente del agua en actividades agrícolas*. IMTA. México.
- De la Rosa, D. 1997. Los sistemas de evaluación de suelos en la planificación del territorio. *Edafología*. Vol. 3 - 0. Edición especial 50 aniversario de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo 1947-1997, pp. 125-142. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/revista/tomo3a/ponencia-Diego.pdf>
- Díaz-Fernández, M., Llorente-Marrón, M. 2007. *Econometría*. Ediciones Pirámide. Madrid, España.
- FAO 1996. *Necesidades de alimentos y crecimiento de la población en Cumbre Mundial sobre la Alimentación*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Roma, Italia. Disponible en: www.fao.org/3/X2051s/X2051s00.htm#P99_7093
- Fernández, D., Martínez, M., Tavarez, C., Castillo, R., Salas, R. 2009. *Estimación de las demandas de consumo de agua*. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación, SAGARPA, 33. Cajeme, México.
- Greene, W.H. 2008. The econometric approach to efficiency analysis. *The measurement of productive efficiency and productivity growth* 1(1), 92-250.
- Gujarati, D. 2010. *Econometría, 5ª ed.* McGraw Hill Interamericana, Ciudad de México, México.
- INEGI 2007. *Suelos de México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Ciudad de México, México. Disponible en: www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/

- INEGI 2016. *Climas de México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Ciudad de México, México. Disponible en: www.inegi.org.mx/temas/climatologia/
- INEGI 2018. *Información general de los Estados Unidos Mexicanos*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Ciudad de México, México. Disponible en: www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=00.
- Llamas, M.R. 2005. *Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos*. Discurso Inaugural del Curso 2005/2006. Real Academia de Ciencias Exactas, Madrid, España, 30.
- Llamas, M.R. 2006. La contribución de los avances científicos a la solución de las crisis del agua. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 100(1): 175-186.
- Losada Villasante, A. 1994. Eficiencia técnica en la utilización del agua de riego. *Revista de Estudios Agro-Sociales* 167, 131-154
- Novales, A. 2010. *Análisis de regresión*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España. Disponible en: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-Analisis%20de%20Regresion.pdf>
- Ortiz, G. 1997. *La política del agua en México en el marco del desarrollo sustentable, en Ingeniería Hidráulica en México*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Ciudad de México, México.
- Pérez Grández, G.O., Del Aguila Isuiza, S.R. 2019. *Región San Martín: tri-logía (AAE) agua, agricultura, energía y crecimiento económico*. UNSM. Tarapoto. Perú.
- SEMARNAT 2015. *Programa Nacional Hídrico 2014-2018 en Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programa-nacional-hidrico-pnh-2014-2018>
- Turrent-Fernández, A., Cortés-Flores, J.I. 2005. Ciencia y tecnología en la agricultura mexicana: I. Producción y sostenibilidad. *Terra Latinoamericana* 23(2): 265-272.
- Vichi, F. 2013. Adopción de tecnología de riego para el uso sustentable del recurso hídrico en México. *Trayectorias* 15(36): 65-82.
- Wooldridge, J.M. 2009. *Introducción a la econometría: un enfoque moderno*, 4ª ed. Cengage Learning Editores. Ciudad de México. México.