



La importancia de los datos para una mejor gestión del agua en los distritos de riego

The importance of data for better water management in irrigation districts

Emmanuel Nava Perdomo¹  , Nahún Hamed García Villanueva², Oscar Pita Díaz¹, Luis Enrique Andrade Mora¹, Javier Martínez Reyes¹

¹ Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

² Presidente de la Comisión de Especialidad de Ingeniería Civil de la Academia de Ingeniería de México.

Resumen

La gestión eficiente del uso del agua en los Distritos de Riego requiere de datos confiables y estratégicos. Este trabajo analiza los desafíos actuales en la medición del recurso hídrico, destacando la importancia de reunir, almacenar y analizar datos de variables técnicas y agroclimáticas. Se diagnostica la infraestructura de medición y se identifican incertidumbres relativas en caudales ($\pm 1\%$ y $\pm 20\%$), según el método y técnica empleada, en conformidad con normas internacionales como la ISO6416. Se concluye que, la modernización del riego debe sustentarse en sistemas de medición con trazabilidad metrológica, criterios de precisión, mantenimiento y validación. Solo mediante registros que reflejen la realidad operativa, pueden fundamentarse decisiones técnicas que reduzcan la presión sobre los recursos hídricos, y fortalezcan la sustentabilidad agrícola.

Palabras clave: análisis de datos, gestión hídrica, instrumentación, distritos de riego, medición de caudales.

Abstract

Efficient water use management in Irrigation Districts requires reliable and strategically managed data. This study examines current challenges in water resource measurement, emphasizing the importance of collecting, storing, and analyzing technical and agroclimatic variables. The measurement infrastructure is assessed, and relative uncertainties in flow rates ($\pm 1\%$ to $\pm 20\%$) are identified, depending on the method and technique used, in accordance with international standards such as ISO6416. The study concludes that irrigation modernization must be based on measurement systems with metrological traceability, precision criteria, maintenance protocols, and validation procedures. Only through records that accurately reflect operational conditions can technical and administrative decisions be properly supported, reducing pressure on water resources and strengthening agricultural sustainability.

Keywords: Data analyze, water management, instrumentation, irrigation districts, flow measurement.

Introducción

La agricultura bajo riego representa uno de los pilares estratégicos para garantizar la soberanía alimentaria y el desarrollo sostenible en México. En el año agrícola 2023-2024 los Distritos de Riego (DR) reportaron una superficie sembrada de 2.4 millones de hectáreas, y un rendimiento del 19.1 ton/ha; cabe aclarar que cinco DR no realizaron riego durante ese año agrícola (Comisión Nacional del Agua, 2025). Así mismo, se reporta una superficie física de 4.24 millones de hectáreas, de las cuales 3.39 millones de hectáreas corresponden a superficie regable, agrupándose en 87 Distritos de Riego (incluyendo el Distrito de Riego 114 “Presa Santa María”), lo que representa una superficie sin riego del 20%, que continúa reduciéndose por el crecimiento de la mancha urbana y los desarrollos industriales. Los Distritos de Riego, al ser los sistemas que concentran gran parte de la infraestructura hidroagrícola nacional, y aportan significativamente a la producción de

Historial

Manuscrito recibido: 31 de octubre de 2025

Manuscrito aceptado: 19 abril 2026

Manuscrito publicado: agosto 2026

✉ Autor para correspondencia

Emmanuel Nava Perdomo

emmanuel.nava@conagua.gob.mx

Como citar

Nava Perdomo E, García Villanueva NH, Pita Díaz O, Andrade Mora LE, Martínez Reyes J (2026). La importancia de los datos para una mejor gestión del agua en los distritos de riego. *Ciencia Nicolaita* 97:9-20. doi:10.35830/cn.vi97.922

alimentos básicos como lo son el maíz, trigo, arroz y frijol, enfrentan retos estructurales que limitan su eficiencia, entre ellos, la falta de información precisa sobre el uso del agua.

La producción agrícola enfrenta presiones crecientes

derivadas del cambio climático, la sobreexplotación de acuíferos y la variabilidad en las precipitaciones, lo que compromete la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los sistemas de riego. Estas condiciones se agravan por las deficiencias estructurales existentes en la infraestructura hidroagrícola (en muchos casos con más de medio siglo de operación), la escasa incorporación de tecnologías de monitoreo, y la limitada capacidad de medición precisa en campo. Esto genera una falta de datos confiables, que impide conocer con precisión la eficiencia del uso del agua, además, limita el diseño de estrategias efectivas para su aprovechamiento, afectando directamente los rendimientos agrícolas (Lomelí, 2019).

Nava (2023) documenta, en el subcapítulo sobre cambio climático, que éste incide tanto en el desempeño ambiental, como en la productividad y rentabilidad del sector agrícola. Lima *et al.* (2011) distinguen dos tipos de impactos: los directos, relacionados con alteraciones en temperatura, precipitación y concentración de CO₂; y los indirectos, vinculados con la humedad del suelo y la proliferación de plagas y enfermedades. Fernández (2016) propone la adopción de tecnologías controladas como respuesta a estos desafíos, destacando su potencial para optimizar el uso de recursos, y mejorar la productividad de los cultivos.

Por otro lado, la degradación de los suelos agrícolas representa un obstáculo adicional. Clercq *et al.* (2018) advierten que el 25% de la tierra cultivable mundial está altamente degradada, mientras que otro 44% presenta niveles moderados o ligeros de deterioro. Además, el 80% de la deforestación global está impulsada por la expansión agrícola. Vermeulen *et al.* (2012) señalan que el cambio climático no solo afectará los niveles de producción, sino también la calidad de las cosechas, debido al aumento de temperaturas, sequías, inundaciones y mayor incidencia de plagas. Ante este panorama, la gestión del agua en los DR requiere una transformación profunda, sustentada en datos confiables, oportunos y sistemáticos. La recopilación, almacenamiento y análisis de información hidrométrica, no solo permite mejorar la eficiencia en la conducción, distribución y aplicación del agua, sino que también facilita la toma de decisiones técnicas, sociales y económicas orientadas a la sostenibilidad del sector (García Villanueva *et al.*, 2025).

El valor estratégico de los datos en la agricultura contemporánea es incuestionable, la falta de información precisa y de capacitación, limita el desarrollo óptimo de las explotaciones agrícolas (Ezcaray *et al.*, 2012). En la actualidad, los productores deben interpretar grandes volúmenes de información generada de forma continua, por ejemplo, datos meteorológicos, sistemas de posicionamiento

global (GPS), características edáficas, sensores de campo, insumos agrícolas y parámetros de rendimiento (Xie *et al.*, 2015). La correcta integración y explotación de estos datos es fundamental para el desarrollo de prácticas agrícolas modernas. El concepto de Agricultura 4.0 entendido como la aplicación integrada de IoT, inteligencia artificial y análisis de big data al sector agrícola, amplía las posibilidades de recopilar, procesar e intercambiar datos en tiempo real, ampliando las mediciones de variables críticas como calidad del suelo, niveles de riego, condiciones climáticas y presencia de plagas, ello, mediante sensores, drones e imágenes satelitales (Bonneau *et al.*, 2017). Asimismo, en el ámbito de la Inteligencia Artificial (IA), los datos constituyen la base para el aprendizaje y perfeccionamiento de los algoritmos, permitiendo que los agentes racionales no solo recopilen información, sino que, adapten y amplíen su conocimiento del entorno con la experiencia, lo que les habilita para tomar decisiones más acertadas (Russell y Norvig, 2011).

Por otra parte, Basco *et al.* (2018), plantean que el uso sistemático de grandes volúmenes de datos, permite descentralizar la toma de decisiones, transitando de modelos preventivos a modelos predictivos en múltiples áreas organizacionales. Esto impacta positivamente en la cadena de suministro, minimizando inventarios, y ajustando tiempos de provisión, así como la detección de fallas, anticipando desperfectos, y en la logística, mejorando la entrega eficiente de insumos y productos terminados. En particular, la gestión del agua requiere comprender un ciclo de datos compuesto por cuatro etapas: generación, almacenamiento, análisis y aplicación. Variables como superficie cultivada, volumen entregado, temperatura, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento, precipitaciones y evapotranspiración deben registrarse de forma sistemática para sustentar decisiones técnicas de riego (Nava, 2023) (**Tabla 1**).

De este modo, el valor estratégico de los datos, no solo transforma la gestión del riego, sino que redefine el modelo de operación en la agricultura moderna, al posibilitar decisiones más precisas, eficientes y sostenibles. En este contexto, el presente artículo desarrolla un análisis técnico y metodológico que desempeña la información en la gestión hídrica, documentando las condiciones actuales de instrumentación en los Distritos de Riego y subrayando que, el elemento clave es contar con datos confiables y exactos.

A lo largo de las décadas, la calidad y cantidad de mediciones hidrométricas y meteorológicas que se han realizado en el país ha cambiado, un reflejo de ello es la cantidad de estaciones meteorológicas que se han establecido en el territorio nacional. En la década de 1980, México

Tabla 1. Etapas del ciclo de gestión de datos en riego agrícola. Fuente: Elaboración propia a partir de Nava, (2023).

Etapa	Aplicación en riego
<i>Generación</i>	Sensores, medidores para agua, estaciones meteorológicas, sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition: plataformas que supervisan, controlan y registran en tiempo real variables como caudales, niveles o presiones mediante comunicación con sensores y actuadores distribuidos), estaciones meteorológicas, imágenes satelitales.
<i>Almacenamiento</i>	BIG DATA, SIG, bases geoFiguras, historiales operativos.
<i>Análisis</i>	Modelos predictivos, indicadores agroclimáticos.
<i>Aplicación</i>	Programación de entregas, Políticas de operación, Ajustes en la red hidráulica.

contaba con más de 3,000 estaciones meteorológicas que registraban lecturas diarias de precipitación. Sin embargo, para el periodo 2020 - 2023, esa cifra se situó por debajo de 1,000 estaciones activas. En la **Figura 1** se observa el número de estaciones operando de 1930 a 2023. Esta reducción compromete la resolución espacial de la información pluviométrica, y aumenta la incertidumbre en la estimación de la lluvia real sobre cuencas y distritos de riego.

De acuerdo con la información mostrada en la **Figura 1**, antes de 2020, la cantidad de estaciones descendió rápidamente, llegando a cantidades inferiores a las que se tenían en 1960, lo que representa un problema de cobertura. Esto presenta grandes desafíos en cuanto la calidad de los datos, ya que, además de la cobertura, persisten errores de calibración, capturas manuales de información, falla en la transmisión de los datos, modificación en la instrumenta-

ción, reubicaciones, entre otras situaciones. En consecuencia, se presenta escasez en el insumo de datos básicos para elaborar balances hídricos, pronósticos y reglas de operación de presas de almacenamiento en distritos de riego, lo que tiene como consecuencia que, la toma de decisiones quede expuesta a sesgos y riesgos operativos.

Como advierten González *et al.* (2018), la medición del agua en los módulos de riego es esencial para su administración. Durante los periodos gestionados por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) y posteriormente por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), existía personal capacitado en hidrometría y procedimientos sistemáticos de registro. En contraste, el panorama actual muestra una disminución significativa en la práctica de medición, lo que afecta directamente la gestión del recurso. Esta carencia genera efectos adversos,

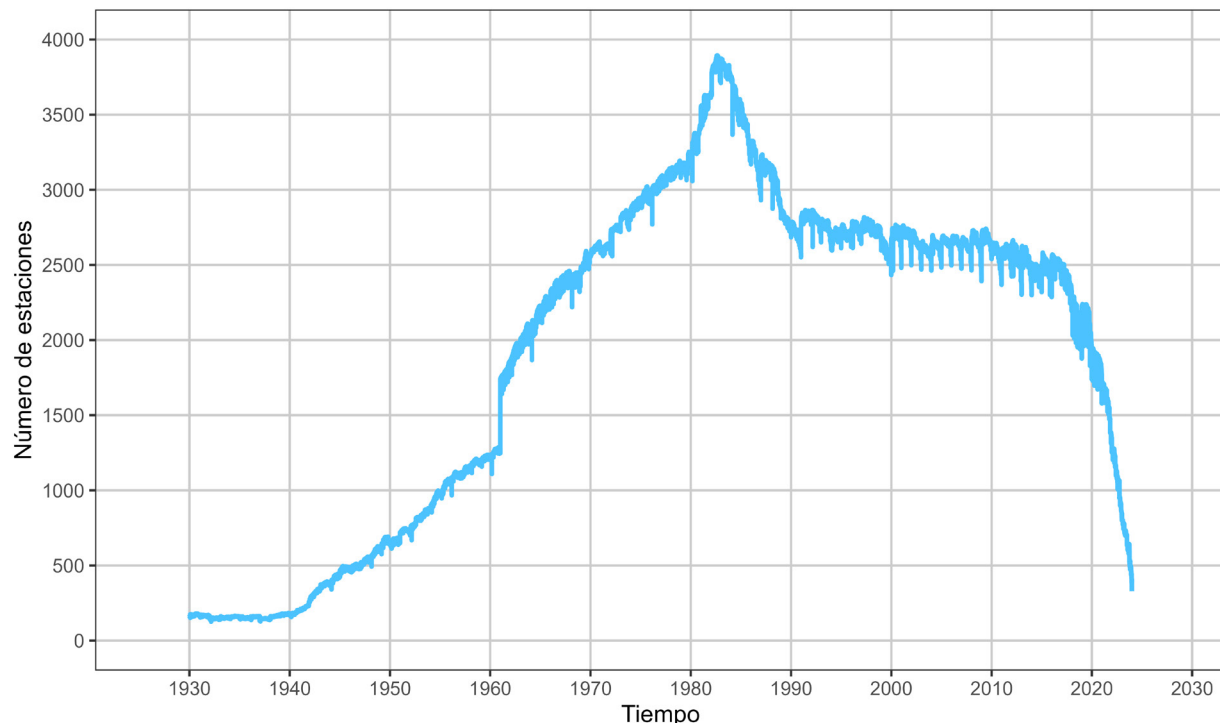


Figura 1. Número de estaciones meteorológicas en México con disponibilidad de datos (1930-2023). Elaboración a partir de datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

tanto para los usuarios, como para las instituciones, mismos que se exponen en la **Tabla 2**, de los cuales, pueden derivar conflictos sociales entre usuarios, principalmente por la percepción de una gestión ineficiente o injusta del recurso hídrico.

Materiales y métodos

En el año 2003, la CONAGUA inicio el programa de mejoramiento de la medición de agua en el sector hidroagrícola, adquiriendo equipos de medición fijos y portátiles, en fuentes de abastecimiento y puntos de entrega de agua a cargo de CONAGUA. Los medidores fijos instalados se colocaron en fuentes de abastecimiento (presas de almacenamiento y pozos), y hasta en los puntos de entrega de agua en canales de los DR. La distribución e inversiones realizadas del periodo 2003 a 2023 se indica en la **Tabla 3**.

A pesar de estos avances, diversos factores como el vandalismo, obsolescencia, eventos climáticos, falta de mantenimiento y calibración, han mermado el funcionamiento adecuado de los equipos, generando una gestión hídrica deficiente, y dificultando el seguimiento de los planes de riego, lo que impacta de forma directa en la eficiencia, equidad y sustentabilidad del sistema, ocasionando que las decisiones del manejo del agua no sean acordes con las condiciones actuales, generando mayores ineficiencias y conflictos.

Para el presente estudio, se emplea información contenida en diagnósticos realizados por la Gerencia de Distritos de Riego, recopilando información de cada una de las Jefaturas de los DR, referente a las tecnologías empleadas, el estatus de la medición del gasto y el estado físico de la infraestructura de dichas tecnologías. Por la naturaleza de la medición de flujos en fluidos, la forma en la que se eva-

Tabla 2. Efectos adversos de no medir el agua (volúmenes y gastos).

Impacto en los usuarios	Impacto en las instituciones
Entrega inequitativa del agua, con usos excesivos o restringidos que aceleran la sobreexplotación de fuentes.	Incertidumbre en la distribución del recurso, sin datos confiables para garantizar equidad entre usuarios.
Disminución de rendimientos agrícolas por estrés hídrico en los cultivos.	Rezago operativo que dificulta prácticas agrícolas eficientes y la adaptación de planes de riego.
Riesgo en la soberanía alimentaria ante la baja confiabilidad en el volumen de agua aplicado.	Pérdida de autoridad institucional por falta de certeza en la medición y entrega del agua.

lúa la calidad de los datos, es empleando la incertidumbre. Este es el parámetro asociado con la medición, y proporciona información del grado de dispersión de los resultados de esta. Así mismo, la incertidumbre expandida, es la cantidad que define un intervalo de valores que puede tener el resultado de una medición, usualmente se reportan incertidumbres expandidas en un intervalo de confianza $p=0.95$ (Tamari y Aguilar Chávez, 2010).

Resultados

La operación eficiente del agua en los distritos de riego requiere de monitoreo preciso en puntos estratégicos. A partir de un diagnóstico realizado a través de los Distritos de Riego en 2024, se identificaron 6,967 puntos de control distribuidos en 86 Distritos de Riego (excepto el Distrito de Riego 066 Santo Domingo), lo que permitió comprender los retos y oportunidades en materia de medición. Resultando que el 95% de estos puntos, se ubican en canales y pozos; el resto en presas, derivadoras y estaciones de

Tabla 3. Programa de Mejoramiento de la medición en Infraestructura Hidroagrícola. Elaboración a partir de datos de la Gerencia de Distritos de Riego (CONAGUA).

Año	Medidores fijos						Medidores portátiles			
	Presas		Canales		Pozos		Perfilador acústico portátil (pd)		Velocímetro acústico portátil (vd)	
	Unidades	(miles \$)	Unidades	(miles \$)	Unidades	(miles \$)	Unidades	(miles \$)	Unidades	(miles \$)
2003-2006	40	20,678.92	143	60,163.76	1,786	23,489.67	0	0.00	0	0.00
2007-2011	9	5,973.09	81	56,585.38	93	2,856.00	11	4,331.28	54	8,042.54
2012-2015	12	8,559.84	50	31,877.31	80	4,956.18	26	10,690.55	0	0.00
2016-2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	2	1,557.00	7	7,713.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
SUMA	63	36,768.84	281	156,339.45	1,959	31,301.85	37	15,021.83	54	8,042.53

bombeo (**Figura 2**).

Del total de equipos instalados, el **70%** se encuentra operativo, y el 30% presenta fallos o requiere intervención técnica. De conformidad con los equipos reportados para realizar mediciones en estos puntos de control, se reporta que la mayoría son equipos fijos, seguidos de las mediciones con equipos portátiles (**Figura 3**).

Para el caso de los 3,879 puntos de control de los Distritos de Riego que cuentan con equipo de medición fijo, el dispositivo con mayor presencia es el medidor de carrete electromagnético (EM), instalado principalmente en pozos de extracción, con un total de 1,063 unidades registradas. Le sigue el método de aforo mediante la relación escala-gasto (E-Q), empleado en 798 sitios, y el medidor de carrete bridado (MCB) con 461 registros, (**Figura 4**). Asimismo, destacan la compuerta calibrada (CC) con 375 unidades, el aforador de tiempo de travesía (ATT) con 173 registros, y el aforador Doppler lateral (ADL) con 44 unidades. Otros métodos incluyen el aforador de garganta larga (AGL) con 38 unidades, junto con categorías generales como “Otros”, “No especifican” y “Por definir”.

De acuerdo con el diagnóstico de medición realizado

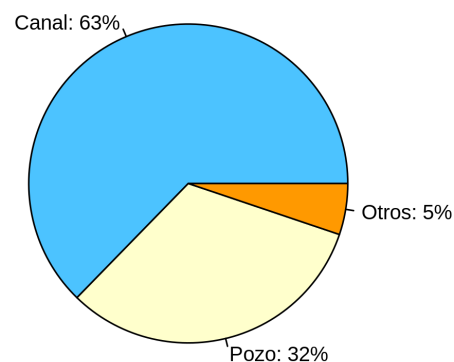


Figura 2. Ubicación de los puntos de control de los Distritos de Riego. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Gerencia de Distritos de Riego (CONAGUA).

en 2024, 2,612 de los 3,879 equipos fijos, (alrededor del 67%), operaban correctamente. De ellos, el 45% se concentraba en el Distrito de Riego 014 Río Colorado, cuya última intervención de mantenimiento data de 2023. No obstante, más de 1,200 medidores presentan limitaciones técnicas, asociadas a la falta de mantenimiento preventivo,

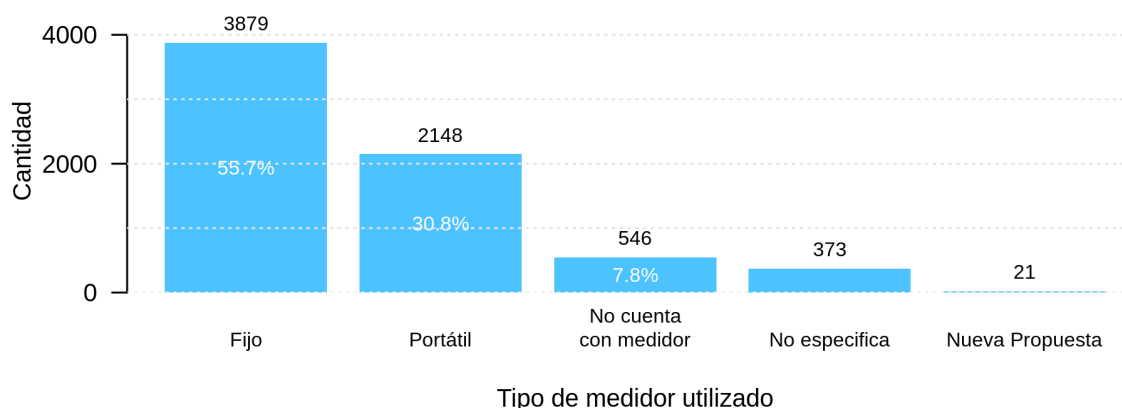


Figura 3. Tipo de medición utilizada en los Puntos de Control. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Gerencia de Distritos de Riego (CONAGUA).

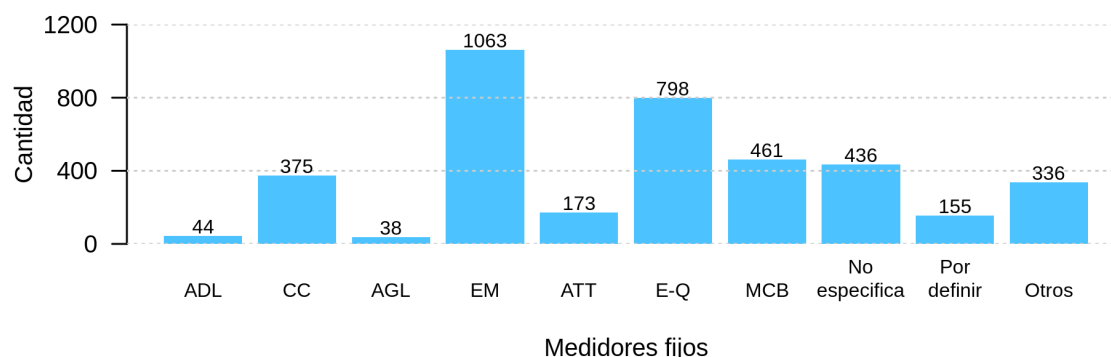


Figura 4. Tecnologías utilizadas en equipos de medición fijos. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Gerencia de Distritos de Riego (CONAGUA).

vandalismo y vida útil superada.

Así también, como parte del diagnóstico y evaluación del estado operativo de los equipos de medición realizado en 2024, se realizó un inventario que permitió identificar el nivel de funcionalidad de los dispositivos portátiles utilizados para aforar 2,148 puntos de control. Del total de 87 distritos de riego, 70 proporcionaron información completa, y fueron considerados en el análisis; los 17 restantes no remitieron datos o no especificaron su inventario y, por lo tanto, no se incluyeron en esta estadística.

En este sentido, el total de equipos portátiles reportados por los 70 distritos de riego, se presentan en la **Figura 5**, donde se muestra de forma clara y proporcional, la situación de los equipos de medición: 76 equipos están operativos, 113 equipos requieren algún tipo de mantenimiento, y 60 equipos deben ser adquiridos, lo que constituye el 24% restante. Observando que casi siete de cada diez dispositivos necesitan alguna intervención, ya sea de carácter correctivo o de renovación.

El análisis técnico del inventario incluyó el tipo de tecnología de los dispositivos, tanto de los operativos, como de los que requieren mantenimiento o adquisición. Según la información proporcionada, se identificaron los siguientes equipos: 48 Perfiladores Doppler (PD), generalmente utilizados para mediciones en múltiples profundidades, con buena precisión en condiciones de flujo complejo, 28 Velocímetros Doppler (VD), indicados para la medición puntual de velocidades en canales de régimen estable y 166 Velocímetros Mecánicos (VM), valorados por su simplicidad de operación, los convierte en los más empleados y solicitados. Aunque estos predominan en el inventario, su uso continuo exige calibración inicial, periódica, y mantenimiento constante, lo que implica una carga operativa adicional para los DR, especialmente en zonas con alta sedimentación o con condiciones dinámicas de los ca-

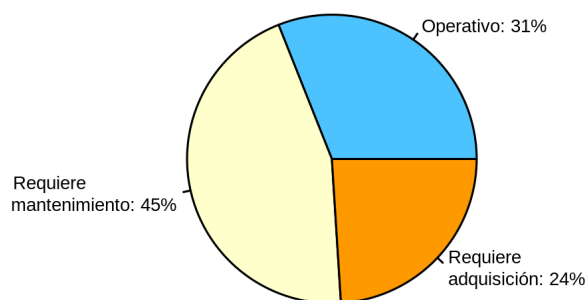


Figura 5. Estado del inventario de equipos portátiles reportados por 70 DR. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Gerencia de Distritos de Riego (CONAGUA).

nales. La distribución tecnológica descrita, se representa en la **Figura 6**, dando visibilidad a las preferencias y necesidades técnicas actuales en campo.

Estos hallazgos enfatizan la necesidad de fortalecer estrategias de mantenimiento y monitoreo técnico, para asegurar la continuidad y confiabilidad de la información hidrométrica, particularmente en el ámbito agrícola, donde la medición en infraestructura de riego demanda procedimientos y dispositivos adaptados a las condiciones de canales, tomas y obras de control, asegurando así, un suministro oportuno y equitativo para las parcelas.

García Villanueva *et al.* (2025) compilan las concesiones y las extracciones medias de agua superficial y subterránea destinadas a la irrigación en los Distritos de Riego de México. Esta serie de datos permite contrastar lo “autorizado” (concesionado) con lo “usado” (extraído). El registro, al abarcar más de dos décadas, constituye una base sólida para el análisis de tendencias, la identificación de brechas, y la evaluación de riesgos de sobreasignación o sobreexplotación, según la fuente de abastecimiento

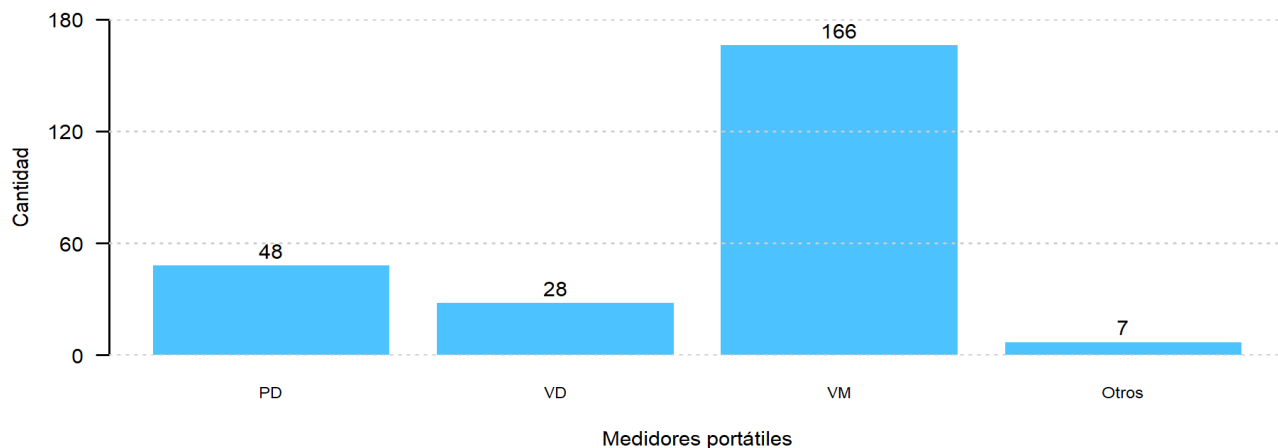


Figura 6. Tecnología reportada de equipos de medición portátiles. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Gerencia de Distritos de Riego (CONAGUA).

El análisis revela una brecha sistemática: en la mayoría de los casos, el volumen extraído es inferior al concesionado; en términos agregados, la razón extracción/concesión asciende a 76.5%, es decir, una diferencia negativa de 23.5% (García Villanueva *et al.*, 2025). Esta condición se traduce, de manera directa, en una reducción de la superficie establecida bajo riego, tanto a nivel de distrito, como a escala nacional. La **Figura 7**, presentada por Organismo de Cuenca, ilustra con claridad cómo en ambos orígenes (superficial y subterráneo), las líneas de volúmenes extraídos se ubican de forma sistemática por debajo de las correspondientes a lo requerido para cubrir las concesiones en los puntos de control. Este patrón no solo implica una menor disponibilidad efectiva de agua para las superficies bajo riego, sino que también subraya la vulnerabilidad de la programación y eficiencia hídrica frente a datos con mediciones de incertidumbre no controlada.

Este hallazgo, coloca la calidad metrológica de los datos en el centro de la gestión del recurso: sin mediciones trazables y con incertidumbres controladas en los puntos de aforo, la planificación de volúmenes, la programación de riegos y la evaluación de eficiencias quedan expuestas a sesgos que pueden amplificar los efectos de la escasez. De ahí que, además de fortalecer el cumplimiento normativo, resulte indispensable modernizar y estandarizar los equipos de medición, algunos con buen desempeño metrológico.

De esta forma, según Tamari y Aguilar Chávez (2010), algunos equipos de medición presentan incertidumbres relativas de hasta 15%, lo que podría implicar que, en un distrito con extracción media de, por ejemplo, 200 hm³/año un margen de sobre/subestimación de ± 30 hm³/año, con impactos operativos y normativos significativos.

A partir de la relación promedio reportada del volumen extraído de fuentes superficiales y subterráneas para riego, pueden estimarse rangos de sobre/subestimación del volumen extraído para fuentes superficiales y subterráneas, útiles para dimensionar impactos operativos y normativos, a manera de ejemplo se realiza el siguiente ejercicio:

Efecto de incertidumbre metrológica en la extracción:

$$\text{Extraído}_{\text{Posible PC}} = \text{Volumen promedio extraído} \times (1 \pm u),$$

$$u[0.01, 0.20]$$

Dónde u es igual a la incertidumbre relativa sobre el caudal medido; el uso de análisis de incertidumbre y la selección de rangos típicos de u se basa en criterios metrológicos para aforos en canales y presas.

Aplicando la ecuación (1), se cuantifica cómo la calidad metrológica afecta la estimación de volúmenes. Por ejemplo, en el Distrito de Riego 097 “Lázaro Cardenas” (DR097), de García Villanueva *et al.*, (2025), se tienen

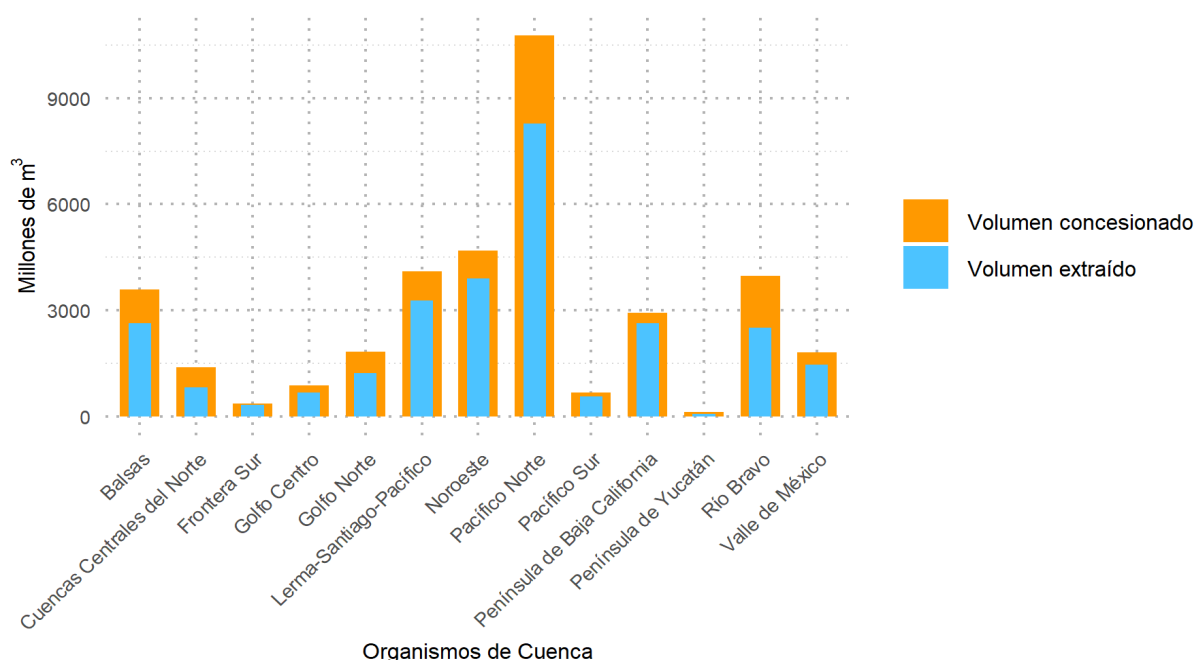


Figura 7. Concesiones y extracciones medias de agua superficial y subterránea para la irrigación en Distritos de Riego (1998-2020). Fuente: Elaboración propia con datos de García Villanueva *et al.* (2025). Datos agregados y procesados por el autor.

los siguientes datos de la brecha entre la extracción y lo concesionado:

- Volumen promedio extraído: 1,263,417.39 miles de m³
- Volumen para cubrir concesiones: 1,732,410 miles de m³
- Porcentaje por debajo de lo concesionado: 27.07%

Considerando que, en el DR097, se reportan 295 puntos de control medidos mediante velocímetros mecánicos (Molinete), se muestran los escenarios de aforo con molinete en canales (método área-velocidad). La guía IMTA de Tamari y Aguilar (2010), reporta con un intervalo de confianza $p=0.95$, lo siguiente:

- Aforo rutinario (10 dovelas $\times$ 1 punto/dovela): $u = \pm 11\%$
- Aforo fino (30 dovelas $\times$ 5 puntos/dovela): $u = \pm 3.5\%$

Bajo estas incertidumbres, el volumen "*Extraído_{PosiblePC}*" que se registraría alrededor del volumen promedio extraído es:

Aforo rutinario: $Extraído_{Posible PC} = 1,263,417.39 \times (1 \pm 0.11) = \pm 138,975.91$

Aforo fino: $Extraído_{Posible PC} = 1,263,417.39 \times (1 \pm 0.035) = \pm 44,219.61$

Este caso, demuestra que, la elección de la técnica y tecnología de aforo en puntos de control incide directamente en los saldos operativos y en el grado de cumplimiento concesional. Ya que, con un equipo con $u = 11\%$, el rango medido podría oscilar entre [1,124,441.48 y 1,402,393.30] miles de m³, implicando una posible sobre/subestimación de .

Así mismo, se debe considerar que la mayoría del inventario de molinetes con los que se realiza esta medición se encuentran sin la calibración adecuada por más de 5 años, la guía enfatiza que los sistemas de medición requieren mantenimiento y calibración constante; la ausencia de calibración añade componentes sistemáticos que no se "promedian" con más lecturas, y degradan la trazabilidad de los datos. En términos prácticos, puede modelarse como un sesgo adicional que desplaza las lecturas hacia arriba o abajo, respecto a la mejor estimación.

Estos valores permiten observar que, aun manteniendo la relación media de 76.5%, la sola incertidumbre instrumental puede desplazar de forma relevante los saldos

operativos y el cumplimiento, por lo que su tratamiento metrológico debe integrarse a la toma de decisiones.

Discusión

Una gestión hídrica moderna debe estar fundamentada en datos confiables, oportunos y trazables. La experiencia reciente, muestra que, aun cuando existe conciencia sobre la importancia de medir, persisten brechas críticas en la generación de datos y en su aseguramiento de calidad, lo que limita diagnósticos y decisiones operativas en los Distritos de Riego (Nava, 2023).

La disponibilidad, y el tipo de instrumentación, determinan la calidad de los datos de caudal, y, por extensión, la confiabilidad de los volúmenes integrados en los puntos de control. En condiciones de campo típicas, el error de medición del caudal varía desde aproximadamente 5% (Aforador de Garganta Larga AGL) hasta 20% (Medición manual de la velocidad superficial con un flotador, (5 dovelas, flotador superficial), por lo que, la elección del método y el estado metrológico del equipo son críticos para la gestión y el cumplimiento.

De acuerdo con Tamari y Aguilar (2010), los principales **métodos** utilizados para medir caudal incluyen:

-Presión-gasto	-Tirante-gasto
-Transitorios de presión	-Pendiente-área
-Área-velocidad	-Trazadores

Cada método puede aplicarse mediante diferentes técnicas instrumentales, ya sea con dispositivos portátiles o fijos, dependiendo de las condiciones hidráulicas.

La **Tabla 4. Precisión e incertidumbre por técnica (Tamari y Aguilar, 2010).**, presenta las precisiones técnicas correspondientes a cada una de las técnicas de aforo descritas, expresadas como incertidumbre relativa con un nivel de confianza del 95%. Esta información constituye un insumo clave para la selección del instrumento o sistema de medición más adecuado, ya que permite comparar objetivamente el desempeño metrológico de opciones portátiles y fijas, en función de condiciones hidráulicas como: régimen de flujo, geometría, estabilidad del canal y requerimientos operativos de cada punto de control en los Distritos de Riego. De este modo, la tabla no solo resume valores de precisión, y normas internacionales aplicables, sino que también orienta la toma de decisiones hacia soluciones compatibles con la confiabilidad, (Resumen adaptado de la Guía Técnica de Aforo en Canales y Presas, Tamari y Aguilar, 2010).

Tabla 4. Precisión e incertidumbre por técnica (Tamari y Aguilar, 2010).

Técnica de aforo	Tipo	*Ur(Q) [p=95%]	Norma internacional
Molinete “fino” (30 dovelas, 5 puntos)	Portátil	±3.5%	ISO 748 (2007); IEC 60041
Molinete “rutinario” (10 dovelas, 1 p)	Portátil	±11%	ISO 748 (2007)
Aforador Parshall o (AGL)	Fija	±5%	ISO 4362 (1999)
Vertedor Cipolletti / rectangular	Fija	±3% a ±10%	ISO 8368 (1999)
Tiempo de travesía (ATT4–ATT1)	Fija	±5% a ±15%	ISO 6416 (2004)
Perfilador Doppler (ADL / ADF)	Fija	≈ ±7%	ISO 15769 (2010)

Ur(Q): Incertidumbre relativa sobre el caudal medido. Valores representativos con nivel de confianza del 95%. *Fuente: Tamari y Aguilar, IMTA (2010).*

En la medición de volúmenes de aguas nacionales, como lo establece la norma NMX-AA-179-SCFI-2018, los conceptos de precisión e incertidumbre tienen significados técnicos muy específicos, que ayudan a garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos por los sistemas de aforo.

- La NMX-AA-179-SCFI-2018 establece tolerancias nominales e incertidumbre expandida como criterios metrologógicos, lo que permite una evaluación más rigurosa.
- Se exige que los medidores cuenten con dictamen de laboratorio o certificado de calibración emitido por entidades acreditadas.
- La norma también clasifica los métodos según el tipo de flujo: a presión o a superficie libre, lo que influye en la selección del sistema de medición.

La **Tabla 5** presenta una comparación detallada de la precisión esperada e incertidumbre típica asociada a diversos métodos de aforo, considerando como referencia las especificaciones de la Norma Mexicana NMX-AA-179-SCFI-2018, y la Guía Técnica de Aforo en Canales y Presas (Tamari y Aguilar, 2010). La información permite contrastar métodos de distinta naturaleza, desde técnicas tradicionales como el flotador calibrado, molinete, hasta sistemas instrumentados de alta precisión como los Aforadores Doppler, evaluando su exactitud y las observaciones técnicas relevantes para su correcta aplicación.

La calidad de los datos comienza en el campo, con estructuras bien diseñadas, operadas, y conservadas en buenas condiciones físicas. En los Distritos de Riego, la confiabilidad de la información del volumen de agua depende en gran medida de la correcta selección de estructuras de medición. Los vertedores, compuertas y aforadores de garganta larga, deben elegirse con base en criterios técnicos que consideren las condiciones del sitio,

los requerimientos operativos y los factores sociales que inciden en su funcionamiento, mismos que se describen a continuación:

Condiciones hidráulicas del campo: La instalación de estructuras aforadoras genera pérdidas de carga, producto de la elevación del nivel aguas arriba y su disminución aguas abajo, y también, efectos de remanso, estos efectos deben evaluarse para evitar impactos negativos en la conducción. Rangos de operación: Es fundamental considerar los rangos de gasto y tirante esperados, así como su frecuencia de ocurrencia, para garantizar que la estructura opere eficientemente bajo condiciones variables.

Requerimientos operativos: Muchas estructuras requieren manipulación para ajustar el suministro de agua y mantener niveles adecuados, especialmente en épocas de estiaje. **Medición en bifurcaciones:** En zonas con derivaciones, se debe garantizar la medición independiente del gasto en la conducción principal y en la extracción. La operación de estas estructuras puede modificar el tirante aguas arriba, por lo que debe considerarse una relación proporcional entre ambos gastos. **Incertidumbre en la medición:** Las estructuras presentan márgenes de error lo que debe contemplarse en el diseño y calibración.

Factores sociales y constructivos: Con disponibilidad de materiales y familiaridad técnica, la selección debe considerar materiales accesibles y estructuras conocidas por el personal operativo local. **Estandarización:** La norma NMX-AA-179-SCFI-2018 promueve la uniformidad en el diseño y operación, especialmente cuando se emplean múltiples tipos de estructuras en una misma zona. **Seguridad y resistencia:** Para evitar alteraciones por personal no autorizado, se recomienda construir estructuras robustas y proteger las partes móviles.

La mejora en la gestión del agua en los distritos de riego no depende únicamente de la tecnología o la inversión, sino también de la participación activa e informada de los usuarios. Es fundamental sensibilizar sobre los beneficios de la medición del agua y promover el aprovechamiento de los programas presupuestarios disponibles para tal fin,

Tabla 5. Comparación de precisión e incertidumbre considerando la Norma, Manual y Guía.

Método de aforo	Fuente / Norma	Precisión esperada / Incertidumbre típica	Observaciones técnicas
Área-Velocidad (molinete, flotador)	Guía Tamari y Aguilar (2010)	$\pm 5\%$ a $\pm 10\%$	Depende de la calidad del perfil de velocidad y número de secciones medidas.
Aforador de cresta delgada triangular	NMX-AA-179-SCFI-2018	± 2 mm o $\pm 0.5\%$ del nivel medido	Sensor sin contacto (ultrasónico, radar o láser); ideal para gastos < 10 L/s.
Aforador de garganta larga (AGL)	NMX-AA-179-SCFI-2018	± 2 mm o $\pm 0.5\%$ del nivel medido	Requiere curva de calibración específica; adecuado para gastos > 10 L/s.
Aforador Doppler (fondo/lateral)	NMX-AA-179-SCFI-2018	$\pm 0.5\%$ a $\pm 2\%$ del gasto instantáneo	Requiere condiciones hidráulicas específicas; sensible a sedimentos y aireación.
Aforador de tiempo de travesía (ATT2/4)	NMX-AA-179-SCFI-2018	$\pm 0.5\%$ a $\pm 1\%$ del gasto instantáneo	Alta precisión; ideal para canales anchos y profundos; mide velocidad y nivel.
Medidor electromagnético de carrete	NMX-AA-179-SCFI-2018	$\pm 0.5\%$ a $\pm 1\%$ del volumen acumulado	Para tuberías a presión; requiere calibración certificada por laboratorio acreditado.

esto, bajo el principio técnico: “Lo que no se mide, no se puede mejorar” (atribuido a William Thomson Kelvin, Lord Kelvin).

Conclusión

La transformación de los Distritos de Riego hacia modelos de gestión inteligente exige una apuesta decidida por el uso de datos confiables, por lo que la medición precisa representa el núcleo de una agricultura sostenible. Iniciativas como el mejoramiento de medición en infraestructura hidroagrícola impulsadas por la CONAGUA y el uso de tecnologías emergentes, permiten replantear el vínculo entre agricultura y agua con una visión moderna, eficiente y equitativa. A partir de este análisis, se identifican implicaciones técnicas y de gestión que reflejan tanto las limitaciones actuales, como las oportunidades de mejora en la operación y gobernanza del recurso hídrico y las líneas de acción prioritarias.

Implicaciones técnicas y de gestión:

- **Déficit promedio:** Una razón extracción/concesión de 76.5% implica menor disponibilidad efectiva y ajustes forzados en superficie bajo riego.
- **Heterogeneidad por distrito:** Diferencias que van de déficits severos (p. ej., DR092C, -67.2%) a excedentes puntuales (DR033, $+28.8\%$) exigen planes diferenciados por cuenca y obras de control.
- **Riesgo metrológico:** Con incertidumbres de $\pm 2\%$ a $\pm 10\%$, un punto de 2 hm³/año puede errar entre ± 0.04 y ± 0.20 hm³/año; extrapolado, estos márgenes afectan

indicadores de eficiencia y cumplimiento.

- **Capacidad operativa limitada:** 76 equipos portátiles para 2,148 puntos restringen la frecuencia de aforos y agrandan la brecha entre mediciones y variabilidad del gasto.
- **Valor de la automatización:** Series continuas con telemetría y SCADA, combinadas con dispositivos de baja incertidumbre, permitirían habilitar planes de riego inteligentes, y respuestas en tiempo real ante eventos extremos.

Beneficios esperados de una gestión basada en datos:

- **Distribuciones equitativas:** Mejor asignación volumétrica por unidad de superficie (ha), y por época de riego, con soporte en medición trazable.
- **Planes de riego inteligentes:** Programación dinámica a partir de series continuas y pronósticos, con priorización por disponibilidad y demanda.
- **Reducción de conflictos:** Menos controversias por entregas mediante registros auditables, y tolerancias metrológicas explícitas.
- **Transparencia y productividad:** Mayor confianza institucional y mejores rendimientos por riego oportuno y suficiente.
- **Resiliencia climática:** Decisiones en tiempo real con automatización para amortiguar sequías y avenidas.
- **La optimización de entregas por tipo de cultivo y re-**

gión, alineando la oferta con la estacionalidad y las particularidades agroclimáticas.

- La detección de fugas, ineficiencias y otros desajustes técnicos, facilitando acciones correctivas oportunas.

Líneas de acción prioritarias:

- Ampliación de redes de observación: Estaciones y puntos digitales: Expandir estaciones meteorológicas y puntos de monitoreo en presas, canales y pozos para cerrar vacíos de información.
- Renovación de instrumentación: Equipos portátiles: Reducir la razón puntos/equipo, elevando la frecuencia de aforos y la representatividad hidrológica. Equipos fijos: Priorizar dispositivos a descarga libre y medidores con curvas de gasto robustas y verificadas.
- Telemetría y SCADA: Estándares y mantenimiento: Implementar sistemas con protocolos de aseguramiento de calidad, redundancias y mantenimiento preventivo.
- Calibración y trazabilidad: Curvas vigentes y certificados: Actualizar curvas escala-gasto, verificar instalaciones de medidores electromagnéticos y resguardar certificados y pruebas de campo.
- Plan anual de aforos: Con cobertura y estacionalidad para calendarizar campañas según hidrogramas locales, caudales pico y estiaje, ajustando el muestreo a la variabilidad del sistema.
- Gestión de la incertidumbre: Con balances e indicadores incluyendo bandas de incertidumbre en balances hídricos, reportes de cumplimiento y decisiones normativas.

En definitiva, solo con un entramado sólido de medición, calibración y aseguramiento de la calidad, sustentado en metodologías de bajo error y en automatización confiable, será posible optimizar el uso del agua. La medición deja de ser una acción técnica aislada y se convierte en un pilar transversal en la gobernanza del recurso hídrico. Con un enfoque participativo, los datos pueden vincular a agricultores, técnicos, investigadores y autoridades, impulsando una gestión colaborativa, resiliente y orientada a resultados. Más allá del método o técnica de aforo utilizada para la medición de agua, lo fundamental es contar con información precisa y confiable sobre el agua realmente consumida, pues solo a partir de estos datos es posible reducir la incertidumbre, optimizar el uso del recurso, distribuir con

equidad y avanzar hacia un riego verdaderamente inteligente, tomando decisiones que fortalezcan la eficiencia y la sostenibilidad del sector agrícola en México.

Referencias

Basco AI, Beliz G, Coatz D, Garnero P (2018). Industria 4.0: fabricando el futuro (Vol. 647). Inter-American Development Bank.

Bautista F, Pacheco A, Dubrovina I (2019). Climate change indicators software for computing climate change indices for agriculture. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 6(17):343. doi:10.19136/era.a6n17.1770

Bonneau V, Copigneaux B, Probst L, Pedersen B (2017). Industry 4.0 in agriculture: focus on IoT aspects. Directorate-General Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs.

Clercq MD, Vats A, Biel A (2018). Agriculture 4.0: the future of farming technology.

Comisión Nacional del Agua (2026). Estadísticas agrícolas de los Distritos de Riego, Gobierno de México - CONAGUA, <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego> [consultado el 10 de febrero de 2026].

Ezcaray IJ, Teknikoa GME, Ingeniari N (2012). Agricultura de precisión: elaboración de mapas de consumo. Universidad Pública de Navarra.

Fernández Prieto L (2016). Camino del cambio tecnológico en las agriculturas españolas: análisis e interpretación. *Revista de Estudios Agroalimentarios*.

García Villanueva NH, Collado J, Hernández Vargas J, García Martínez H (2025). Problemas, retos y oportunidades del sector riego para el desarrollo y la sostenibilidad hidroagrícola en México: Garantía y soberanía alimentaria. Una visión desde los distritos de riego. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA).

Lima PT, Castillo JGC, Barradas RA (2011). Vulnerabilidad agroambiental frente al cambio climático: agendas de adaptación y sistemas institucionales.

Lomelí Osuna JA (2019). La problemática y retos de los distritos de riego en México [Presentación]. Congreso Nacional del Agua, Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, México.

Nava Perdomo E (2023). Potencial de implementación tecnológica de la Industria 4.0 en el sector hidroagrícola: Tesis de Maestría en Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 180.

NMX-AA-179-SCFI-2018 (2018). Medición de volúmenes de agua en tomas de usuarios de aguas nacionales. Secretaría de Economía.

Ramírez Luna JJ, Dehesa Carrasco U, Camacho Peral P (2016). Medición del flujo de agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Russell SJ, Norvig P (2011). Inteligencia artificial: un enfoque moderno. Pearson Educación.

Sotelo Ávila G (2009). Hidráulica de canales. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Tamari S, Aguilar Chávez A (2010). Aforo en canales y presas: Selección de una técnica. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Vermeulen S, Campbell B, Ingram J (2012). Climate change and food

systems. *Annual Review of Environment and Resources* 37:195–222. doi:[10.1146/annurev-environ-020411-130608](https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020411-130608)

Xie NF, Zhang XF, Sun W, Hao XN (2015). Research on big data technology-based agricultural information system. In: Proceedings of the International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications, 2015/06. Atlantis Press, pp 388–390. doi:[10.2991/cisia-15.2015.105](https://doi.org/10.2991/cisia-15.2015.105)