DOI: 10.24850/j-tyca-2026-06-09

Artículos

Valor económico del agua en la producción de fresa en Michoacán, México: un análisis longitudinal y espacial

Economic value of water in strawberry production in Michoacán, Mexico: A longitudinal and spatial analysis

Faustino Gómez-Santiz[1], ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9441-2713

Patricia Ávila-García[2], ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4268-8777

[1]Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Morelia, México, fgomez@cieco.unam.mx

[2]Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Morelia, México, pavila@cieco.unam.mx

Autor para correspondencia: Faustino Gómez-Santiz, fgomez@cieco.unam.mx

Resumen

Este estudio estima el valor económico del agua (VEA) en la producción de fresa en Michoacán entre 2003 y 2024. Para ello se aplicó el método

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

del valor residual, que permite calcular el precio sombra del agua a partir de los datos de producción y de costos. El análisis incluyó estadísticos espaciales globales y locales (I de Moran y LISA), además de la revisión de trayectorias municipales para observar cambios de largo plazo. Los resultados muestran una heterogeneidad clara en la productividad hídrica entre municipios, vinculada sobre todo con el nivel tecnológico y la orientación hacia los mercados. En las regiones exportadoras, como Zamora y Tangancícuaro, los valores del VEA se mantuvieron altos; en contraste, en municipios como Maravatío y Zitácuaro persistieron valores negativos. El análisis espacial identificó clústeres alto-alto en zonas de agroexportación intensiva y bajo-bajo en territorios con desventajas estructurales. En conjunto, los hallazgos indican que el VEA no depende solo de los requerimientos hídricos, sino también de la interacción entre tecnología, orientación productiva y marcos institucionales. Por ello se requieren revisar los esquemas de subsidios y avanzar hacia políticas de gobernanza hídrica que impulsen la adopción tecnológica y aseguren un uso más eficiente y sostenible del agua en las regiones agroexportadoras.

Palabras clave: gestión de los recursos hídricos, economía agrícola, fruta, consumo de agua, precio, análisis estadístico, Michoacán, México.

Abstract

This study estimates the economic value of water (EVW) in strawberry production in Michoacán, Mexico, from 2003 to 2024. The residual value method was used to calculate the shadow price of water based on production and cost data. To examine spatial patterns, both global and local statistics (Moran's I and LISA) were applied, and municipal trajectories were analyzed to track long-term changes. The results reveal

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

clear differences in water productivity across municipalities, largely tied to technological factors and market orientation. Export-oriented areas such as Zamora and Tangancícuaro consistently showed high EVW, while municipalities like Maravatío and Zitácuaro registered persistently negative values. Spatial analysis identified high-high clusters in intensive agro-export zones and low-low clusters in regions with structural disadvantages. Taken together, the findings show that EVW is shaped not only by hydrological requirements but also by the interplay of technology, market orientation, and institutional frameworks. These results highlight the need to revise subsidy schemes and to advance water governance policies that encourage technological adoption and promote a more efficient and sustainable use of water in agro-exporting regions.

Keywords: water resources management, agricultural economics, fruit, water consumption, prices, statistical analysis, Michoacán, Mexico.

Recibido: 13/10/2025

Aceptado: 16/03/2026

Publicado *ahead of print*: 09/04/2026

Versión final: 01/11/2026

Introducción

El agua es un recurso estratégico para el desarrollo económico y social, sobre todo en regiones donde la demanda supera a la disponibilidad natural. Su escasez obliga a verla no solo como un bien público, sino también como un bien económico que debe asignarse de manera eficiente entre usos en competencia (Solís, 2005; Escobar-Jaramillo & Gómez-

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Olaya, 2007), sin que lo anterior implique afectación al derecho humano al agua (Valdés-de-Hoyos & Uribe-Arzate, 2016).

En teoría económica, los bienes se clasifican según dos criterios: exclusión (la posibilidad de impedir que otros los usen) y rivalidad (si el consumo de uno reduce la disponibilidad para otros). Los bienes privados son excluibles y rivales; los bienes públicos puros carecen de ambas características (Gómez-Santiz & Guerrero-Rojas-García, 2014). Desde la economía ambiental, el agua suele aproximarse a la categoría de bien público por su dificultad práctica de exclusión. Sin embargo, esta caracterización no es precisa. El agua para uso agrícola sí es rival, pues el volumen extraído deja de estar disponible para otros usuarios. Por ello, desde el enfoque neoinstitucional, Ostrom (2003) la clasifica como recurso de uso común, es decir, es rival en su consumo, pero con exclusión costosa o institucionalmente débil debido a derechos de usufructo asignados.

Esta distinción no es homogénea a lo largo del sistema de riego. El agua almacenada en presas o conducida por canales de distribución se aproxima al recurso de uso común, donde múltiples usuarios comparten el flujo y la exclusión es difícil de aplicar. En cambio, una vez extraída del pozo o conducida hasta el punto de uso agrícola, el agua adquiere un carácter más cercano al bien privado, pues ese volumen deja de estar disponible para cualquier otro usuario, especialmente cuando se almacena en bordos o reservorios (Reyes-Martínez & Castro-Ramírez, 2023).

Por eso, la valoración económica del agua es una herramienta para diseñar instrumentos de gestión capaces de equilibrar productividad agrícola, sostenibilidad ambiental y derechos sociales (Krutilla, 1967; Riera *et al*., 2005).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

En México, la agricultura consume alrededor del 75 % del agua disponible (Conagua, 2022). Dentro de este sector, la fresa ocupa un lugar central: es un cultivo de alto valor que ha transformado los paisajes rurales al insertarse en cadenas agroexportadoras. Su expansión ha traído beneficios económicos, reflejados en su contribución al producto interno bruto, pero también ha generado impactos socioambientales en acuíferos sobreexplotados. En estos contextos, los subsidios al agua y a la electricidad reducen de forma artificial los costos de producción (Aboites, 2021; Liverman & Vilas, 2006).

Michoacán se ha consolidado como la principal región productora de fresa en el país debido a sus condiciones agroclimáticas y a un proceso de tecnificación y consolidación en el Valle de Zamora. Ahí, temperaturas medias de 16 a 22 °C, un clima semicálido subhúmedo y lluvias de verano han favorecido el desarrollo intensivo del cultivo, aunque al mismo tiempo han exacerbado las presiones sobre la disponibilidad hídrica.

La literatura especializada señala que este sistema productivo demanda en promedio unos 7 300 m³ de agua por hectárea y por ciclo (Tabla 2).

Ante este panorama, el objetivo del estudio es estimar el valor económico del agua (VEA) en la producción de fresa, a fin de aportar un insumo técnico para la formulación de políticas públicas y estrategias de gestión hídrica. En particular, se estima el VEA en Michoacán durante 2003-2023 a escala estatal y municipal, aplicando el Método del Valor Residual (MVR). El análisis también incluye la distribución espacial del VEA en los municipios, y una evaluación de sensibilidad frente a variaciones en los requerimientos hídricos y en los costos de producción.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Revisión de literatura

La producción de fresa ha crecido de manera notable en las últimas décadas, impulsada por la demanda internacional y la alta rentabilidad del cultivo en las cadenas agroexportadoras (Hodgdon *et al*., 2024). En 2023 se cultivaron 435 mil hectáreas a nivel mundial, aunque concentradas en pocos países (FAO, 2025). China aportó más de un tercio de la superficie, seguida por Rusia y Polonia, mientras que EUA, Turquía, Egipto y México —con 3.5 % de la superficie global— completaron el grupo principal. El patrón de producción fue similar: China encabezó con casi 29 % del volumen mundial, acompañada por EUA, Egipto y Turquía. México se ubicó en quinto lugar con 641 mil toneladas, equivalentes al 4.4 % del total. En cuanto a rendimientos, destacaron los sistemas tecnificados: Países Bajos, con 56 t/ha; EUA, con 54 t/ha; Israel, con 49 t/ha, y España con 45 t/ha, seguidos de cerca por México con 42 t/ha (Figura 1).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

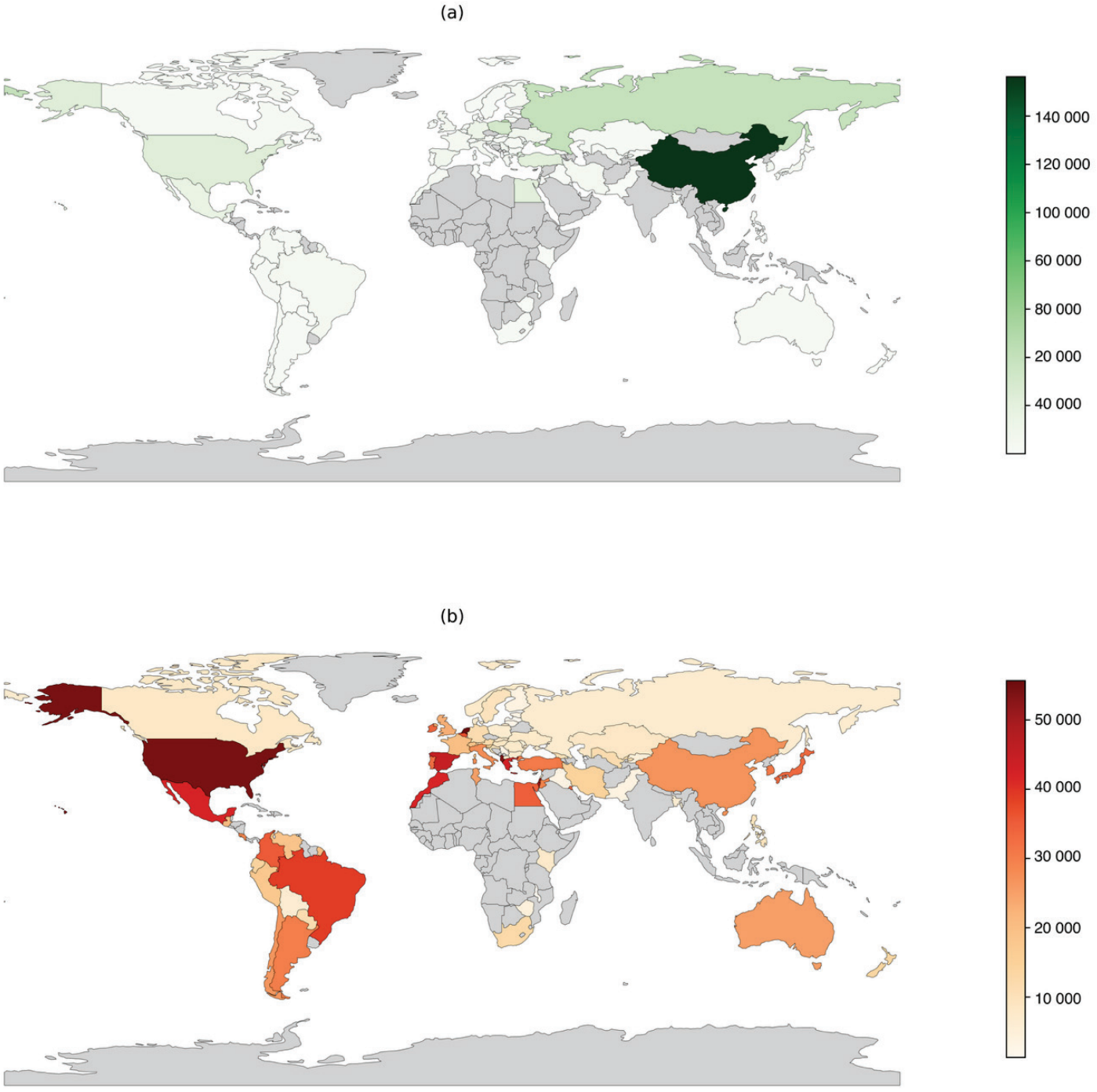


Figura 1. Producción de fresa por país: a) superficie cultivada, b) rendimiento (ton/ha). Fuente: elaboración propia con datos de FAO (2025).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El cultivo de fresa requiere condiciones climáticas específicas que determinan tanto la productividad como la calidad del fruto. Se desarrolla mejor en climas templados, con temperaturas entre 15 y 25 °C durante la mayor parte del ciclo. El crecimiento vegetativo se favorece entre 18 y 25 °C, mientras que la fructificación y maduración requieren medias de 15 a 20 °C. Es un cultivo sensible a extremos térmicos que reducen floración y tamaño de los frutos. Aunque las partes vegetativas soportan heladas de hasta –20 °C, los órganos florales son vulnerables a valores cercanos a 0 °C, lo que explica el uso de macrotúneles e invernaderos en zonas con riesgo de heladas (Kulikov *et al*., 2020). La planta también es exigente en humedad: necesita entre 1 000 y 2 000 mm de precipitación anual, y una humedad relativa ideal de 60 a 75 %, pero se vuelve susceptible a enfermedades fúngicas en ambientes excesivamente húmedos (Galafton *et al*., 2023).

La producción se concentra en regiones con condiciones agroclimáticas favorables, y un uso intensivo de tecnologías de riego y agricultura protegida. Destacan California en EUA; Shandong y Liaoning en China; Huelva en España, y Michoacán en México. Los datos confirman la heterogeneidad de los rendimientos: mientras Países Bajos alcanza 55.7 t/ha y EUA 54.4 t/ha, China presenta valores más bajos pese a su gran superficie cultivada (FAO, 2025).

La fresa es además un cultivo de alta demanda hídrica. La literatura reporta consumos que oscilan entre 3 000 y 40 000 m³/ha por ciclo, según el clima, el suelo y el sistema de riego (Jo *et al*., 2021; Trout & Gartung, 2004). En México, se ha estimado un promedio de 8 894 m³/ha (Labra-Concha, 2022). El riego por goteo es la tecnología más eficiente, pero la sobreexplotación de acuíferos y la baja recarga natural siguen siendo

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

problemas serios en las regiones de producción intensiva (Peniche-Camps, 2010).

La comparación con otros cultivos ayuda a dimensionar esta exigencia. El frijol y el trigo requieren alrededor de 3 140 y 4 489 m³/ha, respectivamente (Flores-Lázaro *et al*., 2017; López *et al*., 2011). El maíz oscila entre 5 772 y 5 972 m³/ha (Xiao *et al*., 2019), y el algodón cerca de 5 620 m³/ha (Dağdelen *et al*., 2006). El arroz por inundación, en contraste, demanda en promedio 35 500 m³/ha (Wriedt *et al*., 2009). Así, la fresa se ubica entre los cultivos más intensivos en agua, con la particularidad de que gran parte del recurso proviene de acuíferos subterráneos, en atención a las normas de inocuidad exigidas por el mercado.

En cuanto al VEA, los estudios en México muestran una gran variabilidad entre distritos de riego y entre cultivos. En la presa Solís, por ejemplo, se estimó un valor de $1/m³ para productores de maíz, frijol y sorgo (Trujillo-Murillo & Perales-Salvador, 2022). En el DR 011 Alto Río Lerma, con un patrón mixto de granos, forrajes, industriales y hortalizas, se reportó $0.173/m³ (Florencio-Cruz *et al*., 2002). En el DR 017 Laguna, dominado por alfalfa, sorgo, maíz y hortalizas, el valor fue de $0.279/m³ (Ramírez-Barraza *et al*., 2019). En la Comarca Lagunera, los precios sombra variaron entre $0.91 y $1.56/m³, con baja rentabilidad hídrica en forrajes (Godínez-Montoya *et al*., 2007). Para cultivos específicos, se ha estimado $0.48/m³ en frijol de Zacatecas (Ríos-Flores *et al*., 2017), y valores más altos en maíz y trigo en el DR 044 Jilotepec (Zetina-Espinosa *et al*., 2013).

Los estudios internacionales confirman esta diversidad. Se han reportado valores de $1.12/m³ en maíz de High Plains (Ziolkowska, 2015); de $0.22 a $3.18 en cítricos de Entre Ríos (Pagliettini *et al*., 2021);

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

$20.46 en olivares españoles (Mesa-Jurado *et al*., 2010), y de $10.64 a $33.56 en horticultura intensiva de la cuenca del Segura (Calatrava & Martínez-Granados, 2012). En síntesis, el VEA es bajo en cultivos extensivos con riego por gravedad y alto en horticultura intensiva, lo que refleja el papel decisivo de la tecnología y del mercado en la rentabilidad del agua.

Los estudios internacionales sobre valoración económica del agua específicamente en fresa son escasos. El estudio más sólido fue el realizado en la región de Huelva, España, donde Salmoral *et al*. (2011) —citados en García-Morillo (2015)— estimaron una productividad del agua en fresa de unos 237 MXN/m³, valor notablemente superior al de cítricos y otros frutales de la misma región. En un contexto más amplio, estudios sobre horticultura intensiva bajo invernadero en el Mediterráneo reportan productividades económicas del agua entre 166 y 436 MXN/m³, frente a un promedio de apenas 33 MXN/m³ en cultivos a cielo abierto (Gallardo *et al*., 2007; Fernández *et al*., 2007). Este contraste confirma que la tecnología de producción protegida, macrotúneles e invernaderos es el factor determinante del retorno hídrico, patrón consistente con los valores elevados del VEA observados en los municipios exportadores de Michoacán frente a los municipios con riego tradicional. Asimismo, la expansión intensiva de fresa en Huelva ha generado sobreexplotación del acuífero que abastece el Parque Nacional de Doñana (García-Morillo, 2015), problema análogo al que enfrenta el Valle de Zamora, lo que sugiere que los desafíos de gobernanza hídrica en zonas agroexportadoras trascienden el contexto mexicano.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

Datos y métodos

Método del valor residual

El valor económico del agua (VEA) en la producción de fresa se estimó mediante el método del valor residual (MVR), un enfoque ampliamente utilizado en la agricultura de riego (Berbel *et al*., 2007; Buttinelli *et al*., 2024; Conradie & Hoag, 2004; Speelman *et al*., 2008). El principio es sencillo: al agua se le asigna el valor que queda una vez descontados—del valor del producto agrícola— los costos de los demás insumos pagados a precios de mercado.

En este marco, el VEA se expresa como un precio sombra, es decir, un valor implícito o costo de oportunidad derivado de la contribución marginal del agua a la producción (Speelman *et al*., 2008; Upadhyaya *et al*., 2022). La elección del MVR responde a las condiciones de la agricultura de fresa en Michoacán: no existen mercados formales de agua con precios observables y las tarifas oficiales están distorsionadas por subsidios. Así, el MVR se vuelve una herramienta práctica para aproximar el valor sombra del agua, deduciendo su aporte residual en la producción (Berbel *et al*., 2007; Young, 2014).

Otras metodologías presentan limitaciones claras. Los precios de mercado no reflejan el costo real del recurso debido a los subsidios. La programación matemática positiva exige información de detalle y calibraciones que no están disponibles. Los precios hedónicos dependen de mercados de tierra poco transparentes, y la valoración contingente implica altos costos y riesgos de sesgo (Bate & Dubourg, 1997; Tiwari, 2000). Frente a esto, el MVR ofrece un equilibrio entre viabilidad empírica

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

y solidez teórica para estimar el VEA en sistemas agrícolas especializados como la fresa.

Ahora bien, el método descansa en varios supuestos, a saber, que los mercados son competitivos para insumos distintos al agua y cuyos precios reflejan costos de oportunidad; el de rendimientos decrecientes del agua en la producción; el del uso eficiente y en proporciones óptimas de los demás insumos, y homogeneidad en la calidad del agua utilizada. Sus limitaciones también son importantes, por ejemplo, 1) atribuye todo el valor residual al agua, aunque parte puede deberse a la gestión agrícola o a factores edafoclimáticos; 2) exige datos homogéneos y detallados sobre costos y rendimientos; 3) en entornos con subsidios, el supuesto de mercados competitivos para los insumos se viola en la práctica. Bate y Dubourg (1997), al aplicar el análisis residual en East Anglia, concluyeron que sin los subsidios agrícolas, la actividad no habría sido rentable, lo que evidencia que el margen residual puede capturar la subvención gubernamental más que el valor real del recurso. En la misma dirección, Caballer-Mellado y Guadalajara-Olmeda (1998) —citados en Pagliettini *et al*. (2021)— sostienen que el precio del agua derivado por imputación residual solo representa un valor confiable cuando se calcula en un entorno de "neutralidad", es decir, sin subvenciones ni beneficios empresariales incorporados. Además, Speelman *et al*. (2008) advierten que en contextos de agricultura a pequeña escala, donde los mercados de insumos son disfuncionales o inexistentes, la ausencia de precios observables obliga a estimar precios sombra para factores como la tierra o la mano de obra familiar, lo que introduce sesgos en el cálculo residual. En el caso de la fresa en Michoacán, la tarifa eléctrica 9CU y la exención de pago de derechos de agua para uso agrícola constituyen subsidios que reducen de manera artificial los costos de producción y, por tanto, inflan

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

el residuo atribuido al agua. Esta distorsión se analiza con detalle en la sección de discusión.

Fuente de datos y modelo operacional para el cálculo del VEA

Con base en el MVR, el VEA (VEAi,t) por unidad de volumen se estimó para el periodo 2003-2024 a partir de cuatro variables principales: 1) valor de la producción (VTPi,t) de la serie anual (2003-2024) del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2024); 2) superficie cosechada (SCi,t) de la serie anual (2003-2024) del SIAP (2024); 3) datos de costos de producción (Cotros) de los años 2007 (Flores-Lázaro *et al*., 2017), 2012, 2013, 2016-2022, 2023 y 2024 del Sistema de Agrocostos de Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA, 2024) y completados mediante interpolación lineal para años faltantes (Tabla 1). Cabe advertir que 10 de los 22 años del periodo (2003-2006, 2008-2011, 2014 y 2015) corresponden a valores interpolados, por lo que los resultados del VEA en esos años deben tomarse con mayor precaución, pues la interpolación lineal no captura cambios abruptos en la estructura de costos.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tabla 1. Estructura de costos de producción de fresa (costos/ha).

Año	Costo total de producción (CTP) (mdp)	Preparación del terreno (%)	Siembra (%)	Fertilización (%)	Labores culturales (%)	Riego (%)	Control de plagas, malezas y enfermedades (%)	Cosecha, selección y empaque (%)	Comercialización (%)	Diversos (%)
2007	167.0	ND	ND	ND	ND	5.0	ND	ND	ND	ND
2012	182.9	1.9	20.5	13.2	0.7	4.5	17.4	40.4	1.3	ND
2013	195.6	1.9	21.0	13.9	0.7	5.6	16.6	39.1	1.3	ND
2016	427.2	14.4	21.5	12.3	0.9	2.6	4.9	23.8	3.7	15.8
2017	498.5	13.6	18.2	10.9	ND	2.6	10.1	27.3	ND	17.3
2018	482.8	15.4	18.7	11.0	ND	2.7	6.9	30.8	ND	14.6
2019	518.9	14.3	28.2	9.5	ND	1.5	6.4	28.6	ND	11.4
2020	624.9	12.0	40.2	8.0	ND	1.3	4.3	24.7	ND	9.5
2021	696.1	5.2	36.6	7.6	ND	1.2	4.0	31.8	ND	13.7
2022	888.9	13.8	21.1	13.2	ND	4.0	4.0	19.9	ND	24.1
2023	1113.6	12.0	22.9	13.3	ND	5.9	3.9	30.9	ND	11.1
2024	1023.2	11.3	27.8	14.0	ND	6.1	4.3	23.6	ND	12.8

Fuente: elaboración propia con datos de Flores-Lázaro (2017) y FIRA (2024).

Finalmente, 4) para representar de forma confiable el consumo de agua en la producción de fresa en suelo en México, se tomó como valor central 7 300 m³/ha. Para obtenerlo, se reunieron valores reportados en la literatura para México y se aplicó un proceso de depuración en dos etapas. Primero, se excluyeron los valores no comparables con el sistema de producción en suelo, esto es, los sistemas hidropónicos (15 444 y 36 000 m³/ha) y un valor agregado de carácter normativo (40 000 m³/ha), que no corresponde a mediciones parcelarias directas. Sobre los cinco

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

valores restantes, todos correspondientes a fresa en suelo en México (Tabla 2), se calculó una media recortada al 20 %, que elimina el valor mínimo (4 850 m³/ha) y el máximo (12 546 m³/ha) antes de promediar. El resultado fue: (6 380 + 6 633 + 8 894) / 3 = 7 302 ≈ 7 300 m³/ha. Para evaluar la sensibilidad de los resultados, se usó un rango en torno a este valor: −30 % (5 110 m³/ha), −10 % (6 570 m³/ha), base (7 300 m³/ha), +10 % (8 030 m³/ha) y +30 % (9 490 m³/ha). Estas bandas permiten captar la incertidumbre operativa sin depender de cifras extremas y sirven para estimar el rango del VEA.

Tabla 2. Requerimientos hídricos en cultivos reportados en la literatura.

Fuente	Sistema/tecnología	Contexto geográfico	Valor (m³/ha)	Fuente del dato
(Soto-Franco *et al*. 2021)	Suelo riego localizado (goteo)	Hermosillo, Sonora, México (congreso COMEII)	6 633	Propio del autor
(Soto-Franco *et al*. 2021)	Suelo riego en suelo (recomendación)	Hermosillo, Sonora, México (congreso COMEII)	12 546	Propio del autor
(Labra-Concha, 2022)	Suelo goteo (cálculo ETc)	Lagunillas-Pátzcuaro, Michoacán, México	8 894.2	Propio del autor
(Iglesias-Pacheco, 2016)	Suelo (análisis económico)	México (documento académico)	6 380	Citado (reporta valores de otras fuentes)
(Ramírez-Gómez, 2011)	Suelo (alta densidad de plantación)	México (tesis en edafología)	4 850	Propio (medición experimental en invernadero)

La forma operacional del cálculo fue:

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

$$\mathrm{VEA_{i,t}} = \frac{\left(\frac{VTP_{i,t}^{2019}}{\mathrm{SC_{i,t}}}\right) - C_{otros}^{agua,2019}}{\mathrm{RH}}$$

Donde:

$VTP_{i,t}^{2019}$ = VEA (MXN/m³) en el municipio *i* en el año *t* (en pesos 2019).

$\mathrm{VTP_{i,t}}$ = valor total de la producción en pesos (MXN) (a precios constantes base 2019).

$\mathrm{SC_{i,t}}$ = superficie cosechada (ha).

$C_{otros}^{agua,2019}$ = costo de producción distintos al agua (MXN/ha) (en pesos 2019).

RH = requerimiento hídrico por hectárea (m³/ha).

A nivel estatal, la agregación se hizo sumando valores y superficies municipales y normalizando por hectárea. Es importante aclarar que todos los montos monetarios se expresan en pesos constantes de 2019. Para ello, se deflactaron los valores de producción (SIAP) y los costos por hectárea (FIRA/Agrocostos) con el Índice Nacional de Precios al Productor (INPP) del sector agrícola (INEGI, 2025). La conversión se aplicó con la fórmula:

$$X_t^{2019} = X_t^{corr} * \frac{INPP_{2019}}{INPP_t}$$

Usando promedios anuales del INPP. En los costos de años aislados, cada rubro se homogenizó primero al año reportado y luego se deflactó a

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

2019. Cuando fue necesario interpolar, la interpolación se aplicó sobre series ya deflactadas.

Etapas de presentación de resultados

Los resultados se organizan en tres etapas.

1. Primero, se calculó el valor económico promedio del agua en la producción de fresa considerando la superficie cosechada y el valor total de la producción en Michoacán. Aquí también se analizaron las tendencias en el tiempo, los rendimientos por hectárea y los cambios en ingresos y costos durante 2003–2024.

2. Después, se aplica el índice de Moran global (Sánchez-Peña, 2012), que mide la autocorrelación espacial entre valores similares de VEA. Un resultado positivo indica que los municipios con VEA alto (o bajo) tienden a agruparse en el territorio. Para detallar estos patrones, se emplearon los indicadores locales de asociación espacial (LISA) (Anselin, 1995), que permiten detectar agrupamientos significativos del tipo *High-High* (altos rodeados de altos), *Low-Low* (bajos rodeados de bajos), y valores atípicos como *High-Low* o *Low-High*. Este análisis se realizó en GeoDa (Anselin *et al*., 2006), donde se construyó una matriz de pesos espaciales de contigüidad *queen* de primer orden, que considera vecinos a todos los municipios que comparten frontera o vértice. La matriz fue estandarizada por filas, de modo que los pesos suman 1 por unidad y los índices son comparables entre municipios con distinto número de vecinos. La significancia estadística tanto del índice global de Moran como de los indicadores LISA se evaluó mediante 999 permutaciones aleatorias.

3. Finalmente se evaluó cómo varía el VEA bajo diferentes escenarios de requerimiento hídrico y estructura de costos. Este ejercicio

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

muestra la solidez de los resultados y permite observar qué componentes afectan más la rentabilidad hídrica. Los escenarios se presentan en gráficos y consideran variaciones de ±10 % y ±30 % tanto en el volumen de agua aplicado por hectárea como en los costos reales de producción, siempre expresados en precios constantes de 2019.

Resultados

Estimación del VEA a nivel estatal

La serie anual 2003-2024 muestra un comportamiento no lineal del valor económico del agua (VEA) en la producción de fresa en Michoacán. Se distinguen cuatro fases: una etapa inicial con pérdidas, un periodo de recuperación, años de máximos sostenidos y, por último, una caída que acerca los valores a cero o incluso a cifras negativas.

Al comparar estos resultados con la superficie sembrada, el volumen cosechado y el rendimiento por hectárea, aparecen trayectorias diferenciadas que ayudan a entender el patrón general. El VEA mide el valor marginal que la agricultura genera por encima del costo de los recursos utilizados, incluido el capital invertido. En otras palabras, refleja la capacidad de la producción para generar utilidades adicionales una vez cubiertos los costos operativos y el rendimiento esperado del capital.

Entre 2003 y 2006, el VEA se mantuvo en terreno negativo, con valores de –6.02 a –11.76 $/m³. En esos años, el rendimiento promedio rondó 25.73 t/ha (mínimo de 25.33 t/ha en 2003 y máximo de 26.16 t/ha en 2005). La superficie estatal se mantuvo en torno a 3 mil hectáreas y el volumen osciló entre 76 y 81 mil toneladas. Un VEA negativo implica que cada metro cúbico de agua generó ingresos insuficientes para cubrir

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

los costos totales, incluido el costo de oportunidad del capital, es decir, hubo pérdida económica.

La recuperación llegó entre 2007 y 2010. El VEA pasó a valores positivos de 4.08 a 6.09 $/m³ y el rendimiento promedio subió a 33.05 t/ha. En 2007, el rendimiento fue de 28.25 t/ha y en 2008 alcanzó 33.25 t/ha. La superficie se amplió ligeramente a un rango de 3.1 a 3.5 mil hectáreas, y el volumen aumentó entre 89 y 115 mil toneladas.

El periodo 2011-2019 concentró los máximos históricos. El VEA alcanzó 24.38 $/m³ en 2011 y 57.21 $/m³ en 2012. Los valores más altos se registraron en 2017 (66.65 $/m³), 2018 (64.73 $/m³) y, sobre todo, en 2019, con 67.10 $/m³. La superficie se expandió de 3 341 ha a 11 733.9 ha, un crecimiento de 3.5 veces; mientras que el volumen aumentó de 113 950.72 a 564 553.66 toneladas, es decir, cinco veces más (Tabla 3). El rendimiento medio del periodo fue de 44.5 t/ha, con un salto desde 34.11 t/ha en 2011 hasta 48.11 t/ha en 2019. En los años cercanos al máximo del VEA, los rendimientos se mantuvieron altos: 47.92 t/ha en 2017 y 45.80 t/ha en 2018.

Tabla 3. VEA en la producción de fresa en Michoacán, 2003-2024 (base = 2019, $/m³).

Año	Ingreso (miles de pesos) base = 2019	Superficie cultivada (miles de ha)	Volumen de producción (miles de ton)	Costo de producción (miles de pesos/ha) base = 2019	VEA ($)
2003	$354.46	3.00735	76.18081	$398.43	-6.02
2004	$310.79	3.7224	94.74648	$367.32	-7.74
2005	$256.83	2.66413	69.69897	$342.65	-11.76
2006	$284.54	3.11665	80.95153	$326.66	-5.77

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Año	Ingreso (miles de pesos) base = 2019	Superficie cultivada (miles de ha)	Volumen de producción (miles de ton)	Costo de producción (miles de pesos/ha) base = 2019	VEA ($)
2007	$332.82	3.15375	89.0953	$303.05	4.08
2008	$350.24	3.215	106.90585	$286.04	8.79
2009	$306.01	3.52	114.5585	$266.73	5.38
2010	$305.57	3.516	113.1604	$261.11	6.09
2011	$420.45	3.341	113.95072	$242.49	24.38
2012	$647.50	4.716	203.3139	$229.83	57.21
2013	$496.94	4.605	204.93715	$237.29	35.57
2014	$501.66	5.678	255.21	$329.43	23.59
2015	$706.24	5.8705	253.53655	$409.16	40.70
2016	$800.55	7.57643	341.12974	$465.22	45.94
2017	$996.51	10.1197	484.93621	$510.00	66.65
2018	$949.45	9.9336	454.95846	$476.91	64.73
2019	$1,000.68	11.7339	564.55366	$510.85	67.10
2020	$773.11	7.38817	329.18351	$599.98	23.72
2021	$773.95	7.29073	326.1911	$606.38	22.96
2022	$749.61	8.34356	354.04799	$657.78	12.58
2023	$693.34	9.572	401.79975	$764.54	-9.75
2024	$646.07	9.72	411.9274	$655.18	-1.25

Fuente: elaboración propia con datos de SIAP (2024) y FIRA (2024).

A partir de 2020, el VEA muestra una caída sostenida. En 2020 fue de 23.72 $/m³ y en 2021 de 22.96 $/m³. Para 2022 descendió a 12.58 $/m³ y en 2023 volvió a terreno negativo con –9.75 $/m³. En esos años

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

la superficie osciló entre 7 388 y 9 572 hectáreas, mientras que el volumen se mantuvo en un rango de 329 a 402 mil toneladas (Figura 2). El rendimiento promedio del periodo fue de 43.9 t/ha, con registros de 44.56 t/ha en 2020, 44.74 t/ha en 2021, 42.43 t/ha en 2022 y 41.98 t/ha en 2023. Para 2024, la tendencia confirma la presión negativa, consolidando el fin de la etapa de máximos y revelando la vulnerabilidad estructural del indicador en un escenario de costos crecientes.

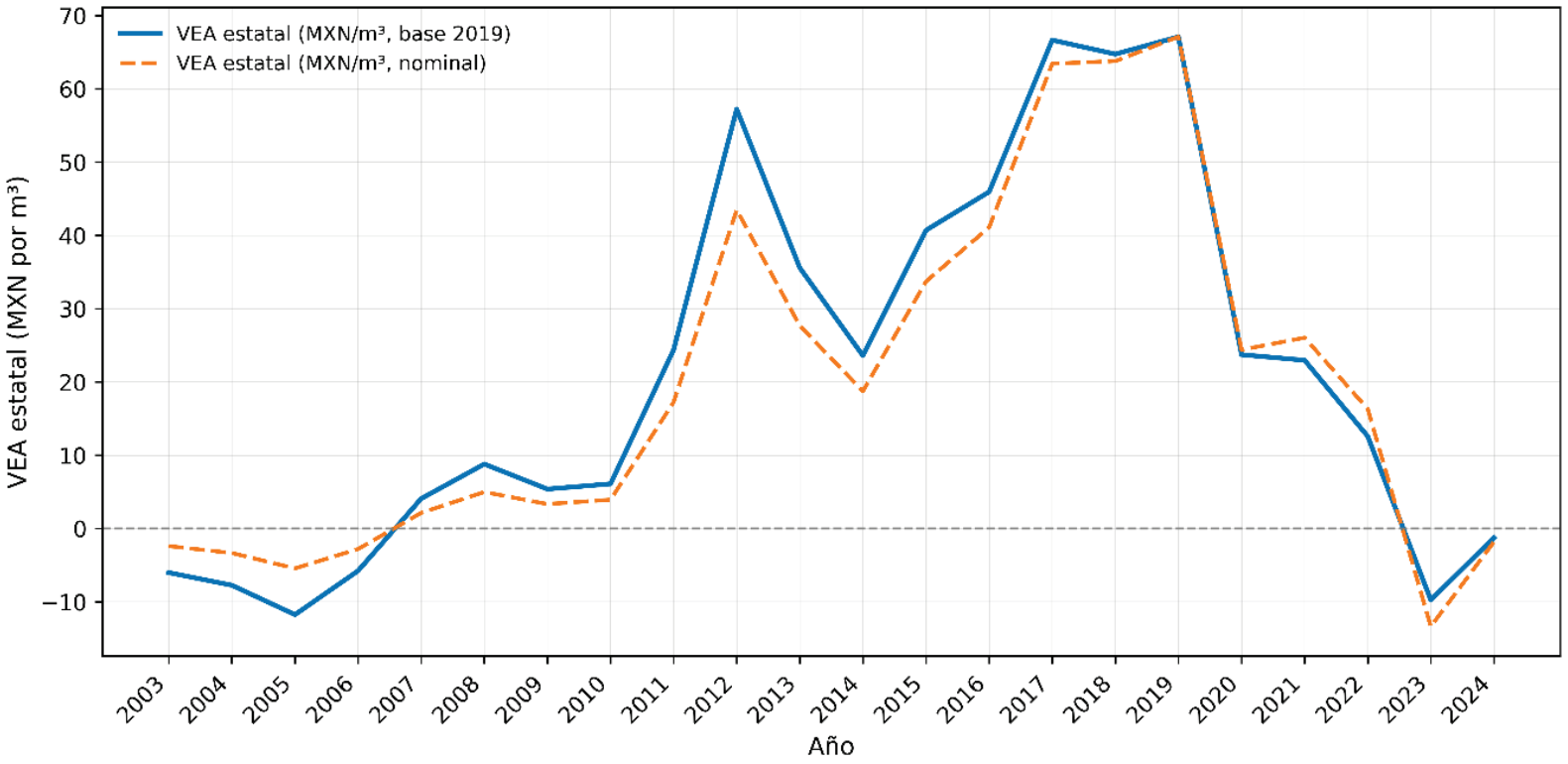


Figura 2. Tendencia del VEA en Michoacán, 2003-2024. Fuente: elaboración propia con datos de SIAP (2024) y FIRA (2024).

En general, la serie muestra un ciclo claro: valores negativos al inicio, máximos en la etapa intermedia y nuevamente negativos hacia el final del periodo, tendencia que se acelera a partir de la pandemia de

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

COVID-19 en 2020 y se consolida con el incremento sostenido de los costos de producción en años posteriores.

Estimación del VEA a nivel municipal y distribución espacial

Para profundizar en la heterogeneidad espacial del VEA, el análisis municipal se organiza en dos apartados. En primer lugar, se presenta un análisis espacial que identifica patrones de concentración y agrupamientos significativos de municipios con valores altos o bajos de VEA. En segundo lugar, se examinan las trayectorias municipales a lo largo del tiempo, diferenciando entre casos de permanencia larga, intermedia o corta en la producción de fresa. Esta doble mirada permite reconocer tanto la dimensión geográfica de la rentabilidad hídrica como su persistencia o variabilidad durante el periodo 2003-2024.

Análisis espacial del VEA

El análisis espacial del VEA a nivel municipal en Michoacán se hizo con la mediana de los valores registrados entre 2003 y 2024.

Los resultados muestran una fuerte concentración espacial (Figura 3). El índice global de Moran alcanzó 0.8239, muy por encima del valor esperado bajo aleatoriedad (–0.0263). Con un valor *z* simulado de 6.28 y un valor *p* de 0.001, se rechaza la hipótesis nula y se confirma la existencia de autocorrelación espacial positiva significativa. En la práctica, esto significa que los municipios con niveles similares de VEA tienden a agruparse, formando zonas contiguas tanto de alta rentabilidad agrícola como de bajos retornos persistentes.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

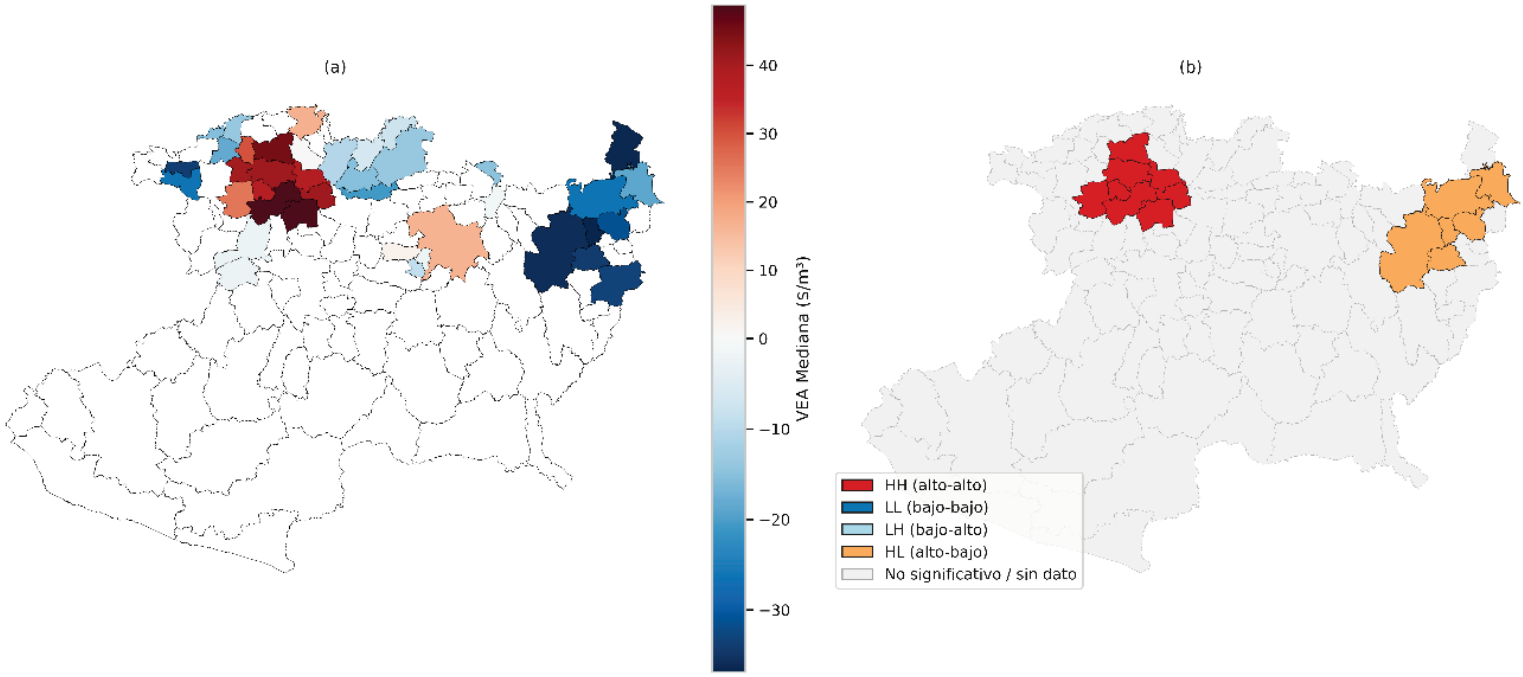


Figura 3. Distribución espacial del VEA municipal (Michoacán) ($/m^3, base = 2019); (a) distribución espacial del VEA (mediana); (b) clúster LISA (VEA mediana). Fuente: elaboración propia con datos de SIAP (2024) y FIRA (2024).

El análisis local con LISA permitió detallar estos patrones. Once municipios integran clústeres alto-alto (HH), con valores elevados de VEA rodeados de otros municipios igualmente rentables. Entre ellos están Chavinda, Chilchota, Churintzio, Ecuandureo, Ixtlán, Jacona, Purépero, Tangamandapio, Tangancícuaro, Tlazazalca y Zamora. En este grupo, la mediana del VEA oscila entre 25.5 y 48.8 MXN2019/m³, con mayor intensidad en Chilchota, Purépero y Tangancícuaro.

En contraste, seis municipios —Contepec, Hidalgo, Irimbo, Maravatío, Senguio y Tuxpan— conforman clústeres bajo–bajo (LL), con

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

medianas negativas entre –18.9 y –36.9 MXN2019/m³. La asociación es más marcada en Irimbo, Hidalgo y Tuxpan.

En suma, los resultados confirman la existencia de agrupamientos espaciales significativos de municipios con valores altos y bajos de VEA. Esto permite delimitar zonas con comportamientos homogéneos en la rentabilidad agrícola durante el periodo analizado.

Se distinguen tres regiones productoras: 1) la región de Zamora, donde conviven municipios con VEA alto y municipios periféricos con valores bajos; 2) la región de Zitácuaro-Maravatío, caracterizada por VEA bajo, y 3) la región de Morelia-Pátzcuaro, con valores bajos y medios, aunque en este caso sin significancia estadística en el análisis LISA.

Trayectorias municipales

El comportamiento municipal del VEA entre 2003 y 2024 permite distinguir tres grupos según su permanencia en la producción de fresa (Figura 4).

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tecnología y Ciencias del Agua
OPEN ACCESS
Check for updates

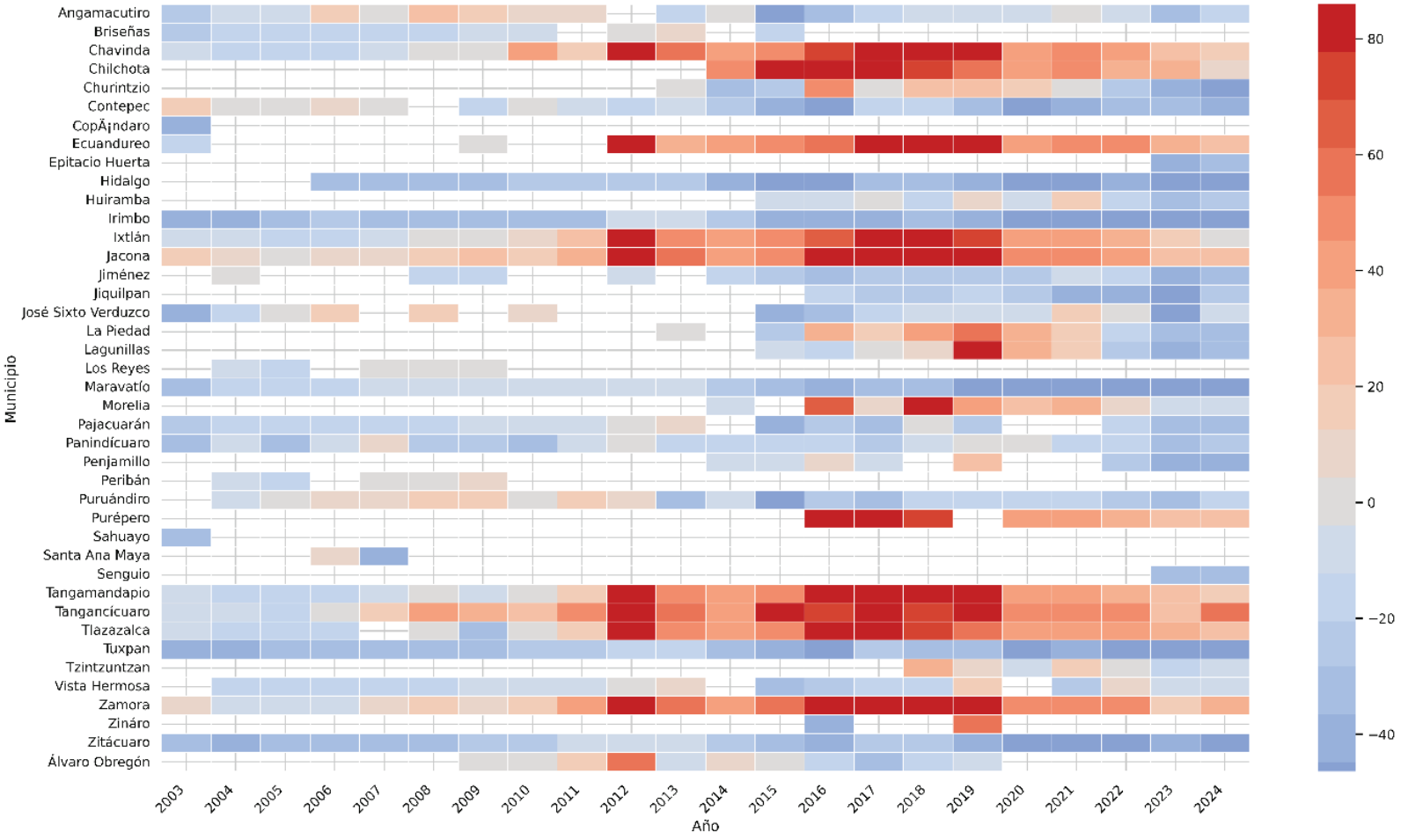


Figura 4. Tendencia temporal del VEA a nivel municipal. Fuente: elaboración propia con datos de SIAP (2024) y FIRA (2024).

El primer grupo corresponde a la larga permanencia (≥ 15 años). Reúne 22 municipios, entre ellos Zamora, Jacona, Tangancícuaro y Maravatío, que concentran cerca del 89 % de la superficie estatal a lo largo del periodo. Dentro de este grupo, las trayectorias son muy distintas. Zamora y Jacona alcanzan promedios altos (46.2 y 42.7 $/m³) y picos repetidos por encima de 100 $/m³ —117.5 en Jacona y 109.6 en Zamora—, sobre todo durante los años de auge de 2012 y 2016-2019. Tangancícuaro sigue un patrón similar, con un promedio de 46.1 $/m³ y

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

máximos de hasta 137.5 $/m³. En el otro extremo, Maravatío y Zitácuaro registran promedios negativos en todo el horizonte (–29.3 y –32.6 $/m³), al igual que Tuxpan (–35.6 $/m³) e Irimbo (–38.6 $/m³).

El segundo grupo corresponde a la permanencia intermedia, con 11 municipios que se incorporaron entre 8 y 14 años, la mayoría después de 2009. Aquí las trayectorias son mixtas. Morelia, por ejemplo, alcanzó un máximo de 123.6 $/m³ en 2018, pero tras 2020 descendió a niveles cercanos a cero, e incluso negativos en 2022 y 2023. Lagunillas mantiene superficies de unas 250 ha por año, y Huiramba alrededor de 160 ha; en ambos casos, los promedios de VEA rondan valores nulos o negativos. En contraste, Chilchota exhibe un promedio alto con máximos de hasta 139.2 $/m³; mientras que La Piedad y Ecuandureo permanecen en rangos positivos, este último con picos cercanos a 100 $/m³.

El grupo de corta permanencia incluye 11 municipios con siete años o menos de presencia en la producción de fresa. Se trata de incorporaciones tardías o de registros puntuales con superficies reducidas. Entre ellos destaca Purépero, con valores persistentemente altos y picos por encima de 100 $/m³, a pesar de su escala limitada. Tzintzuntzan muestra valores modestos, alternando años positivos y negativos, mientras que Penjamillo tiende a mantener promedios negativos.

En términos de persistencia temporal, durante 2011-2019 mantuvieron VEA positivo de forma constante Zamora, Jacona, Tangancícuaro e Ixtlán, junto con Chilchota, Chavinda, Ecuandureo, Tangamandapio, Tlazazalca y Purépero. Zamora y Tangancícuaro, en particular, acumularon las mayores superficies del grupo en ese periodo.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

En contraste, municipios como Panindícuaro, Maravatío, Tuxpan, Hidalgo, Zitácuaro, Irimbo, Contepec, Jiménez, Jiquilpan y José Sixto Verduzco no registraron un solo año con VEA positivo en ese mismo lapso.

En suma, los municipios vecinos con VEA elevado tienden a mantenerse en esos rangos a lo largo del tiempo, mostrando persistencia espacial y temporal en la rentabilidad hídrica.

Análisis de sensibilidad del VEA: requerimientos Hídricos *vs*. costos de producción

El ejercicio de sensibilidad se centró en dos componentes clave. Por un lado, se modificó el requerimiento hídrico por hectárea, tomando como base 7 300 m³/ha y aplicando multiplicadores de 0.70, 0.90, 1.00, 1.10 y 1.30. Por el otro, se alteró el costo por hectárea en los mismos porcentajes, manteniendo constantes los demás elementos.

Al variar el requerimiento hídrico se observa una relación inversa con el VEA (Tabla 4). Con un 30 % menos de agua, el promedio sube a 30.34 $/m³ y la mediana a 25.38 $/m³, con un rango de –16.79 a 95.86 $/m³ y 16 de 22 años en positivo. Con una reducción más moderada de 10 %, el promedio alcanza 23.59 $/m³ y la mediana 19.74 $/m³, con un rango de –13.06 a 74.56 $/m³ y el mismo número de años positivos.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tabla 4. Resumen de métricas del análisis de sensibilidad.

Escenario RH / costo	VEA promedio ($/m³)	VEA mediana ($/m³)	VEA mínimo ($/m³)	VEA máximo ($/m³)	Años con VEA positivo (de 22)
RH −30% (0.70)	30.34	25.38	−16.79	95.86	16
RH −10% (0.90)	23.59	19.74	−13.06	74.56	16
Base (RH) (1.00)	21.23	17.77	−11.76	67.10	16
RH +10% (1.10)	19.30	16.15	−10.69	61.00	16
RH +30% (1.30)	16.33	13.67	−9.04	51.62	16
Costo −30% (0.70)	38.51	35.74	2.33	88.09	22
Costo −10% (0.90)	26.99	24.65	−7.06	74.10	18
Base (Costo) (1.00)	21.23	17.77	−11.76	67.10	16
Costo +10% (1.10)	15.48	9.76	−20.23	60.10	15
Costo +30% (1.30)	3.96	−2.46	−41.17	47.77	9

Fuente: elaboración propia con datos de SIAP (2024) y FIRA (2024).

En el escenario base, los valores son 21.23 y 17.77 $/m³, con extremos de −11.76 a 67.10 $/m³ y 16 años positivos. Al aumentar el requerimiento en 10 %, el promedio y la mediana bajan a 19.30 y 16.15 $/m³, con un rango de −10.69 a 61.00 $/m³. Con un 30 % adicional, los resultados caen a 16.33 y 13.67 $/m³, con extremos de −9.04 a 51.62 $/m³.

En todos los escenarios, el número de años con VEA positivo se mantiene constante en 16 de 22.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuando la sensibilidad se aplica a los costos de producción, el efecto es mayor. Una reducción del 30 % eleva el promedio a 38.51 $/m³ y la mediana a 35.74 $/m³; elimina los valores negativos, y coloca el máximo en 88.09 $/m³, con 22 de 22 años positivos. Con una disminución del 10 %, el promedio llega a 26.99 $/m³ y la mediana a 24.65 $/m³; los valores extremos van de –7.06 a 74.10 $/m³, y los años positivos suman 18.

En el escenario base, los indicadores son 21.23 y 17.77 $/m³, con 16 años positivos. Al aumentar los costos en 10 %, el promedio baja a 15.48 $/m³ y la mediana a 9.76 $/m³, con un rango de –20.23 a 60.10 $/m³ y 15 años positivos. Con un incremento del 30 %, el promedio cae a 3.96 $/m³ y la mediana a –2.46 $/m³; los extremos van de –41.17 a 47.77 $/m³ y solo nueve años resultan positivos.

En conjunto, el VEA responde de manera monótona a los cambios en requerimientos hídricos, sin modificar la frecuencia de años positivos. En cambio, las variaciones en costos afectan tanto la magnitud del indicador como la proporción de años rentables. La comparación directa muestra que la sensibilidad a costos es más pronunciada que la sensibilidad al agua aplicada por hectárea dentro de los rangos analizados.

En términos generales, los valores del VEA sugieren diferencias regionales ligadas con la adopción tecnológica y con los mercados en los que se inserta la producción, ya sea nacional o internacional.

Discusión

Los resultados confirman que el VEA en la producción de fresa en Michoacán mostró un comportamiento cíclico entre 2003 y 2024, con variaciones significativas entre regiones. Este hallazgo coincide con la

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

literatura internacional, que señala a los cultivos de alto valor como particularmente sensibles en la formación de precios sombra del agua debido a su rentabilidad diferencial frente a otros usos agrícolas (Young, 2014). En México, estudios empíricos reportan que el VEA puede superar hasta cuatro veces las tarifas pagadas por los agricultores, lo cual refleja la subvaloración del recurso hídrico en los esquemas actuales de tarificación (Rodríguez-Flores *et al*., 2019).

En el caso de Michoacán, la importancia de la fresa dentro de las exportaciones agroalimentarias ha incrementado la presión por asegurar volúmenes confiables de agua, aun en un contexto de escasez y competencia entre sectores (Zlolniski, 2011). La orientación exportadora ha impulsado una intensificación productiva que eleva el retorno marginal del agua en sistemas tecnificados.

Ahora bien, el análisis de sensibilidad muestra que las variaciones en el volumen de agua por hectárea afectan el VEA, pero las diferencias entre municipios no se explican principalmente por los requerimientos hídricos, sino por la estructura de costos. La evidencia sugiere que si la tecnología fuera homogénea, el VEA no sería tan dispar ni se observarían valores tan bajos en el agregado estatal. Esto indica la coexistencia de modelos tecnológicos diferenciados dentro del sistema productivo de fresa. Estudios empíricos respaldan esta hipótesis: incluso en contextos agroecológicos similares, las diferencias en tecnología generan valores marginales del agua sustancialmente distintos, lo que resalta el papel estructural de la innovación en la valoración del recurso (Medellín-Azuara *et al*., 2009; Medellín-Azuara *et al*., 2010).

Un ejemplo claro es la región de Zamora, donde municipios como Tangancícuaro y Jacona concentran más del 50 % de la producción estatal. Allí predomina una agricultura tecnificada con macrotúneles,

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

sistemas de goteo e invernaderos, que alcanzan rendimientos superiores a 50 t/ha. En contraste, regiones como Morelia, Maravatío o Zitácuaro dependen todavía de esquemas de cielo abierto y riego rodado, menos eficientes, que reducen rendimientos e incrementan el consumo de agua por tonelada.

La heterogeneidad tecnológica explica gran parte de las diferencias en eficiencia hídrica, más que los factores climáticos (Beuchelt *et al*., 2015). Esto coincide con estudios internacionales que subrayan la centralidad de la innovación (Young, 2014) y con evidencia del norte de México que muestra cómo los sistemas más tecnificados alcanzan valores del agua más elevados por su mayor eficiencia (Medellín-Azuara *et al*., 2009).

Otro factor clave es la orientación de mercado. En 2024, el SIAP registró una producción nacional de 696 113 toneladas de fresa, con un valor en campo de 17 198 millones de pesos. De esa cifra, 37.95 % del valor (6 526 millones) se reportó como "para exportación", aunque correspondió solo al 26.9 % del volumen físico (187 mil toneladas). Por su parte, el Banco de México (Banxico, 2025) contabilizó exportaciones de fresa fresca por USD 784 millones (≈13 830 millones de pesos), y el USDA (2025) informó importaciones de EUA desde México por 259 542 toneladas, con un valor de USD 1 170 millones (≈20 675 millones de pesos).

Estos datos sugieren que aunque solo un cuarto del volumen nacional se clasifica en origen como exportación, el flujo real hacia EUA es mayor y su valor internacional mucho más alto. Lejos de una inconsistencia, las diferencias responden a la metodología de cada fuente: el SIAP registra producción "para exportación" en campo; el Banxico

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

reporta el valor en frontera, y el USDA las importaciones efectivas en aduana.

La orientación exportadora implica mayores costos de producción asociados con la tecnificación y con los controles de inocuidad, pero también genera mayores retornos marginales del agua en sistemas intensivos. De hecho, estas inversiones han consolidado a México como uno de los principales exportadores mundiales de fresa (Arana-Coronado *et al*., 2019). En contraste, la producción para el mercado interno, con regulaciones menos estrictas, requiere menores inversiones, pero depende de tecnologías menos eficientes y presiona más a los acuíferos (Hartman *et al*., 2022).

El VEA estimado refleja una lógica de costos privados en un contexto de subsidios. Esto implica dos consecuencias importantes. Primero, un VEA positivo no garantiza rentabilidad social. Si se internalizaran los costos externos, tales como la sobreexplotación de acuíferos, contaminación por agroquímicos, pérdida de biodiversidad y degradación de suelos, el valor real del agua sería sistemáticamente inferior al estimado, y algunos municipios con VEA positivo moderado podrían mostrar un VEA social negativo. Segundo, los municipios con VEA ya negativo exhibirían pérdidas sociales aún mayores al incorporar estas externalidades. Dicho argumento refuerza la crítica al esquema actual de derechos de agua para uso agrícola, que no incorpora el costo de la sobreexplotación de acuíferos ni las externalidades de la contaminación difusa. En México, la tarifa eléctrica 9CU abarata el bombeo de agua subterránea y reduce artificialmente los costos de producción (Aboites, 2021; Conagua, 2022; OECD, 2021). Diversos estudios han mostrado que este subsidio, concebido como apoyo al campo, ha incentivado el excesivo desperdicio de agua y el uso de tecnologías ineficientes (Olavarrieta-

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Carmona *et al*., 2010). En tal sentido, la Ley de Energía para el Campo ha sido criticada por distorsionar los incentivos, al fomentar la sobreexplotación y captura de rentas sin mejorar la productividad (Andere, 2016).

Algo similar ocurre en otros países, donde los subsidios han reducido la eficacia de los precios sombra como herramienta de asignación eficiente (Johansson *et al*., 2002; OECD, 2021). En este contexto, los precios sombra no expresan la escasez real del agua desde una perspectiva social o ambiental, sino la rentabilidad privada de su uso en sistemas agrícolas muy heterogéneos.

En Michoacán, los valores del VEA reflejan sobre todo la lógica de los productores frente a sus costos y márgenes de ganancia, más que la disponibilidad relativa del recurso en la cuenca. Un VEA alto no significa de forma necesaria que el agua sea más escasa en términos sociales, sino que ciertos sistemas —altamente tecnificados, orientados al mercado de exportación y apoyados por subsidios— logran convertir cada metro cúbico en mayores beneficios económicos.

En cambio, municipios con tecnologías rezagadas o con mercados menos dinámicos muestran valores bajos o incluso negativos, aunque la presión sobre el recurso pueda ser igual o mayor. Así, el VEA, lejos de ser un indicador neutral de eficiencia, debe leerse como el resultado de la interacción entre incentivos económicos, estructuras de costos y políticas de subsidio que distorsionan el vínculo entre productividad privada y escasez social del agua.

La interacción entre tecnología, mercado y subsidios dibuja un panorama complejo. Los resultados no se explican solo por factores climáticos ni por los requerimientos hídricos, sino por estructuras de

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

costos condicionadas por el acceso a tecnologías, la orientación exportadora o nacional de la producción, y los marcos institucionales de subsidios. Esto explica por qué la región de Zamora mantiene consistentemente altos valores del VEA; mientras que otras regiones con potencial productivo, pero rezagos tecnológicos, muestran valores bajos o irregulares.

Este escenario plantea un dilema ambiental. La producción tecnificada de exportación logra mayor eficiencia hídrica por tonelada, pero a costa de un consumo energético elevado. En cambio, la producción nacional con tecnologías simples usa menos energía, pero requiere más agua y genera mayores impactos ambientales.

En conclusión, los hallazgos subrayan la necesidad de avanzar hacia una valoración más integral del agua en cultivos de alto valor y alta demanda hídrica. Esto implica incorporar la diferenciación tecnológica (cielo abierto, macrotúneles, invernaderos) y la orientación de mercado, así como incluir los costos sociales del agua y de la energía.

Conclusiones

Este estudio confirma la pertinencia del método del valor residual (MVR) para estimar el VEA en la producción de fresa en Michoacán. Los resultados muestran que aunque a nivel estatal el VEA presenta un comportamiento cíclico entre 2003 y 2024, existe una fuerte variabilidad interanual y espacial que refleja la diversidad tecnológica y productiva de los municipios.

A diferencia de estudios transversales, este trabajo adopta un enfoque longitudinal que permite observar la evolución del VEA a lo largo del tiempo. Esto resulta crucial, pues evidencia que la rentabilidad del

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

agua no ha permanecido constante, sino que ha respondido a procesos de modernización agrícola y a cambios en los mercados de destino. En municipios con mayor adopción de tecnologías, como macrotúneles e invernaderos, el aumento de la productividad se traduce en VEA más altos, mientras que en zonas con riego tradicional y orientación a mercados locales se registran valores bajos o incluso negativos.

El enfoque metodológico, al basarse en datos de costos de producción estandarizados en sistemas tecnificados, permite identificar brechas productivas y tecnológicas. En el plano teórico contribuye a consolidar el VEA como un indicador de eficiencia relativa en cultivos de alto valor. En términos de política pública abre el debate sobre la necesidad de rediseñar subsidios y promover tecnologías más eficientes en el uso del agua. Los VEA negativos no deben interpretarse como pérdidas absolutas, sino como señal de esquemas menos eficientes que, aunque viables en mercados locales con menores exigencias de calidad, implican un uso menos rentable del recurso. Debe reconocerse, además, que el VEA aquí calculado es un precio sombra privado. Al no incluir los costos sociales y ambientales del uso del agua, los resultados representan un límite superior del valor real del recurso. Incorporar estas externalidades reduciría el VEA en todos los municipios y en algunos casos convertiría en negativo lo que aquí aparece como positivo. Así, el VEA aquí calculado funciona no solo como medida de rentabilidad marginal, sino también como un indicador de rezagos tecnológicos y de la necesidad de políticas diferenciadas.

En términos de política pública, los hallazgos apuntan a cuatro recomendaciones priorizadas. Primera, revisar gradualmente la tarifa eléctrica 9CU para reducir el subsidio implícito al bombeo de agua subterránea, comenzando por las unidades productivas con mayor

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

rentabilidad, donde el VEA alto confirma capacidad para absorber costos reales. Segunda, establecer cuotas volumétricas diferenciadas por municipio vinculadas con el balance hídrico local, de modo que las tarifas por derechos de agua reflejen la escasez relativa del recurso en cada acuífero. Tercera, canalizar los ahorros fiscales derivados de la reducción de subsidios hacia programas de tecnificación en municipios con VEA bajo o negativo, priorizando la conversión de riego rodado a goteo. Cuarta, fortalecer el registro y monitoreo del volumen real extraído en pozos agrícolas, condición indispensable para que cualquier esquema tarifario funcione como señal de precio efectiva.

En este sentido, los hallazgos subrayan la importancia de adoptar tecnologías adecuadas y de implementar medidas que mejoren la eficiencia en el uso del agua. No se trata solo de garantizar la sostenibilidad del recurso, sino también de incrementar la competitividad agrícola. Al mismo tiempo, el reconocimiento de que los subsidios al agua y a la energía distorsionan los costos reales obliga a interpretar el VEA como una señal económica parcial, más vinculada con la lógica privada que con el valor social del recurso.

No obstante, debe reconocerse que la dependencia de costos interpolados en 10 de los 22 años analizados introduce incertidumbre en las estimaciones, lo que obliga a interpretar los resultados como aproximaciones de orden de magnitud y no como estimaciones precisas para cada año.

Por último, este estudio sienta las bases para futuras investigaciones que incorporen explícitamente las diferencias tecnológicas, los costos ambientales y sociales del agua y la orientación de los mercados. Una aproximación integral permitirá consolidar el VEA como una herramienta útil tanto para el análisis académico como para la

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

formulación de políticas públicas orientadas al manejo sostenible del agua en la agricultura de alto valor.

Agradecimientos

Agradecimiento al Programa de Becas Posdoctorales de la UNAM por financiar la estancia de investigación, así como al proyecto PAPIIT IN223824 "Deterioro socioambiental del agua y el suelo por la expansión de la agricultura de exportación en Michoacán" coordinado por la Dra. Mayra Elena Gavito Pardo.

Financiamiento

Esta investigación contó con financiamiento del Programa de Becas Posdoctorales de la UNAM para la estancia de investigación y del proyecto PAPIIT IN223824 "Deterioro socioambiental del agua y el suelo por la expansión de la agricultura de exportación en Michoacán".

Declaración de conflictos de interés

Las personas autoras declaran que no existe conflicto de interés relacionado con este artículo.

Declaración de uso de IA

Se utilizó *Claude*, herramienta de asistencia de inteligencia artificial (IA), como apoyo editorial para la revisión de las normas editoriales, asegurando que el artículo se ajustara a dichos lineamientos. Asimismo, se empleó para hacer ajustes gramaticales del documento. El primer autor verificó los resultados generados por la IA y su integración final al artículo.

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Referencias

Aboites, L. (2021). *El agua de la nación: una historia política de México (1888-1946)*. Fondo de Cultura Económica.

Andere, J. L. (2016). Ley de energía para el campo: análisis de incentivos y propuestas de reforma. *Revista de Economía*, *33*(86), 45-85. https://doi.org/10.33937/reveco.2016.61

Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical Analysis*, *27*(2), 93-115. https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x

Anselin, L., Syabri, I., & Kho, Y. (2006). GeoDa: An introduction to spatial data analysis. *Geographical Analysis*, *38*(1), 5-22. https://doi.org/10.1111/j.0016-7363.2005.00671.x

Arana-Coronado, J. J., Trejo-Pech, C. O., Aguilar-Candelas, O. J., Martínez-Damián, M. Á., & Mondragón-Hernández, R. (2019). Crecimiento potencial de las exportaciones de fresa (Fragaria) mexicana. *Agrociencia*, *53*(3), 417-431. https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1793

Banxico, Banco de México. (2025). Balanza de productos agropecuarios, Ene 1993–Jun 2025 (CE122) [conjunto de datos]. Sistema de Información Económica. https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadro&idCuadro=CE122&locale=es

Bate, R. N., & Dubourg, W. R. (1997). A net-back analysis of irrigation water demand in East Anglia. *Journal of Environmental Management*, 49(3), 311-322. https://doi.org/10.1006/jema.1996.9986

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Berbel, J., Calatrava, J., & Garrido, A. (2007). Water pricing and irrigation: A review of the European experience. En: Molle, F., & Berkoff, J. (eds.). *Irrigation water pricing: The gap between theory and practice* (pp. 295-327). CAB International. https://doi.org/10.1079/9781845932923.0295

Beuchelt, T. D., Camacho-Villa, C. T., Göhring, L., Hernández-Rodríguez, V. M., Hellin, J., Sonder, K., & Erenstein, O. (2015). Social and income trade-offs of conservation agriculture practices on crop residue use in Mexico's central highlands. *Agricultural Systems*, 134, 61-75. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.09.003

Buttinelli, R., Cortignani, R., & Caracciolo, F. (2024). Irrigation water economic value and productivity: An econometric estimation for maize grain production in Italy. *Agricultural Water Management*, 295, 108757. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108757

Caballer-Mellado, V., & Guadalajara-Olmeda, N. (1998). *Valoración económica del agua de riego*. Mundi-Prensa.

Calatrava, J., & Martínez-Granados, D. (2012). El valor del uso del agua en el regadío de la cuenca del Segura y en las zonas regables del trasvase Tajo-Segura. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 12(1), 5-32. https://doi.org/10.7201/earn.2012.01.01

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2022). *Estadísticas del agua en México 2022*. https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/Descargas/pdf/EAM2023_f.pdf

Conradie, B. I., & Hoag, D. L. (2004). A review of mathematical programming models of irrigation water values. *Water SA*, *30*(3), 287-292. https://doi.org/10.4314/wsa.v30i3.5076

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Dağdelen, N., Yılmaz, E., Sezgin, F., & Gürbüz, T. (2006). Water-yield relation and water use efficiency of cotton (Gossypium hirsutum L.) and second crop corn (Zea mays L.) in western Turkey. *Agricultural Water Management*, *82*(1-2), 63-85. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.05.006

Escobar-Jaramillo, L. A., & Gómez-Olaya, Á. P. (2007). El valor económico del agua para riego: un estudio de valoración contingente. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (6), 16-32. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231120826002

FAO, Food and Agriculture Organization. (2025). FAOSTAT: cultivos y productos de ganadería [conjunto de datos]. https://www.fao.org/faostat/es/#data/QC

Fernández, M. D., González, A. M., Carreño, J., Pérez, C., & Bonachela, S. (2007). Analysis of on-farm irrigation performance in Mediterranean greenhouses. *Agricultural Water Management*, *89*(3), 251-260. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.02.001

FIRA, Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2024). Agrocostos interactivo: costos de producción agrícola [conjunto de datos]. https://www.fira.gob.mx/agrocostosApp/AgroApp.jsp

Florencio-Cruz, V., Valdivia-Alcalá, R., & Scott, C. A. (2002). Productividad del agua en el Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma. *Agrociencia*, *36*(4), 483-493. https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/201

Flores-Lázaro, N., Saldivar-Valdez, A., Hernández-Madrigal, V. M., & Pérez-Veyna, O. (2017). Valoración del agua de riego agrícola en el valle de Zamora, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *8*(4), 811-823. https://doi.org/10.29312/remexca.v8i4.9

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Galafton, C., Maga, D., Sonnemann, G., & Thonemann, N. (2023). Life cycle assessment of different strawberry production methods in Germany with a particular focus on plastic emissions. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *28*, 611-625. https://doi.org/10.1007/s11367-023-02167-9

Gallardo, M., Fernández, M. D., Thompson, R. B., & Magán, J. J. (2007). Productividad del agua en cultivos bajo invernadero en la costa mediterránea. *Vida Rural*, (259), 48-51. https://publicacionescajamar.es/series-tematicas/centros-experimentales-las-palmerillas/productividad-del-agua-en-cultivos-bajo-invernadero-en-la-costa-mediterranea/

García-Morillo, J. (2015). *Hacia el riego de precisión en el cultivo de fresa en el entorno de Doñana* [tesis doctoral]. Universidad de Córdoba.

Godínez-Montoya, L., García-Salazar, J. A., Fortis-Hernández, M., Mora-Flores, J. S., Martínez-Damián, M. A., Valdivia-Alcalá, R., & Hernández-Martínez, J. (2007). Valor económico del agua en el sector agrícola de la Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana*, 25(1), 51-59. https://www.redalyc.org/pdf/573/57311513007.pdf

Gómez-Santiz, F., & Guerrero-Rojas-García, H. (2014). El análisis institucional en el campo de la gestión de los recursos naturales: bienes comunes e instituciones. *Economía y Sociedad*, *18*(30), 67-86. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5821817

Hartman, S., Hoogesteger, J., Doelman, J., & Vos, J. (2022). Mapping the expansion of berry greenhouses onto Michoacan's ejido lands, Mexico. *Environmental Research Letters*, *17*(11), 115004. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac9ac8

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Hodgdon, E. A., Conner, D. S., McDermott, L. G., Pritts, M. P., Handley, D. T., Orde, K. M., & Sideman, R. G. (2024). A current view on strawberry production practices and trends in the Northeastern United States and Canada. *HortTechnology*, *34*(5), 574-584. https://doi.org/10.21273/HORTTECH05457-24

Iglesias-Pacheco, K. (2016). *Fresa (Fragaria) hidropónica como alternativa rentable para productores de Texcoco, Estado de México* [tesis de maestría, Colegio de Postgraduados]. COLPOS DIGITAL. http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/4019

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2025). Índice Nacional de Precios al Productor (INPP): sector agrícola [conjunto de datos]. https://www.inegi.org.mx/temas/inpp/

Jo, W. J., Kim, D. S., Sim, H. S., Ahn, S. R., Lee, H. J., Moon, Y. H., & Kim, S. K. (2021). Estimation of evapotranspiration and water requirements of strawberry plants in greenhouses using environmental data. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 684808. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.684808

Johansson, R. C., Tsur, Y., Roe, T. L., Doukkali, R., & Dinar, A. (2002). Pricing irrigation water: A review of theory and practice. *Water Policy*, *4*(2), 173-199. https://doi.org/10.1016/S1366-7017(02)00026-0

Krutilla, J. V. (1967). Conservation reconsidered. *The American Economic Review*, *57*(4), 777-786. https://nmwrri.nmsu.edu/footer_pages/nm-wrri-library-database-files/wrri-library-pdfs/wrrilibrary5/005238.pdf

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Kulikov, I. M., Aytzhanova, S. D., Andronova, N. V., Borisova, A. A., & Tumaeva, T. A. (2020). Модель промышленного сорта земляники садовой для условий средней полосы России (A model of a commercial strawberry variety for the conditions of central Russia). *Sadovodstvo i Vinogradarstvo*, (3), 5-10. https://doi.org/10.31676/0235-2591-2020-3-5-10

Labra-Concha, C. A. (2022). *Expansión del monocultivo de fresa y sus impactos socioambientales en el corredor agrícola "Morelia-Pátzcuaro" en el estado de Michoacán, México* [tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio de la Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información. https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000825744

Liverman, D. M., & Vilas, S. (2006). Neoliberalism and the environment in Latin America. *Annual Review of Environment and Resources*, *31*, 327-363. https://doi.org/10.1146/annurev.energy.29.102403.140729

López, T., Cid, G., González, F., Herrera, J., & Chaterlán, Y. (2011). Modelación de la eficiencia del uso del agua en maíz y frijol en diferentes condiciones de suelos y disponibilidad hídrica. *Revista Ingeniería Agrícola*, *1*(2), 41-47. https://www.redalyc.org/pdf/5862/586262033004.pdf

Medellín-Azuara, J., Howitt, R. E., Waller-Barrera, C., Mendoza-Espinosa, L. G., Lund, J. R., & Taylor, J. E. (2009). A calibrated agricultural water demand model for three regions in northern Baja California. *Agrociencia*, *43*(2), 83-96. https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/699

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Medellín-Azuara, J., Harou, J. J., & Howitt, R. E. (2010). Estimating economic value of agricultural water under changing conditions and the effects of spatial aggregation. *Science of the Total Environment*, *408*(23), 5639–5648. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.08.013

Mesa-Jurado, M. A., Berbel, J., Orgaz, F., & Fernández, M. D. (2010). Estimation marginal value of water for irrigated olive grove with the production function method. *Spanish Journal of Agricultural Research*, *8*(2), 197-206. https://doi.org/10.5424/sjar/201008S2-1362

OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development. (2021). *Agricultural policy monitoring and evaluation 2021: Addressing the challenges of sustainable productivity growth*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/2d810e01-en

Olavarrieta-Carmona, M. V., Watts-Thorp, C. J., & Saiz-Hernández, J. A. (2010). Beneficios de la cuota energética. Estudio de caso de la Costa de Hermosillo, Sonora, México, 2006-2007. *Región y Sociedad*, *22*(47), 145-164. https://doi.org/10.22198/rys.2010.47.a449

Ostrom, E. (2003). How types of goods and property rights jointly affect collective action. *Journal of Theoretical Politics*, *15*(3), 239-270. https://doi.org/10.1177/0951692803015003002

Pagliettini, L., Domínguez, J., & Villegas-Peña, A. (2021). Componentes del valor del agua a considerar en la determinación de las tarifas de riego en la zona citrícola de Villa del Rosario, provincia de Entre Ríos, Argentina. *Agroalimentaria*, *27*(53), 33-46. https://doi.org/10.53766/Agroalim/2021.27.53.03

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Peniche-Camps, S. (2010). *Agua y economía fresera en la cuenca del río Duero. La transformación del modelo hidroagrícola mexicano* [tesis doctoral, El Colegio de Michoacán]. Repositorio COLMICH. https://colmich.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1016/1419

Ramírez-Barraza, B. A., González-Estrada, A., Valdivia-Alcalá, R., Salas-González, J. M., & García-Salazar, J. A. (2019). Tarifas eficientes para el agua de uso agrícola en la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *10*(3), 539-550. https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1295

Ramírez-Gómez, H. (2011). *Sistemas de producción de fresa de altas densidades* [tesis de maestría, Colegio de Postgraduados]. COLPOS DIGITAL. http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/506

Reyes-Martínez, A., & Castro-Ramírez, J. C. (2023). Manejo del agua y conservación de obras de riego en el D.R. 011, Guanajuato. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, *11*(25). https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2023.25.84872

Riera, P., Kristrom, B., & Brannlund, R. (2005). *Manual de economía ambiental y de los recursos naturales*. Ediciones Paraninfo.

Ríos-Flores, J. L., Torres-Moreno, M., Torres-Moreno, M. A., & Cantú-Brito, J. E. (2017). Eficiencia y productividad del cultivo de frijol en un sistema de riego por bombeo en Zacatecas, México. *Ciencia ergo-sum*, *24*(2), 152-163. https://doi.org/10.30878/ces.v24n2a7

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Rodríguez-Flores, J. M., Medellín-Azuara, J., Valdivia-Alcalá, R., Arana-Coronado, O. A., & García-Sánchez, R. C. (2019). Insights from a calibrated optimization model for irrigated agriculture under drought in an irrigation district on the Central Mexican High Plains. *Water*, *11*(4), 858. https://doi.org/10.3390/w11040858

Sánchez-Peña, L. (2012). Alcances y límites de los métodos de análisis espacial para el estudio de la pobreza urbana. *Papeles de Población*, *18*(72), 147-180. https://rppoblacion.uaemex.mx/article/view/8434

SIAP, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). Cierre de la producción agrícola (2003–2024) [conjunto de datos]. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Solís, L. (2005). La escasez, el costo y el precio del agua en México. *Economía UNAM*, *2*(6), 24-42. https://repositorio.unam.mx/contenidos/30178

Soto-Franco, L., Barrios-Díaz, J. M., Morales-Fernández, S. D., & Barrios-Díaz, B. (2021, junio). *Productividad del agua en dos sistemas de producción para el cultivo de fresa* [presentación de escrito]. Sexto Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas (COMEII-2021), Hermosillo, Sonora, México.

Speelman, S., Farolfi, S., Perret, S., D'Haese, L., & D'haese, M. (2008). Irrigation water value at small-scale schemes: Evidence from the North West Province, South Africa. *International Journal of Water Resources Development*, *24*(4), 621-633. https://doi.org/10.1080/07900620802224536

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Tiwari, D. N. (2000). Sustainability criteria and cost-benefit analysis: An analytical framework for environmental–economic decision making at the project level. *Environment and Development Economics*, *5*(3), 259-288. https://doi.org/10.1017/S1355770X00000176

Trout, T. J., & Gartung, J. (2004). Irrigation water requirements of strawberries. *Acta Horticulturae*, (664), 665-671. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.664.84

Trujillo-Murillo, J., & Perales-Salvador, A. (2022). Precio sombra y costo real del agua para riego en Acámbaro, Guanajuato. *Tecnología y ciencias del agua*, *13*(5), 326-349. https://doi.org/10.24850/j-tyca-13-05-09

Upadhyaya, A., Jeet, P., Singh, A., Kumari, A., & Sundaram, P. (2022). Efficacy of influencing factors in the decision-making of irrigation water pricing: A review. *Water Policy*, *24*(6), 963-979. https://doi.org/10.2166/wp.2022.004

USDA, United States Department of Agriculture. (2025). Fruit and tree nuts data: Trade and prices by category and commodity [conjunto de datos]. https://www.ers.usda.gov/data-products/fruit-and-tree-nuts-data/

Valdés-de-Hoyos, E. I. P., & Uribe-Arzate, E. (2016). El derecho humano al agua: una cuestión de interpretación o de reconocimiento. Cuestiones Constitucionales. *Revista Mexicana de Derecho Constitucional*, *1*(34), 3-25. https://doi.org/10.1016/j.rmdc.2016.07.001

Wriedt, G., Van der Velde, M., Aloe, A., & Bouraoui, F. (2009). Estimating irrigation water requirements in Europe. *Journal of Hydrology*, *373*, 527-544. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.05.018

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Xiao, X., Fan, L., Li, X., Tan, M., Jiang, T., Zheng, L., & Jiang, F. (2019). Water-use efficiency of crops in the arid area of the middle reaches of the Heihe River: Taking Zhangye City as an example. *Water*, *11*(8), 1541. https://doi.org/10.3390/w11081541

Young, R. A. (2014). *Determining the economic value of water: Concepts and methods* (2nd ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203784112

Zetina-Espinosa, A., Mora-Flores, J., Martínez-Damián, M., Cruz-Jiménez, J., & Téllez-Delgado, R. (2013). Valor económico del agua en el distrito de riego 044, Jilotepec, Estado de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, *10*(2), 139-156. https://doi.org/10.22231/asyd.v10i2.1132

Ziolkowska, J. (2015). Shadow price of water for irrigation—A case of the High Plains. *Agricultural Water Management*, *153*, 20-31. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.024

Zlolniski, C. (2011). Water flowing north of the border: Export agriculture and water politics in a rural community in Baja California. *Cultural Anthropology*, *26*(4), 565-588. https://doi.org/10.1111/j.1548-1360.2011.01112.x

2026, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)