

Impluvium

Publicación digital de la Red del Agua UNAM
Número 24, Julio - Septiembre 2023



CONVERGENCIA TECNOLÓGICA PARA LA GESTIÓN SUSTENTABLE DEL AGUA

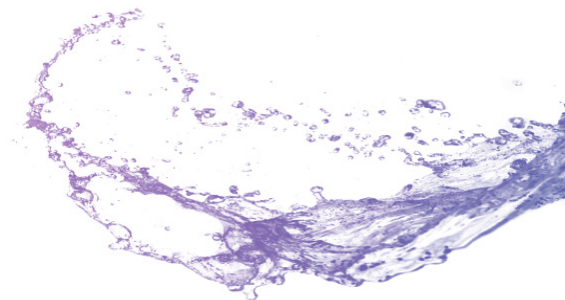
INTRODUCCIÓN

Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) son un conjunto de herramientas, dispositivos, programas informáticos, aplicaciones, redes y medios; que permiten la adquisición, procesamiento, almacenamiento y transmisión de información. Estas tecnologías no sólo son recursos técnicos, sino también motores que impulsan la transformación digital en diversos sectores, potenciando la conectividad y la comunicación en la era contemporánea.

Las TIC son actualmente protagonistas de la transformación del sector hídrico, en el que han impulsado mejoras significativas tanto en la efi-

ciencia operativa como en la gestión de recursos. Primero, permiten un monitoreo en tiempo real, identificando y abordando rápidamente problemas potenciales, como fugas y contaminación. Además, facilitan la optimización de recursos al proporcionar datos precisos sobre la disponibilidad y calidad del agua, lo que contribuye a una planificación más efectiva y sostenible, así como a la adaptación a desafíos emergentes.

Las TIC también fortalecen la resiliencia frente a crisis hídricas al posibilitar la gestión proactiva de eventos extremos, como sequías o inundaciones. La capacidad de prever y responder rápidamente



a tales situaciones es crucial para la seguridad hídrica a largo plazo. Este enfoque preventivo tiene implicaciones positivas tanto para la salud pública como para la sostenibilidad ambiental.

Por último, las TIC fomentan la participación ciudadana al proporcionar plataformas interactivas y aplicaciones móviles, involucrando a la comunidad en la gestión del agua. Además, su aplicación en la agricultura y la conservación de ecosistemas acuáticos contribuye a una utilización más sostenible de los recursos, preservando la biodiversidad y abordando los desafíos ambientales. En conjunto, la convergencia tecnológica en el sector hídrico se presenta como un catalizador esencial para una gestión hídrica eficiente, sostenible y adaptable a los desafíos en constante evolución.

Este número especial de Impluvium presenta una exploración detallada de diversas temáticas relacionadas con la convergencia tecnológica en el sector hídrico. Los autores de los artículos compartieron sus conocimientos desde sus campos de especialización, contribuyendo al enriquecimiento del entendimiento sobre la gestión hídrica en la era digital.

En este número, se aborda el uso de simulaciones numéricas para la gestión de recursos hídricos, desglosando aplicaciones que van desde la modelación hidrológica hasta la simulación de calidad del agua. A través de ejemplos, se ilustra cómo estas simulaciones computacionales son herramientas poderosas en el análisis del agua.

Además, se explora la superación de la resistencia operativa en la implementación de tecnologías para mejorar sistemas de agua potable, destacando experiencias prácticas que evidencian la importancia del liderazgo, la capacitación y el cambio cultural en este proceso.

La aplicación de geotecnologías en la gestión agrícola se examina detalladamente, revelando cómo la geomática, satélites y drones se convierten en aliados cruciales para contrarrestar la escasez de agua. Se destaca, además, la contribución significativa de la inteligencia artificial en el procesamiento de grandes cantidades de datos para optimizar la gestión de recursos hídricos en la agricultura.

El análisis se extiende a la fusión de tecnología satelital e inteligencia artificial, examinando cómo

estas herramientas enfrentan desafíos climáticos y de crisis hídrica. Desde la predicción de eventos climáticos extremos hasta la detección de contaminantes, estas tecnologías se revelan como esenciales para una gestión eficiente de los recursos hídricos.

Finalmente, se sumerge en el monitoreo y control en humedales construidos, destacando el papel crucial de los sensores en la conservación de hábitats acuáticos. Esta exploración ofrece perspectivas valiosas sobre cómo contrarrestar el daño ambiental, subrayando la importancia de los humedales construidos y los sensores como herramientas esenciales en esta lucha continua. 💧

DRA. FLOR LIZETH TORRES ORTIZ
INVESTIGADORA DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM



Impluvium es una publicación de la Red del Agua UNAM; puede ser reproducida con fines no lucrativos, siempre y cuando no se mutile, se cite la fuente completa y su dirección electrónica. Los artículos compartidos son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente la opinión de la Red del Agua UNAM o de sus miembros.

Comité editorial:

Dr. Fernando J. González Villarreal
Coordinador Técnico Red del Agua UNAM

M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina
Coordinador Ejecutivo de la Red del Agua UNAM

Mtra. Malinali Domínguez Mares
Coordinadora de Asesores de la
Dirección General del IMTA

Mtra. Ana Gabriela Piedra Miranda
Responsable de comunicación organizacional del
Centro Regional de Seguridad Hídrica
bajo los auspicios de UNESCO

Editora invitada:
Dr. Flor Lizeth Torres Ortiz
Investigadora del Instituto de Ingeniería UNAM

Diseño gráfico y formación:
Lic. Joel Santamaría García
Lic. Marie Claire Mendoza Muciño

Publicación digital de la Red del Agua UNAM.
**Número 24, Convergencia tecnológica para
la gestión sustentable del agua.**
Julio - Septiembre 2023

www.agua.unam.mx/impluvium.html

Impluvium es la publicación digital de divulgación de la Red del Agua UNAM, Año 9, No.24, Julio – Septiembre 2023. Es una publicación trimestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, a través de la Red del Agua de la UNAM, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Instituto de Ingeniería, edificio 5, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, Tel. (55) 56233600 ext.8745, <http://www.agua.unam.mx/impluvium.html>, jarragam@iingen.unam.mx. Editor responsable: M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina. Reserva de Derechos al uso Exclusivo: en trámite., ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Red del Agua UNAM, M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Instituto de Ingeniería, edificio 5, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México fecha de la última modificación, Noviembre 2023.

CONTENIDO

Introducción 2

Dra. Flor Lizeth Torres Ortiz

ARTÍCULOS

Simulación computacional para análisis de agua: una herramienta poderosa para la gestión de recursos hídricos. 8

Williams de Jesús Jiménez-Martínez
y Juan Carlos Vázquez-Lira

Rompiendo barreras: Construyendo confianza en la tecnología para mejorar los sistemas de agua potable y superar resistencias operativas 15

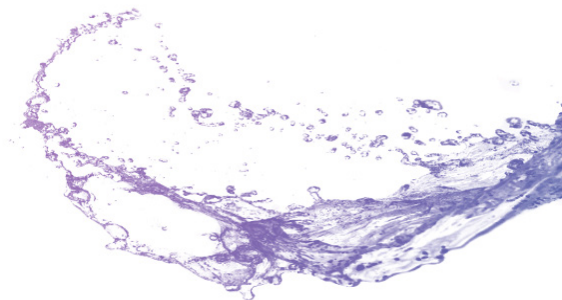
Jesús Rubén Sánchez-Navarro, Carmen Julia Navarro-Gómez,
David H. Sánchez y Manuel Altes

Detección de acuíferos próximos a caer en déficit mediante técnicas de aprendizaje automático no supervisado . . . 24

Alberto González Sánchez
y Ronald Ernesto Ontiveros Capurata

Las geotecnologías como herramienta para una mejor gestión de recursos hídricos en la agricultura. 32

Ronald Ernesto Ontiveros Capurata
y Alberto González Sánchez



**El Poder Transformador de la tecnología
satelital e Inteligencia Artificial en
la Gestión de los Recursos Hídricos 39**

Mariana Domínguez Salazar,
José Luis Hernández Martínez y Tamara Luengo Schreck

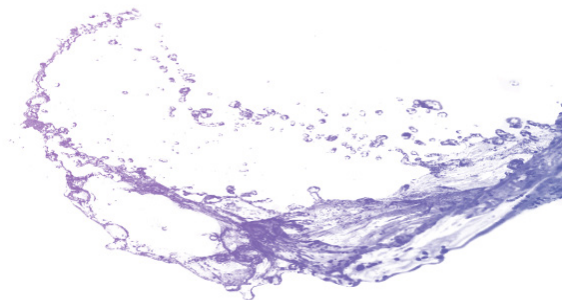
**Explorando el Futuro Ambiental:
Monitoreo y control en humedales
construidos con ayuda de Sensores. 47**

Abdiel Isai Ventura Flores, Georgina Martínez-Reséndiz
y Luis Carlos Sandoval Herazo



SIMULACIÓN COMPUTACIONAL PARA ANÁLISIS DE AGUA: UNA HERRAMIENTA PODEROSA PARA LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

**WILLIAMS DE JESÚS JIMÉNEZ-MARTÍNEZ
Y JUAN CARLOS VÁZQUEZ-LIRA**
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO,
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA



Resumen:

La simulación computacional es una herramienta poderosa para el análisis y gestión de los recursos hídricos. En este artículo se revisan las principales aplicaciones de la simulación computacional en el análisis del agua, incluyendo la modelación hidrológica, la simulación de calidad de agua y la gestión de recursos hídricos. Mencionando ejemplos de modelos y herramientas computacionales utilizados para cada aplicación.

Introducción:

El agua es un recurso esencial para la vida en nuestro planeta. Su gestión adecuada es vital para

garantizar la sostenibilidad y el bienestar humano. La demanda de agua dulce está aumentando debido al crecimiento demográfico, la urbanización y el cambio climático. Por lo tanto, es importante gestionar adecuadamente los recursos hídricos para garantizar la disponibilidad y calidad del agua para las generaciones presentes y futuras. La simulación computacional es una herramienta poderosa para la gestión de recursos hídricos. Los modelos de simulación pueden representar sistemas naturales complejos y simular diferentes escenarios para evaluar su impacto en el agua. Por ejemplo, se pueden estudiar diferentes niveles de precipitación, la

construcción de nuevas presas o la implementación de prácticas de conservación del agua para evaluar cómo afectarían la oferta y demanda de agua en una región.

De manera general, la gestión adecuada de los recursos hídricos es esencial para garantizar la sostenibilidad y el bienestar humano. La simulación computacional es una herramienta poderosa que puede ayudar a los planificadores a tomar decisiones informadas sobre la gestión del agua. Al simular diferentes escenarios, se pueden evaluar los impactos de las estrategias de gestión de recursos hídricos y tomar medidas para garantizar la disponibilidad y calidad del agua para las generaciones presentes y futuras.

Modelación hidrológica

La modelación hidrológica es una aplicación clave de la simulación computacional en el análisis de agua. Esta utiliza datos meteorológicos, topográficos y otros para simular el ciclo hidrológico. Estos modelos pueden simular la precipitación, la evapotranspiración, la escorrentía y la recarga de

agua subterránea. Los resultados de la modelación hidrológica se utilizan para la planificación de la gestión de recursos hídricos, inundaciones y la evaluación del impacto ambiental.

Un ejemplo de modelo hidrológico ampliamente utilizado es SWAT (Soil and Water Assessment Tool), que ha sido aplicado en diversos estudios a nivel mundial para la gestión de recursos hídricos y la evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos, teniendo como ventajas la integración de diferentes datos meteorológicos, topográficos, uso de suelo y calidad de agua, además de tener la características de ser código abierto, sin embargo, algunas de sus desventajas son que al requerir una gran cantidad de datos de entrada, puede no tener resultados precisos en algunos lugares de difícil acceso (Neitsh et al., 2011; Liu et al., 2019). Otro modelo hidrológico ampliamente utilizado es el modelo HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System), desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, que ha sido utilizado para el diseño y evaluación del sistema de control

de inundaciones y la gestión de recursos hídricos y que al ser usado en la industria e investigación, posee una amplia gama de recursos y documentación informativa, aunque para su uso se debe tener experiencia en modelado hidrológico (USACE, 2000).

Simulación de la calidad del agua

La simulación de la calidad del agua es otra aplicación importante empleando herramientas computacionales. Los modelos de calidad simulan entre varios factores, el transporte y la transformación de contaminantes. Estos modelos pueden evaluar el impacto de las descargas de aguas residuales en los cuerpos de agua y ayudar a diseñar sistemas de tratamiento de aguas residuales. Los modelos de calidad del agua también se utilizan para evaluar el impacto de la agricultura, la industria y otros usos del agua en su calidad. Un modelo para realizar lo antes mencionado es el software QUAL2K, que ha sido utilizado en varios estudios para evaluar el impacto de las descargas de aguas residuales en la calidad del agua de los ríos, obteniendo datos rela-

cionados con la concentración de oxígeno disuelto, nitratos, nitritos, sedimentación y adsorción de metales pesados. Como desventaja se tiene que, al procesar una gran cantidad de datos, el tiempo de resolución puede ser largo (Brown et al., 2013; Chen et al., 2021). Otro de estos modelos es CE-QUAL-W2, el cual es utilizado en la gestión de lagos, embalses y ríos para evaluar el impacto de los cambios en condiciones hidrológicas en los ecosistemas acuáticos debido a las actividades humanas, un punto el cual otros simuladores no manejan de manera directa (Cole y Wells, 2018).

Gestión de recursos hídricos

Los modelos de gestión de recursos hídricos simulan el uso de agua en diferentes sectores, como la agricultura, la industria y el suministro de agua potable. Estos modelos ayudan a visualizar diferentes escenarios en los cuales se evalúa el impacto en la disponibilidad y calidad del agua. Estos modelos también pueden ayudar a diseñar políticas y estrategias de gestión de recursos hídricos.

WEAP (Water Evaluation and Planning) es un modelo de este tipo de gestión, ha sido utilizado para estudiar la gestión sostenible de recursos acuíficos mediante la simulación de diferentes escenarios de manejo del agua, como la construcción de nuevos embalses, la implementación de prácticas de conservación y la gestión de demanda de agua (Yates et al., 2005; Giordano et al., 2017). Para este fin también existe el modelo MODSIM (Modular Modeling System), el cual ayuda para gestiones en cuencas hidrográficas en diferentes estaciones del año y las diferentes demandas de agua en los diferentes sectores como industrial, agricultura y abastecimiento de agua potable (Liu et al., 2008).

Plataformas educativas para la enseñanza de modelos y herramientas computacionales para análisis de agua

En la actualidad existen diversas plataformas educativas en línea que permiten a los estudiantes acceder a recursos y materiales educativos e interactivos, sobre modelación, simulación y análisis de agua. Estas plataformas incluyen conceptos, simu-

lación de prácticas y aplicaciones computacionales para los recursos hídricos.

Entre los simuladores que se pueden encontrar en la red está HydroLearn, la cual es una plataforma que proporciona una serie de herramientas y recursos de enseñanza, incluyendo simulaciones, videos, ejercicios y juegos educativos; el cual fue desarrollado por la Universidad de Nebraska-Lincoln y puede ser utilizado de manera gratuita.

También se encuentra Hydrology Studio, la cual es otra herramienta de modelación hidrológica en línea que permite a los usuarios simular el flujo de agua en una cuenca hidrográfica y evaluar diferentes escenarios de gestión de recursos hídricos.

Específicamente en la licenciatura de Química Farmacéutico Biológica (QFB), impartida en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FES Zaragoza) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se cuenta en su plan de estudios con los módulos de Laboratorio de Ciencias Básica II en segundo semestre, Química Analítica en tercer semestre, Microbiología I en sexto semestre, en las cuales se transmiten los tópicos para análisis

fisicoquímicos y microbiológicos del agua, donde se abordan contenidos relacionados con el procedimiento para estos análisis y la norma mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015. Esta norma menciona las características de los reactivos químicos y cálculos necesarios para su análisis, sin embargo, debido a la alta matrícula de alumnos hay dificultades para el desarrollo adecuado de ejecución de las prácticas. Para ayudar un poco con ésta problemática, se cuenta con algunos materiales didácticos y simuladores desarrollados por la línea de investigación de Educación multimedia, Interactiva y Virtual en el Laboratorio de Simulación Química de la Unidad

Multidisciplinaria de Investigación Experimental Zaragoza (UMIEZ), los cuales cuentan con las facilidades necesarias para simular análisis químicos de dureza, acidez y alcalinidad del agua, así como la obtención de cálculos teóricos de pH y conductividad para aumentar las habilidades previstas en las prácticas de laboratorio (Vázquez-Lira, 2023). En consecuencia, se organizan y planifican estrategias didácticas las cuales permiten el aprendizaje y trabajo autodidacta de los estudiantes, la integración horizontal y vertical de las asignaturas de la carrera y el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). ♦

Referencias:

- Brown, L.c., Barnwell, T. O. (2013). *The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual*. U.S. Environmental Protection Agency: Athens, Georgia.
- Chen, Y., Zhang, Y., Huang, T., Xu, M., 2021. Water quality modeling and management of a river with complex pollution sources. *Journal of Hydrology*. 597, 126092.
- Cole, T. M., Wells, S. A. (2018). CE-QUAL-W2: A two-dimensional, laterally averaged, hydrodynamic and water quality model. Version 3.71. U. S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, Mississippi.
- Giordano, M., Lazzari, M., Sávic, D. A., Kapelan, Z. (2017). A review of recent developments in urban water demand forecasting models. *Environmental Modelling & Software*. 94, 23-37.
- HydroLearn. Recuperado el 8 de mayo de 2023. Disponible en: <https://hydromechanics.github.io/HydroLearn/>
- Hydrology Studio. Recuperado el 8 de mayo de 2023. Disponible en: <https://www.hydrologystudio.com/>
- WaterGEMS. Recuperado el 8 de mayo de 2023. Disponible en: <https://www.bentley.com/en/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/watergems>
- Liu, Y., Li, Y., Wan, S., Wang, H. (2008). Water resources management simulation using MODSIM in the arid region of northwestern China. *Water Resources Management*. 22, 1675-1689.
- Liu, X., Zhang, L., Zhang, Z., Li, J. (2019). SWAT model application and uncertainty analysis for water resources management in the Yellow River basin of China. *Water*. 11, 476.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams, J. R. (2011). *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009*. Texas Water Resources Institute, Texas A&M University System, College Station, Texas.
- Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015. Diario Oficial de la Nación [en línea]. 2015 [fecha de consulta 9 de mayo de 2023]. Disponible en: [nmx-aa-034-scfi-2015.pdf](https://www.dof.gob.mx/2015/05/09/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf)
- U. S. Army Corps of Engineers (USACE). (2000). *Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) User's Manual. Version 3.0*. U. S. Army Corps of Engineers: Davis, California.

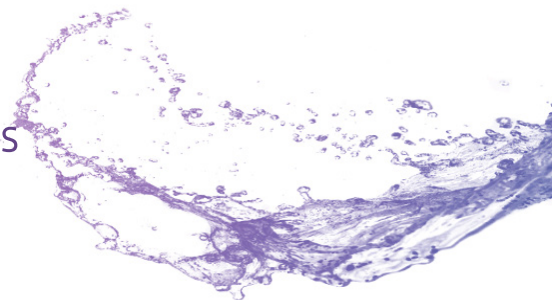
Vázquez-Lira, J. C. (18 de agosto de 2022). Fisicoquímica Interactiva. Blog en Fisicoquímica Aplicada (<https://blogceta.zaragoza.unam.mx/fisico-qa/>). Portal Web de la Biblioteca Digital de la FES Zaragoza Campo 2. <https://zar2.bibliotecas.unam.mx/index.php/recursos-en-linea/biblioteca-digital-zaragoza/quimica-farmaceutico-biologica>

Yates, D., Purkey, D., Sieber, J., Huber-Lee, A. (2005). WEAP21 – A demand, priority and preference driven water planning model. Part 1: Model characteristics. *Water International*. 30, 487-500.

ROMPIENDO BARRERAS: CONSTRUYENDO CONFIANZA EN LA TECNOLOGÍA PARA MEJORAR LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y SUPERAR RESISTENCIAS OPERATIVAS

JESÚS RUBÉN SÁNCHEZ-NAVARRO,
CARMEN JULIA NAVARRO-GÓMEZ, DAVID H. SÁNCHEZ
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

MANUEL ALTES
JUNTA MUNICIPAL DE AGUA Y SANEAMIENTO DE CHIHUAHUA



RESUMEN

La tecnología en la gestión del agua potable busca ser de utilidad para incrementar la eficiencia y calidad del servicio. Sin embargo, en Latinoamérica, los operarios de los sistemas han mostrado resistencia al uso de tecnología por la falta de capacitación, la cultura organizacional arraigada, la falta de recursos y políticas inadecuadas. La Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua ha implementado tecnología de sensores de presiones y caudales, lo que ha proporcionado valiosa información y ha mejorado la eficiencia en la gestión del sistema de distribución de agua. Se ha aumen-

tado el porcentaje de usuarios con servicio las 24 horas, pasando del 12% al 36%. Es posible superar la resistencia de los operarios mediante una combinación de capacitación, cambio de cultura y asignación adecuada de recursos. Es necesario liderazgo, aprendizaje y evaluación sistemática para el convencimiento tanto del operario como de los usuarios en general.

INTRODUCCIÓN

La adopción de tecnología puede generar beneficios significativos en términos de eficiencia y cali-

dad del servicio de agua potable, asegurando un suministro adecuado y seguro para la comunidad (González et. al, 2022).

Sin embargo, uno de los desafíos comunes en Latinoamérica es la resistencia al cambio por parte de los operarios encargados de los sistemas de abastecimiento y distribución de agua potable cuando se trata de adoptar tecnología (García et al., 2007). Esta resistencia puede tener un impacto significativo en la efectividad de la implementación de dichas tecnologías (González et al., 2019; Helios, 2022). Diversos estudios han abordado este tema (Palma y Miranda, 2018) en los cuales se han identificado las causas de la resistencia y los factores que contribuyen a la poca efectividad de la adopción tecnológica en la gestión del agua (Aguilar Barajas et al., 2015).

En estudios realizados por Severiche Sierra (2016) y Galván-Valencia et al. (2019), se han identificado diversas razones detrás de la resistencia de los operarios. Principalmente, se destaca la falta de capacitación y familiaridad con las nuevas tecnologías, lo que puede generar temor al cambio y

desconfianza en su correcto funcionamiento. Asimismo, la falta de comunicación y participación de los operarios en el proceso de implementación puede propiciar actitudes negativas hacia la tecnología y aumentar la resistencia.

Un factor adicional de gran relevancia es la cultura organizacional arraigada en los sistemas de agua potable, donde se valora en gran medida las prácticas tradicionales y la experiencia empírica, especialmente cuando se trata del cambio de estafeta, especialmente en contextos sindicales. Además, la falta de reconocimiento e incentivos para aquellos que adoptan tecnologías innovadoras puede desmotivar a los operarios y dificultar su adopción. La inclusión de plazas acordes a perfiles específicos en los organigramas también se ve obstaculizada por la existencia de contratos colectivos que priorizan la antigüedad por encima del conocimiento y las habilidades necesarias (E. & Salazar, A, 2017; Cunial y Napolini, 2023). Asimismo, la falta de recursos financieros y tecnológicos, así como la infraestructura obsoleta (Basani Marcello y Víctor Arroyo, 2019), limitan la implementación efectiva

de la tecnología en los sistemas de agua potable en Latinoamérica. La ausencia de políticas claras y marcos regulatorios sólidos también puede obstaculizar la adopción y uso de tecnologías avanzadas (Berestovoy, 2017).

DESARROLLO

La Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS) de Chihuahua ha enfrentado desafíos significativos en su intento por cambiar los paradigmas y mejorar la operación del personal. Anteriormente, el personal se basaba en métodos intuitivos o empíricos para llevar a cabo sus tareas, lo que resultaba en una gestión ineficiente y en problemas operativos.

Un aspecto de gran relevancia en las decisiones basadas en

métodos intuitivos es la implementación de una política de suministro intermitente hace 40 años. Esta decisión se convirtió en algo normalizado y fue heredada en el traspaso de responsabilidades entre operarios, lo que ha dificultado cada vez más la operación de la red y ha llevado a la fragmentación de las zonas de servicio (Véase Figura 1).

Disminuyendo la calidad del servicio prestado, a pesar de incrementar la oferta de agua extraída y suministrada al sistema (Véase Figura 2).

Debido a que el flujo del agua se veía “forzado” en un tiempo más corto, especialmente en las líneas secundarias para el trasvase entre zonas, se generaba una sobre presión que impulsaba el flujo y causaba desplazamientos de aire en las tuberías durante el vaciado y llenado.

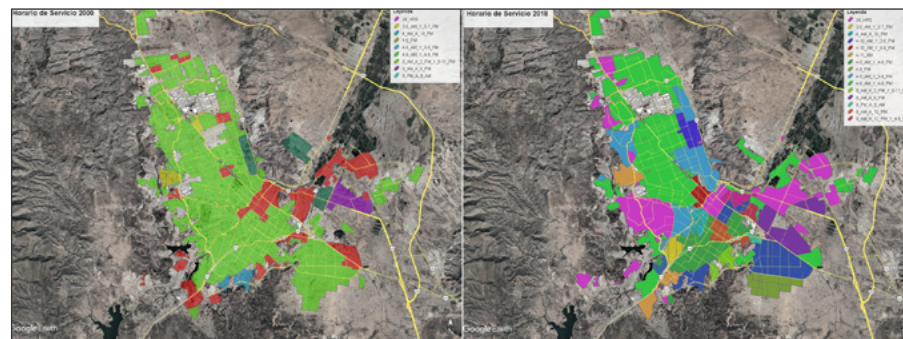


Figura 1

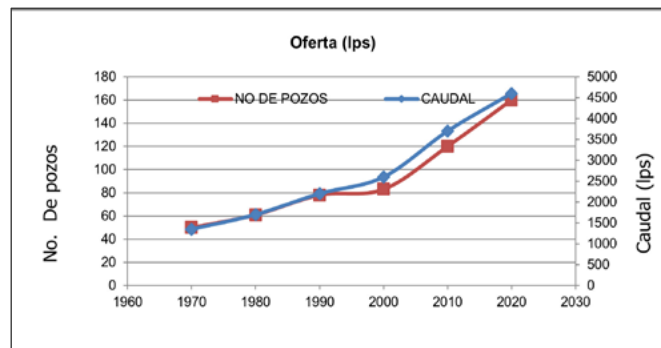


Figura 2.

Esta situación resultaba en una mayor demanda de agua y, como consecuencia, mayores volúmenes de pérdida de agua (Véase Figura 3), lo cual es paradójico ya que, a pesar de un aparente aumento en la eficiencia física en términos porcentuales, el problema persistía.

A pesar de los esfuerzos realizados para aumentar la oferta y mejorar el servicio, los resultados tangibles en la operación eran escasos y apenas perceptibles para el usuario. Esto llevaba a que los usuarios no solo normalizaran un servicio ineficiente, sino que también lo utilizaban como justifi-

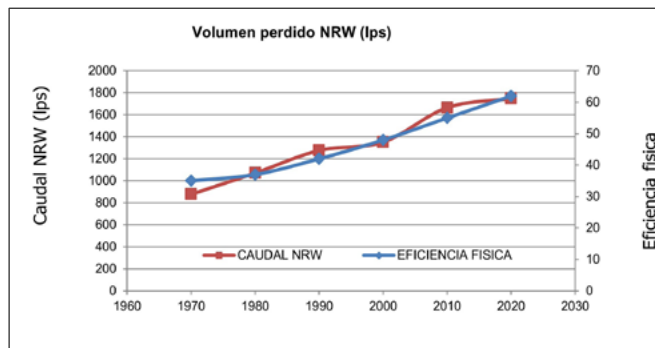


Figura 3.

cación para no realizar los pagos correspondientes. Con el tiempo, esta actitud se fue arraigando en la cultura del pago del agua.

Para superar estos desafíos, la JMAS de Chihuahua ha llevado a cabo una transición hacia un sistema más orientado a datos y tecnología. Sin embargo, se encontró con la resistencia por parte de los operarios, muchos de los cuales tienen alrededor de 35 años trabajando y están acostumbrados a operar el suministro de manera intermitente. Conocerlos y generar la “confianza” y “comprensión” necesarias en los operarios para adoptar estas nue-

¿Cómo se mide la presión?



Registrador



Manómetro de Bourdon

Figura 4.

vas prácticas llevó tiempo, aproximadamente entre uno y un año y medio. Durante este proceso, los operarios evaluaban y comparaban las ventajas y eficacia de la nueva instrumentación (Véase *Figura 4*), antes de estar completamente convencidos.

A partir de ese convencimiento, se inició un cambio, desde implementar el diseño constructivo para tener certeza en el funcionamiento (Véase

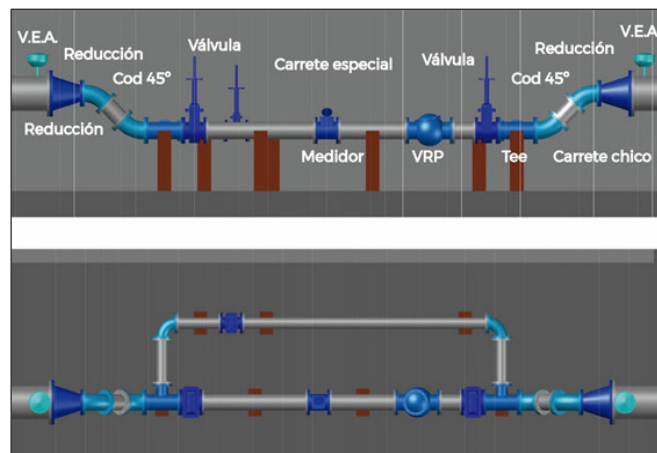


Figura 5.

Figura 5), hasta la transición de un suministro intermitente controlado a un suministro continuo.

En particular, se han utilizado sensores para medir las presiones en puntos críticos y los caudales en las entradas a los sectores implementados (Véase *Figura 6*), con lo cual se tiene la presión en el periodo del día con mayor demanda, garantizando que el recurso esté disponible en tiempo y cantidad

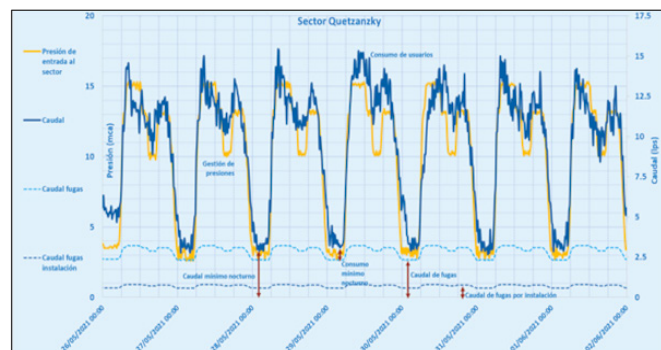


Figura 6.

suficiente para la operación correcta de las instalaciones hidrosanitarias domésticas.

La incorporación de sensores ha permitido recopilar datos precisos y en tiempo real sobre el funcionamiento del sistema de distribución de agua. Esto permite definir un horario de servicio acorde a la permanencia y magnitud de la presión dentro de los sectores, así como determinar la presión mínima en horario nocturno para evitar la pérdida de volúmenes de agua. Sin embargo, es importante mencionar que esta implementación ha requerido una labor de informar y convencer a

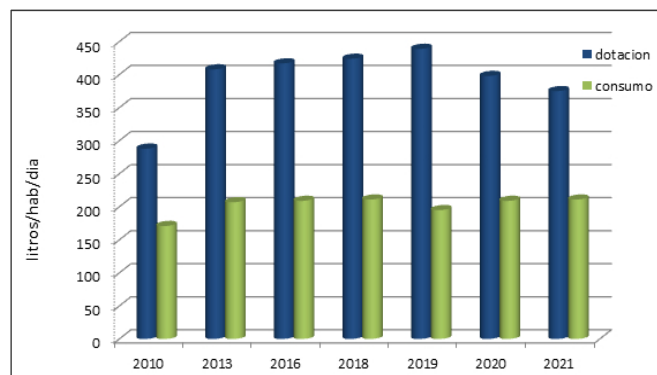


Figura 7.

los usuarios, ya que algunos de ellos han expresado quejas sobre la falta de presión en sus hogares y mencionan que ahora toma más tiempo llenar, por ejemplo, sus lavadoras.

Se puede apreciar en la Figura 7, como la estimación de consumo ha permanecido en el tiempo, alrededor de 200 litros/habitante/día y la dotación se fue incrementando, teniendo una disminución a partir del 2019, cuando ya se tienen resultados de la sectorización y gestión de presiones.

Gracias a la implementación de sensores, la JMAS ha logrado identificar de manera más rápida y precisa problemas en la red de distribución de agua, como fugas o desequilibrios en los flujos. Esta mejora ha permitido una respuesta más ágil ante situaciones de emergencia y ha contribuido significativamente a la reducción de pérdidas de agua.

CONCLUSIONES

En resumen, la resistencia de los operarios en los sistemas de abastecimiento y distribución de agua potable en Latinoamérica hacia la tecnología tiene diversas causas, incluyendo la falta de capacitación, la arraigada cultura organizacional y la insuficiencia de recursos y políticas adecuadas.

El cambio de paradigma ha implicado un proceso de capacitación y adaptación para el personal de la JMAS. Han tenido que aprender a interpretar y utilizar los datos recopilados por los sensores para tomar decisiones efectivas. Actualmente, el desafío es lograr una mayor automatización en el análisis y la transición hacia el uso de inteligencia artificial para optimizar los patrones de operación.

“La lección fundamental radica en comprender que la mera adquisición de tecnología no basta para generar la innovación necesaria y promover un desarrollo equitativo en la sociedad, ni para mejorar los sistemas de agua potable. Debe ir acompañada por un enfoque continuo de cambio en la mentalidad de gestión, tanto en el personal de las organizaciones como en la sociedad en su conjunto.” 💧

BIBLIOGRAFÍA

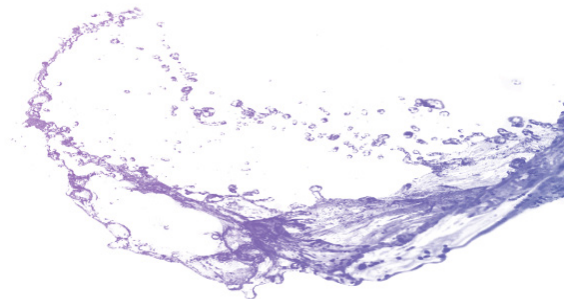
- González, F., Romero, J.A. y Arriaga, J.A. (2022). Inteligencia artificial y convergencia tecnológica en el sector hídrico. Revista H2O, https://issuu.com/helios_comunicacion/docs/h2o-32-int_fin-issuu
- García Rubiano Mónica, Andrea Rubio Paola y Bravo Laura. (2007). Relación entre los factores de riesgo psicosocial y la resistencia al cambio organizacional en personal de seguridad de una empresa del sector económico terciario. Diversitas Vol. 3 Núm. 2. DOI: [10.15332/s1794-9998.2007.0002.10](https://doi.org/10.15332/s1794-9998.2007.0002.10)
- González Sarmiento E., Roa Pérez Jh., Ortiz-Ospino L. (2019), "Análisis de las tecnologías en sistemas de abastecimiento de agua potable", Investigación y Desarrollo en TIC, vol. 10, no. 2, pp. 32-44
- Helios Comunicación. (2022). Agua digital: el camino a la transformación. <https://www.heliosmx.org/category/ingenieria/h2o-gestion-del-agua/>
- Aguilar Barajas Ismael, Mahlkecht Jürgen, Kaledin Jonathan, Kje-llén Marianne y Mejía-Betancourt Abel. (2015). Agua y ciudades en América Latina: retos para el desarrollo sostenible. Monografía del BID ; 574. Centro del Agua de América Latina, ITESM, 978-1-59782-298-5 (Digital)
- Palma, J. A., & Miranda, I. R. (2018). Análisis sobre la resistencia al cambio tecnológico de los colaboradores en Latinoamérica. Una revisión de la literatura científica en el periodo 2008-2018 [Trabajo de investigación, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/23031>
- Severiche Sierra, Carlos, Muñoz Rojas, Delvis y Morales José Jai-mes. (2016). Gestión del conocimiento en sector de agua potable y saneamiento básico en Colombia. Omnia. 22(1):91-105. ISSN: 1315-8856. Disponible en : <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73747750008>
- Santiago Cunial y Giovanna Napolini (2023). El diálogo como motor de la transformación. Blog BID Mejorando vida. Agua, Saneamiento y Residuos Sólidos. <https://blogs.iadb.org/agua/es/el-dialogo-como-motor-de-la-transformacion/>
- E. & Salazar, A. (2017). Gestión de recursos humanos en organismos de agua de Hermosillo y Mexicali [Hu-Gestión de recursos humanos en las empresas de agua de Hermosillo y Mexicali. Estudios Fronterizos, 18(36), 25-53, doi:[10.21670/ref.2017.36.a02](https://doi.org/10.21670/ref.2017.36.a02)

Basani Marcello y Víctor Arroyo (2019). Tecnología e innovación para llevar agua y saneamiento a todos en América Latina y el Caribe. Blog BID Mejorando vida. <https://blogs.iadb.org/agua/es/tecnologia-e-innovacion-para-llevar-agua-y-saneamiento-a-todos-en-america-latina-y-el-caribe/>

Berestovoy Verónica. (2017). La crisis del agua y la importancia de la tecnología. Blog iagua. <https://www.iagua.es/blogs/veronica-berestovoy/crisis-agua-y-importancia-tecnologia>

DETECCIÓN DE ACUÍFEROS PRÓXIMOS A CAER EN DÉFICIT MEDIANTE TÉCNICAS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO NO SUPERVISADO

ALBERTO GONZÁLEZ SÁNCHEZ,
RONALD ERNESTO ONTIVEROS CAPURATA
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA



Resumen

Desde 2009 el número de acuíferos en México considerados en déficit se ha incrementado por la disminución de la disponibilidad media anual (DMA) de agua para extracción. Para encarar este problema se requiere de información oportuna sobre la DMA de cada acuífero antes de su sobrecarga. Las técnicas de aprendizaje automático no supervisado ofrecen una alternativa de solución a los métodos tradicionales, ya que identifican patrones y tendencias basados en métricas de similitud. Este trabajo utiliza la técnica de Fuzzy C-Means (FCM) para detectar acuíferos propensos a caer en déficit, con base a las características de acuíferos que ya

presentan dicho estado. Los resultados indican que es posible detectar hasta 53% más de acuíferos propensos al déficit que el análisis tradicional basado en únicamente DMA, por lo que el uso de FCM puede convertirse en una herramienta de detección temprana del déficit de acuíferos.

Introducción

En México, los acuíferos aportan el 36.4% y 39.1% del volumen total de agua utilizado en la agricultura y concesionado para usos consuntivos, respectivamente (CONAGUA, 2018). A partir del año 2001, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) ha reali-

zados estudios para estimar el volumen de agua disponible para extracción en cada acuífero a partir de características climáticas e hidrológicas (NOM-011-CONAGUA-2000, NOM-011-CONAGUA-2015). Con base en estas estimaciones, desde el 2009 se publica la disponibilidad media anual de agua (DMA) de los acuíferos a nivel nacional, este dato se considera como referencia para el otorgamiento de concesiones y evitar su sobreexplotación. No obstante, desde la primera publicación, hay un incremento en el número de acuíferos con déficit, donde el volumen concesionado supera la recarga (Tabla 1). Este incremento está directamente relacionado con el aumento del porcentaje del agua subterránea empleado para usos consuntivos (Véase Figura 1).

Detectar los acuíferos que pueden caer en déficit con suficiente oportunidad es crucial para evitar su sobreexplotación y garantizar el aprovechamiento sustentable del agua. Los modelos físicos pueden emplearse para esta tarea (Kanyama et al., 2020), pero son costosos y requieren de una calibración con datos de campo (Coulibaly et al., 2001). Como alternativa surgen los modelos de

Tabla 1. Cantidad de acuíferos en déficit acorde a publicaciones oficiales

Año	# de acuíferos	
	En déficit	Con disponibilidad
2009-2011 (en parcialidades)	174	479
2013	193	460
2015	203	450
2018	245	408
2020	275	378

Figura 1. Volumen concesionado para usos consuntivos a nivel nacional según tipo de fuente (miles de hm³) para el periodo 2008-2018 (CONAGUA, 2018)

aprendizaje automático (Machine Learning, ML), que identifican patrones y tendencias usando información histórica, pero que no requieren de un conocimiento sobre las relaciones físicas que rigen el flujo de agua subterránea (Steyn, 2018). Diversas técnicas de ML, como las redes neuronales artificiales (Daliakopoulos et al., 2005) y los bosques aleatorios, se han utilizado para resolver problemas



relacionados con el agua subterránea (Solomatine y Ostfeld, 2008). Estas técnicas pertenecen al aprendizaje supervisado, que requieren de ejemplos etiquetados para la construcción de los modelos (Han y Kamber, 2006), lo que dificulta su aplicación generalizada. En contraste, los métodos no supervisados, como el clustering difuso Fuzzy cMeans (FCM) (Bezdek et al., 1984), pueden inferir relaciones entre la información analizada sin requerir de datos preetiquetados. En este sentido, este trabajo se presenta el algoritmo nAcuifDef, que utiliza la

técnica FCM para la detección de acuíferos propensos al déficit. nAcuifDef muestra ventajas relevantes sobre el ordenamiento basado en la DMA, siendo un ejemplo de cómo se pueden abordar problemas complejos con incertidumbre.

Desarrollo

Construcción del conjunto de aprendizaje

El conjunto de aprendizaje fue construido a partir de características climáticas, uso de suelo, permeabilidad, concesiones y la DMA de los acuíferos (Tabla 2). Las variables climáticas (temperaturas y precipitación) fueron procesadas con el software QGIS para obtener valores promedio para cada acuífero. En el caso de uso de suelo y permeabilidad se utilizó la intersección espacial con el límite de cada acuífero, determinando el porcentaje de superficie que corresponde a cada clase. Para el tipo de concesionamiento, se consideró la proporción de volumen concesionado para cada uso. Finalmente, el porcentaje de volumen disponible (PVD) de cada

acuífero se calculó con base en la DMA empleando la ecuación 1.

$$PVD \text{ (\%)} = \left(\frac{DAS+DEF}{R} \right) * 100 \tag{1}$$

Donde, DAS es la disponibilidad de agua subterránea (hm³), DEF es la contraparte negativa (hm³)

y R es la recarga (hm³). A partir de la información anterior se construyó la base de datos de entrenamiento de 30 atributos y 653 registros del año 2009, denominada “datosAcuif”. Los valores de PVD de los años 2013, 2015, 2018 y 2020 fueron utilizados para validación.

Tabla 2. Información consultada para clasificar los acuíferos

Tipo de información	Parámetro	Fuente	Período	Formato
Climatología	Temperaturas, precipitación y evapotranspiración potencial anual	Global Climate Monitor (GCM) (Research Climate Group, s/f)	2005 - 2009	Vectorial
Uso del suelo y vegetación	Delimitación de uso del suelo	(CONABIO, 2018)	Publicado en 2009	Vectorial
Permeabilidad	Permeabilidad del suelo	(CONABIO, 2018)	1990	Vectorial
Concesiones	Volumen concesionado de agua subterránea (en miles de m3)	(CONAGUA, 2017)	Actualizada a diciembre de 2019	Tabular
Disponibilidad media anual de agua en los acuíferos	Recarga, disponibilidad de agua subterránea y déficit (hm3).	Publicaciones en el DOF	28/08/2009 08/07/2010, 16/08/2010, 25/01/2011, 14/12/2011, 20/12/2013, 20/04/2015, 04/01/2018, 17/09/2020	Tabular

Descripción del algoritmo nAcuifDef

El algoritmo nAcuifDef tiene como entrada el conjunto datosAcuif, el número acuíferos solicitados a caer en déficit nA y el número de grupos a emplear para la estimación nG. El algoritmo emplea la técnica FCM para formar nG grupos y los califica en función del valor de PVD, seleccionando de los acuíferos con disponibilidad de cada grupo aquellos que parecen más propensos al déficit. Esta selección se realiza en un ciclo iterativo hasta obtener la cantidad nA de acuíferos solicitada. El proceso se muestra en la Figura 2. El algoritmo fue programado en el lenguaje de programación R usando la función *cmeans* de la librería *e1071* como implementación de FCM. FCM fue propuesto por Dunn en 1973 y mejorado por Bezdek en 1981 (Höppner et al., 1999), considerando que cada punto de datos puede pertenecer a más de un clúster. El número máximo de iteraciones utilizado fue $maxT=100$.

Resultados

El pronóstico de nAcuifdef para el año 2009 fue comparado con la predicción basada en el orde-

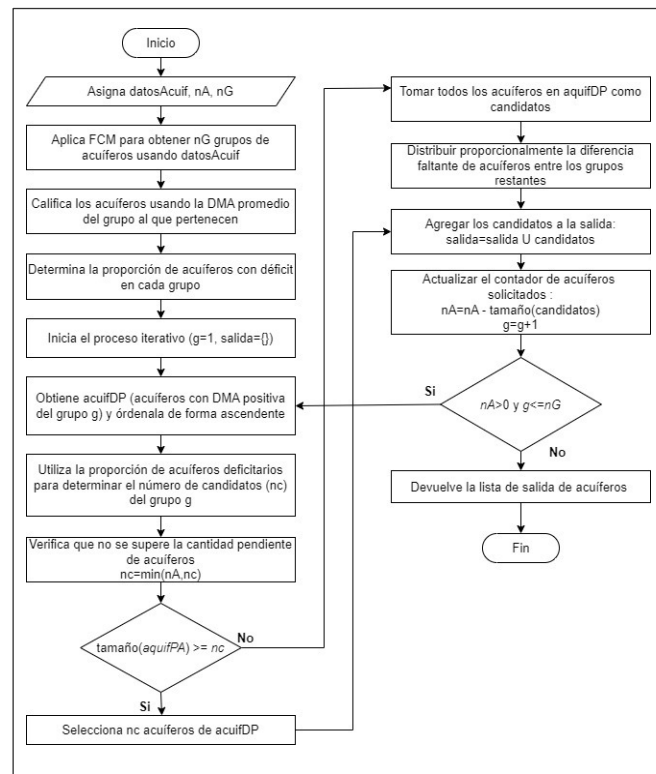


Figura 2. Diagrama de flujo del algoritmo nAcuifDef

namiento ascendente de DMA sin déficit, considerando su estado de disponibilidad en años subsecuentes. La comparación fue realizada en rangos de 10 acuíferos, hasta alcanzar 100. Este número se seleccionó dado que 101 acuíferos han caído en déficit desde la primera publicación de la DMA (Tabla 1). El algoritmo se probó para 6 valores de nG (10, 20, 30, 40, 50 y 60). Los resultados en los que el algoritmo acertó en la detección se muestran en la Figura 3, donde la línea roja representa la detección tradicional con el porcentaje de disponibilidad y en otros colores la predicción de nAcuifDef. nAcuifDef puede ser poco eficiente para valores bajos de nG (10 y 20), pero los resultados mejoran con valores más altos (30, 40 o 50). Por ejemplo, con $nG=30$, nAcuifDef predice 43 acuíferos en déficit, 53.57% más comparado con los 28 del enfoque tradicional. No obstante, a medida que la cantidad solicitada aumenta, la concordancia disminuye, ya que los acuíferos con disponibilidad se agotan y los resultados se asemejan al orden ascendente. Por ejemplo, un pronóstico solicitando un nA igual al número de acuíferos con disponibilidad en

2009 (470) se tendrá un resultado igual al del orden ascendente.

Conclusiones

El algoritmo nAcuifDef basado en la técnica FCM detecta los próximos acuíferos en déficit basándose en la similitud con aquellos que ya presentan dicho

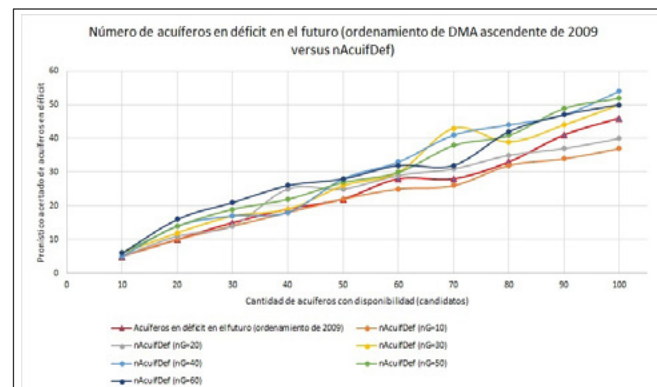


Figura 3. Estimación acertada de acuíferos que caerían en déficit en los años 2013-2020 con el método de ordenamiento (línea roja) y nAcuifDef para $nG=10$ (naranja), $nG=20$ (gris), $nG=30$ (amarilla), $nG=40$ (azul claro), $nG=50$ (verde), $nG=60$ (azul fuerte)

estado. Los resultados superan el enfoque tradicional basado en el ordenamiento de DMA. Este método permite monitorear acuíferos que parecen no correr riesgo, pero que por sus características podrían caer en déficit muy pronto. Dada la gravedad del problema de la sobreexplotación de los recursos hídricos actuales y la velocidad con la que este crece, nAcuifDef podría ser una herramienta que brinde resultados rápidos. A pesar de las limitaciones actuales del algoritmo, como requerir un número de grupos, es un ejemplo evidente de cómo las técnicas de aprendizaje automático pueden tratar con problemas complejos relacionados con la gestión de los recursos hídricos. 💧

Referencias Bibliográficas

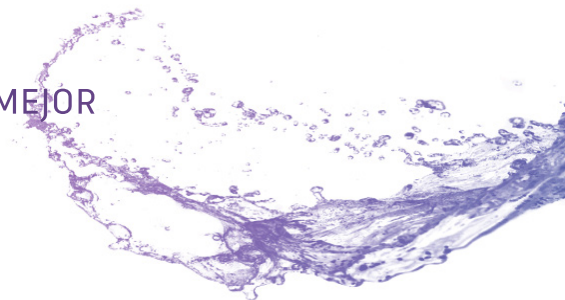
- Bezdek, J. C., Ehrlich, R., & Full, W. (1984). FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm. *Computers and Geosciences*. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(84\)90020-7](https://doi.org/10.1016/0098-3004(84)90020-7)
- CONABIO, I. N. de E. y G. (2018). *Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad*. PORTAL DE GEOINFORMACIÓN 2020.
- CONAGUA. (2017). *Otorgamiento de concesiones, asignaciones y permisos para el uso explotación y/o aprovechamiento de las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes, así como el registro de obra situadas en zonas de libre alumbramiento*. Datos Abiertos. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/concesiones-asignaciones-permisos-otorgados-y-registros-de-obras-situadas-en-zonas-de-libre-alu/resource/7cf416a3-32c8-4e5d-8a0d-0f184a772cf4>
- CONAGUA. (2018). *Estadísticas del Agua en México 2018*. 303.
- Coulibaly, P., Anctil, F., Aravena, R., & Bobée, B. (2001). Artificial neural network modeling of water table depth fluctuations. *Water Resources Research*. <https://doi.org/10.1029/2000WR900368>

- Daliakopoulos, I. N., Coulibaly, P., & Tsanis, I. K. (2005). Groundwater level forecasting using artificial neural networks. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.12.001>
- Han, J., & Kamber, M. (2006). Data Mining, Southeast Asia Edition: Concepts and Techniques. *Morgan kaufmann*.
- Höppner, F., Klawonn, F., Kruse, R., & Runkler, T. (1999). *Fuzzy Cluster Analysis: Methods for Classification, Data Analysis and Image Recognition* (Wiley IBM PC Series, Ed.; July 1999).
- Kanyama, Y., Ajoodha, R., Seyler, H., Makondo, N., & Tutu, H. (2020). Application of Machine Learning Techniques in Forecasting Groundwater Levels in the Grootfontein Aquifer. *2020 2nd International Multidisciplinary Information Technology and Engineering Conference, IMITEC 2020*. <https://doi.org/10.1109/IMITEC50163.2020.9334142>
- Research Climate Group. (s/f). *Global Climate Monitor*. Recuperado el 15 de octubre de 2020, de <https://www.globalclimatemonitor.org/>
- Solomatine, D. P., & Ostfeld, A. (2008). Data-driven modelling: Some past experiences and new approaches. *Journal of Hydroinformatics*. <https://doi.org/10.2166/hydro.2008.015>
- Steyn, M. (2018). *Short-term stream flow forecasting and downstream gap infilling using machine learning techniques*.

LAS GEOTECNOLOGÍAS COMO HERRAMIENTA PARA UNA MEJOR GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS EN LA AGRICULTURA

RONALD ERNESTO ONTIVEROS CAPURATA
CONAHCyT

ALBERTO GONZÁLEZ SÁNCHEZ
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA



Resumen

Para contrarrestar la baja disponibilidad hídrica es indispensable la incorporación de nuevas tecnologías como la geomática (satélites y drones) para adquirir información de la superficie terrestre. La mejora en los sensores y calidad de las imágenes de los satélites facilitan el desarrollo de aplicaciones para estimar variables complejas como la evapotranspiración. Mientras, que cámaras montadas en drones permiten calcular, con un detalle y precisión sin precedentes, parámetros como área foliar, biomasa y evapotranspiración.

En la actualidad, los métodos de procesamiento de grandes cantidades de datos basados en inteli-

gencia artificial o aprendizaje automático ofrecen una alternativa a técnicas tradicionales, por ejemplo, el algoritmo nAcuiDef desarrollado por el IMTA permite detectar, de forma temprana, acuíferos propensos a caer en déficit mediante el método no supervisado Fuzzy-cMeans. Por tanto, las geotecnologías son herramientas idóneas para mejorar la gestión hídrica en la agricultura.

Introducción

La agricultura enfrenta retos cada vez más demandantes para alimentar a una población creciente

bajo escenarios críticos de disponibilidad hídrica. La FAO (2014) estima que para el año 2050 se requerirá de un incremento de al menos 60% en la producción de alimentos lo que implica una mayor disponibilidad de agua en cantidad y calidad. Por tanto, es indispensable poner a disposición de los productores agrícolas herramientas que contribuyan al uso eficiente de los recursos hídricos, en especial al considerar que la agricultura es el mayor consumidor de agua (70% del consumo total) (Molten et al., 2003).

El uso de tecnologías innovadoras para la medición y monitoreo de variables agrícolas e hídricas está presente hace varias décadas. La geomática combina la información geolocalizada adquirida por sensores remotos montados en satélites, aviones o drones, con algoritmos avanzados de procesamiento de datos y sistemas de información geográficos (SIG) para generar información espacial (mapas) que brindan mayor información sobre el uso de recursos hídricos.

La cantidad y calidad de la información adquirida y procesada ha mejorado a lo largo de los

años en cuanto a la resolución espacial (tamaño de pixel), temporal (frecuencia), radiométrica (cantidad de información) y espectral (número de sensores utilizados, bandas). La constante mejora de las características de la información recopilada ha propiciado un incremento en las aplicaciones; por ejemplo, el aumento de la resolución espacial de 80 m a < 0.1 m y espectral (de 4 a 18 o más bandas espectrales) permite el monitoreo de cultivos y estimación rendimientos. Además con los drones es factible tener información casi en tiempo real, lo que es un factor clave en la agricultura de precisión. A continuación, se describe brevemente el uso de tecnologías satelitales, drones y algoritmos de aprendizaje automático en la gestión de recursos hídricos de uso agrícola.

Uso de imágenes satelitales en agricultura

El uso de sensores remotos en agricultura se remonta a la década de los 70 con el lanzamiento de plataformas satelitales como Landsat para el monitoreo de la superficie terrestre. En esos años el objetivo era la vigilancia de cultivos agrícolas mediante

los programas LACIE y AGRISTARS que combinaron esfuerzos de varias instituciones como la NASA, NOAA y el USDA (Hall et al., 1981). Estos programas evolucionaron durante los 80 y 90 hacia sistemas de monitoreo de cultivos (maíz, arroz, soya, trigo y algodón) a nivel global. Posteriormente, la incorporación de nuevos sensores en la región del infrarrojo permitió detectar el estrés hídrico y estimar el contenido de humedad del suelo.

Hacia fines de los 90 e inicios del 2000, el desarrollo de modelos de balance de energía incorporando imágenes satelitales permitió el desarrollo de aplicaciones como EEFlux (Allen et al., 2019), basadas en la plataforma Google Earth Engine para el cálculo automático de la evapotranspiración en grandes extensiones, con lo que se redujo el tiempo de proceso (Véase Figura 1).

Actualmente el desarrollo de nano y microsatelites han propiciado la adquisición de información más detallada de las zonas agrícolas, lo que a su vez ha detonado el desarrollo de algoritmos y modelos de procesamiento más eficientes (Earth System, 2023) con aplicaciones específicas para el monito-

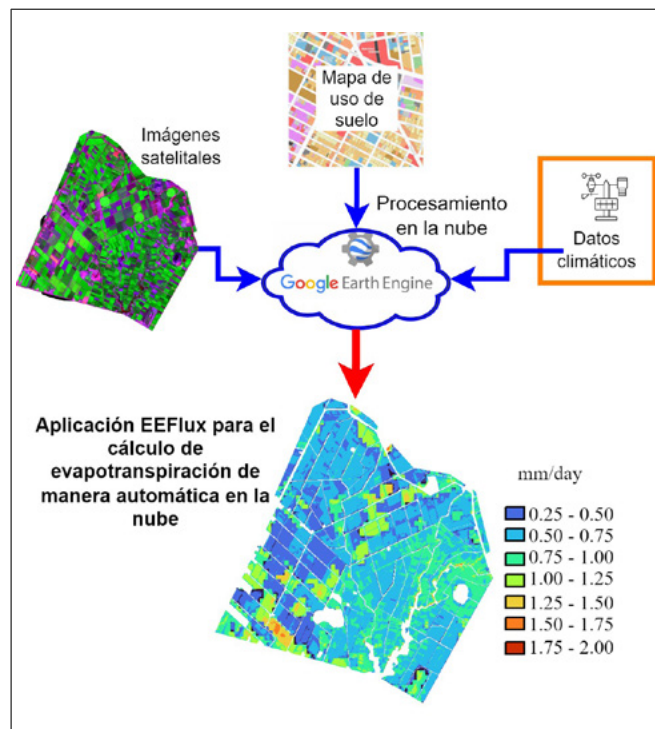


Figura 1. Esquema que ilustra la aplicación EEFlux para el cálculo automático de evapotranspiración con el uso de imágenes satelitales

reo del agua en cultivos; por ejemplo, el desarrollo de servicios automatizados, que incorporan información satelital para calcular la cantidad y frecuencia del riego en tiempo real ha derivado en sistemas inteligentes como SOSIA+, IrriSat, Trimble Irrigate-IQ, Taranis, entre otros.

Uso de drones en la gestión hídrica

El uso de drones o VANTs (Vehículos Aéreos No Tripulados) tiene sus orígenes en la milicia en los comienzos del siglo veinte en los Estados Unidos. En un inicio el objetivo era crear aeronaves pilotadas de forma remota capaces de transportar cargas explosivas o de realizar vigilancia y toma de fotografías. En la década de los 70, Estados Unidos perdió interés en el desarrollo de drones y concentró sus esfuerzos en el desarrollo de satélites y aeronaves espaciales. No fue sino hasta finales de los 90 que retomó la tecnología para usarla en la guerra del Golfo Pérsico con el desarrollo del Modelo Predator como aeronave de vigilancia. Posteriormente, el avance acelerado de la robótica, informática y la miniaturización de cámaras propiciaron el desa-

rollo de drones para aplicaciones civiles. El sector hídrico es una de las áreas donde más aplicaciones se han generado en los últimos años (Ojeda-Bustamante et al., 2016).

Los drones han permitido adquirir información agrícola e hídrica más detallada y con mayor frecuencia que otros sistemas. El desarrollo de nuevos sensores (cámaras y sensores multiespectrales) montados en el dron ofrece la ventaja de monitorear sitios de difícil acceso y programar los vuelos. Los softwares de procesamiento fotogramétrico generan productos como ortomosaicos y modelos digitales de elevación con resolución fina que pueden usarse para estimar características agrícolas como biomasa, altura de planta y área foliar, con las cuales se entrenan y calibrar modelos para calcular evapotranspiración o detectar estrés hídrico.

Por ejemplo, en un estudio realizado en Zaca-tepec, Morelos, mediante vuelos quincenales de un dron Phantom4-DJI se obtuvieron fotografías aéreas de una parcela de maíz a 100 m de altura, para construir ortomosaicos y modelos digitales de elevación a una resolución de 3 cm y generar

mapas de biomasa, área foliar y fenología. Estos resultados muestran que es posible contar con información detallada del desarrollo y condición de los cultivos para una mejor toma de decisiones por el productor.

Por otro lado, en Martínez de la Torre, Veracruz, los drones son utilizados para realizar investigación en huertas de limón persa con resultados prometedores. Con la obtención de modelos basados en índices de vegetación es posible estimar variables como evapotranspiración con precisión superior al 85% comparado con estimaciones puntuales (Véase Figura 2). Este ejemplo pone en evidencia que esta tecnología es una herramienta factible al alcance de productores pequeños y medianos para mejorar el uso de recursos hídricos.

Algoritmos de aprendizaje automático e inteligencia artificial

La generación de grandes cantidades de datos derivados de satélites o drones ha propiciado el desarrollo de nuevos métodos de procesamiento. La inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje auto-

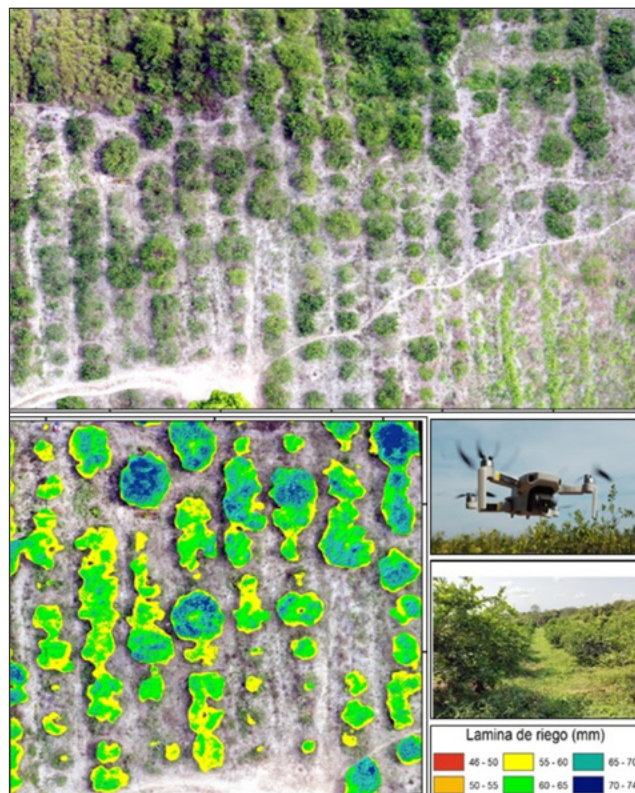


Figura 2. Uso de drones en huerto de limón persa en Martínez de la Torre, Veracruz para riego de precisión

mático (AA) ofrecen potentes herramientas para automatizar el procesamiento de datos, detectar patrones y hacer predicciones. Los algoritmos de AA pueden procesar y analizar grandes cantidades de datos en tiempo real o casi real lo que es crucial en la toma de decisiones.

La IA y el AA son excelentes opciones para detectar patrones complejos en grandes conjuntos de datos. Esta capacidad podría significar la predicción de patrones de regímenes hidrológicos, la detección de cambios de uso de suelo o identificación de la condición de la vegetación. Por ejemplo, nAcuidef es un algoritmo de clasificación no supervisada basado en clustering difuso (Fuzzy cMeans) desarrollado en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua enfocado en detectar acuíferos propensos al déficit. Este algoritmo se alimenta con información histórica publicada periódicamente por la CONAGUA y es capaz de inferir relaciones sin datos preetiquetados con lo que puede detectar de forma temprana los acuíferos con déficit incluso cuando la posibilidad no es evidente. Aunque estas técnicas están en investigación, muestran resultados muy promete-

dores y podrían evolucionar en sistemas de alerta temprana o ser instrumentos de política pública.

Conclusiones

La geomática o geotecnologías han evolucionado de la mano con las necesidades de información por lo que es crucial acelerar su transferencia a los productores agrícolas. Los avances como la incorporación de cámaras de alta resolución en drones, han transformado por completo la forma de adquirir información agrícola e hídrica, brindan productos de gran detalle y calidad para estudiar variables complejas como evapotranspiración y estrés hídrico relevantes para el manejo del agua.

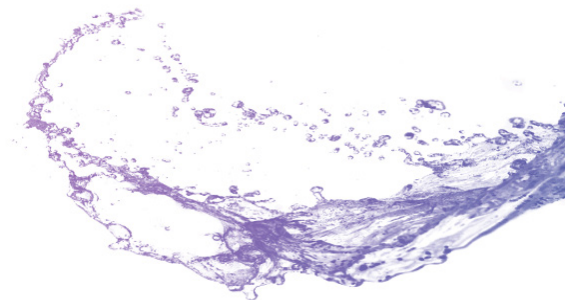
El acceso a estas herramientas tecnológicas tiene el potencial de generar beneficios significativos, tanto en la gestión de los recursos hídricos como en la eficiencia general de la agricultura. Es el momento propicio para aprovechar al máximo estas innovaciones y maximizar su impacto con miras en alcanzar la seguridad hídrica. ♦

Referencias

- Allen, R., Morton, C., Kamble, B., Kilic, A., Huntington, J., Thau, D., ... Robison, C. (2019). *EEFlux: A Landsat-based Evapotranspiration mapping tool on the Google Earth Engine*. Emerging Technologies for Sustainable Irrigation A joint ASABE / IA Irrigation Symposium.
- Earth System. (2023). *Satellite Imagery: Opportunities, Challenges, and Future Trends*. <https://www.ecologycenter.us/earth-system/satellite-imagery-opportunities-challenges-and-future-trends.html>
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2014). *Building a common vision for sustainable food and agriculture. Principles & Approaches*. Roma: FAO.
- Hall, F. G., Hogg, R. C., Caudill, C. E. (1981). AgRISTARS, Plans and first-year achievements. [Agriculture and Resources Inventory Surveys Through Aerospace Remote Sensing]. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Washington, DC.
- Molden, D. J., Murray-Rust, H., Sakthivadivel, R., Makin, I. (2003). A Water-productivity Framework for Understanding and Action. En J. W. Kijne, R. Barker, & D. J. Molden (Eds.), *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement* (pp. 1–18). Colombo, Sri Lanka: IWMI. https://www.iwmi.cgiar.org/Publications/CABI_Publications/CA_CABI_Series/Water_Productivity/Unprotected/0851996698toc.htm
- Ojeda-Bustamante, W., Flores-Velázquez, J., Ontiveros-Capurata, R. E. (2016). *Uso y manejo de drones con aplicaciones al sector hídrico*. México: IMTA.

EL PODER TRANSFORMADOR DE LA TECNOLOGÍA SATELITAL E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

MARIANA DOMÍNGUEZ SALAZAR
JOSÉ LUIS HERNÁNDEZ MARTÍNEZ
AQUOSMIC
TAMARA LUENGO SCHRECK
CONSULTORA INDEPENDIENTE, AQUEDUCTO



Resumen

La integración de la tecnología, las imágenes satelitales y la inteligencia artificial es esencial para abordar los desafíos de la crisis hídrica y climática. Estas herramientas permiten una gestión eficiente de los recursos hídricos, desde la predicción de eventos climáticos extremos hasta la detección de contaminantes. La información que proporcionan es invaluable para tomar decisiones informadas y diseñar estrategias de conservación. En el caso de México, donde la contaminación del agua es un problema significativo, estas tecnologías son especialmente relevantes. Los datos recopilados a través de imágenes satelitales y la inteligencia artificial permiten identificar

fuentes de contaminación y evaluar la calidad del agua de manera precisa. Además, reducen costos y mejoran la capacidad de respuesta en situaciones de emergencia.

Integrar la tecnología e innovar en el sector hídrico se ha convertido en una necesidad intrínseca para poder abordar los desafíos de la crisis hídrica y climática que enfrentamos como sociedad. Es a través de la tecnología que podemos construir herramientas para detonar la gestión eficiente y sostenible de los recursos hídricos, desde sistemas de monitoreo que permiten la predicción y respuesta oportuna ante eventos climáticos extremos,

hasta tecnologías para garantizar la disponibilidad de agua potable, la tecnología se convierte en la respuesta para construir soluciones hacia la preservación y la gestión responsable del agua.

La integración de la tecnología en el sector hídrico nos aporta una herramienta invaluable para caminar hacia la gestión sustentable del agua: la información.

La información nos permite anticipar acciones de cara a situaciones de escasez, sequía, contaminación, entre otros escenarios poco favorables para la sociedad y los territorios, pero también nos permite empoderar la toma inteligente de decisiones basada en datos. Así, conociendo con precisión las características y condiciones con relación al agua, es posible elaborar estrategias, construir políticas públicas, y detonar acciones para la preservación de los recursos hídricos, y la distribución sana y equitativa en un contexto de cambio climático (Duarte, 2022) y crecimiento demográfico.

Uno de los enormes retos que enfrentamos en México en materia hídrica, es la contaminación de los recursos hídricos, que limita la disponibilidad

de agua potable, y vulnera el equilibrio y la salud de los ecosistemas acuáticos. De acuerdo con la Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua (RENAMECA, 2022), el 59.1% de los cuerpos de agua superficiales están contaminados.

El problema deriva de una enorme cantidad de volúmenes de agua sin tratamiento que se vierten a los cuerpos de agua superficiales. En México, se tratan cerca del 53% de las aguas residuales municipales, y 33% de las aguas residuales no municipales (SINA, 2021), incluyendo las industriales.

Esto tiene efectos notoriamente negativos en distintos ámbitos. En materia de salud, el consumo de agua de mala calidad es la principal causa de muerte de niños menores de 5 años en el mundo. (SEMARNAT, 2016). Por otro lado, la contaminación del agua decrece las oportunidades de acceso a agua potable en comunidades, vulnerando el acceso al derecho humano al agua, y aumentando condiciones de escasez.

En materia económica, la contaminación del agua representa pérdidas económicas por contaminación del 0.2% del PIB del país (INEGI, 2021), deri-

vado de la degradación ecológica y agotamiento de recursos hídricos.

Además, la contaminación del agua ejerce un impacto devastador en los ecosistemas, fomenta la pérdida de la biodiversidad de los entornos acuáticos y desencadena la degradación ambiental.

Ante este escenario, los datos y la información desempeñan un papel fundamental al proporcionar una base sólida para la toma de decisiones informadas y la implementación efectiva de medidas para identificar, mitigar y contrarrestar los efectos de la contaminación del agua.

A través de la recopilación y el análisis de datos, podemos identificar las fuentes y los tipos de contaminantes presentes en cuerpos de agua, así como evaluar su impacto en el medio ambiente y la salud pública. Estos datos permiten a los tomadores de decisiones diseñar estrategias precisas de gestión y regulación para reducir la contaminación, así como rastrear y medir el progreso hacia la recuperación de ecosistemas acuáticos saludables. En última instancia, la información derivada de datos sólidos es una herramienta poderosa en la preservación y

restauración de la calidad del agua, contribuyendo a un futuro más sostenible y saludable para nuestro entorno y la sociedad en general.

Se ha determinado que los principales desafíos en la medición de la calidad del agua se encuentran en la obtención de datos de forma constante y confiable, ya que la información acerca de la calidad del agua presenta considerables variaciones y múltiples variables que demandan un monitoreo continuo.

Además, el monitoreo de la calidad de agua implica trabajo in situ, que requiere de enormes recursos financieros, humanos y temporales, además de trabajo en laboratorio, que no necesariamente está disponible a nivel local. Por otro lado, la ubicación remota de algunas fuentes de agua representa dificultades logísticas, especialmente cuando la temporalidad y frecuencia del muestreo es alta.

Para contrarrestar estos retos de la medición de la calidad de agua, resulta interesante la implementación de tecnología, en específico las imágenes satelitales. Los satélites en órbita han revolucionado la forma en que comprendemos los recursos hídricos. Al proporcionar una vista panorámica

y global de la Tierra, nos permiten monitorear los cuerpos de agua, los glaciares y las cuencas hidrográficas en tiempo real. La información recopilada a través de imágenes satelitales y datos de teledetección proporciona una visión completa de los cuerpos de agua, el nivel de los embalses, la calidad del agua y otros factores críticos.

Uno de los usos más destacados de la tecnología satelital en la gestión del agua, además de la detección de fenómenos meteorológicos, es la detección y seguimiento de la contaminación del agua, logrando identificar concentraciones de contaminantes y nutrientes (Véase Figura 1) en los cuerpos de agua, lo que ayuda a identificar fuentes de contaminación y permite una respuesta rápida para proteger la calidad del agua y el ecosistema acuático.

Gracias a la facilidad de la toma de mediciones a través de esta tecnología, así como la exactitud y la disponibilidad temporal de la información satelital, es posible localizar con alta precisión las diferentes descargas de agua residual, que se hacen a los diferentes cuerpos de agua, y así caracterizar la

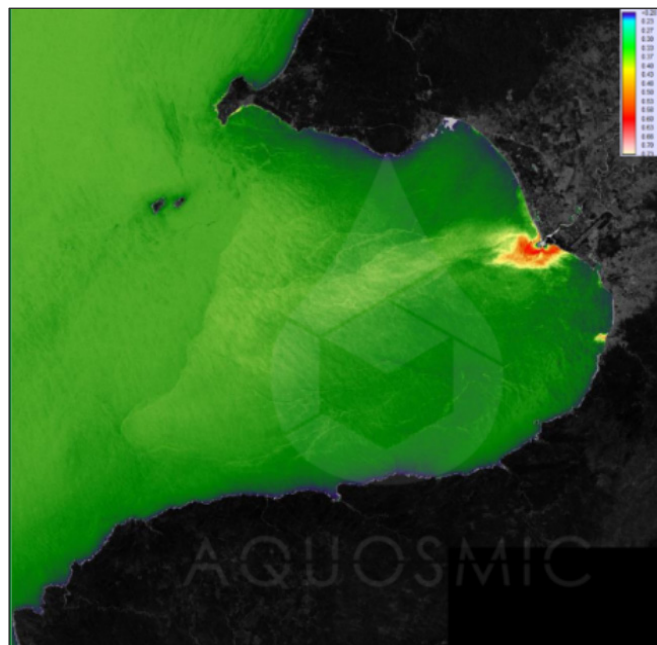


Figura 1. Concentración de nitrógeno, Costa de Jalisco.

calidad del agua de descarga, y determinar sus efectos en los ecosistemas acuáticos.

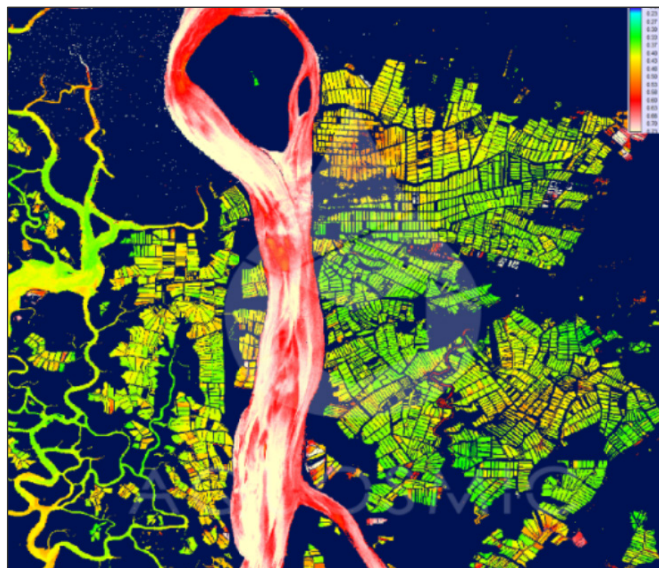


Figura 2. Concentración de salinidad en granjas de camarón, Ecuador.

Sumando a lo mencionado, las imágenes satelitales nos permiten saber de manera más precisa la dinámica que está presente en los cuerpos de agua o costas con el fin de contar con información con-

tundente y en menor tiempo para la toma inteligente de decisiones.

Otra aplicación tecnológica de las imágenes satelitales es la maricultura y acuicultura (Véase Figura 2) ya que con estas es posible identificar zonas que ayudan o afectan al crecimiento de los cultivos, por ejemplo, variaciones en la concentración de oxígeno, presencia de Floraciones Algales Nocivas (Véase Figura 3), y determinar la biomasa dentro de los cuerpos de agua. Esto es especialmente útil para efficientar los procesos de monitoreo en el sector acuícola, disminuir costos de muestreo y análisis de calidad de agua, y contar con información en menor tiempo para la toma oportuna de decisiones.

Por otro lado, la recopilación y análisis de datos a largo plazo en materia de calidad de agua, requiere de enormes recursos financieros, administrativos, humanos y temporales, además de grandes esfuerzos de coordinación, lo que hace que la tarea sea un desafío persistente en la determinación de la calidad de agua, y por tanto, en la gestión sostenible de los recursos hídricos.

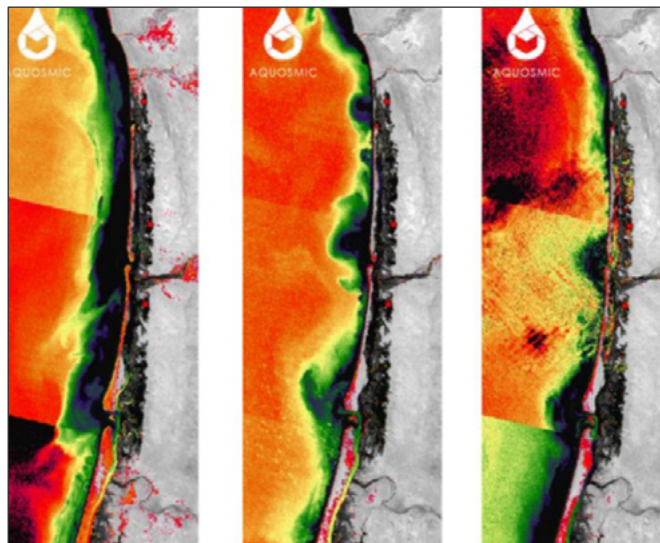


Figura 3. Floraciones algales costas de Baja California Sur.

Para ello, surge otra herramienta tecnológica que permite el análisis eficiente, integral y predictivo de la información de la calidad del agua: la inteligencia artificial. Esta tecnología tiene un impacto significativo en el monitoreo de la calidad del agua y la detección de contaminantes, ya que

a través de algoritmos es posible analizar grandes cantidades de datos recopilados de sensores satelitales y fuentes en línea para identificar patrones de contaminación y alertar sobre cualquier desviación de los estándares aceptables. Esto permite una respuesta más rápida y precisa para minimizar los riesgos tanto a la salud pública como al medio ambiente.

Es así como la integración de imágenes satelitales y técnicas de inteligencia artificial en el monitoreo de calidad del agua representa un cambio paradigmático en la forma en la que conocemos y caracterizamos los cuerpos de agua. En primer lugar, se reduce significativamente el costo y la complejidad del monitoreo, permitiendo que regiones con recursos limitados tengan acceso a información valiosa sobre la calidad del agua. Además, al proporcionar datos más frecuentes y detallados, se pueden identificar problemas de contaminación y cambios en la calidad del agua de manera temprana, lo que facilita una respuesta rápida y eficaz. Esto es crucial en situaciones de emergencia, como derrames de productos químicos o desastres naturales.

Esto tiene grandes implicaciones en la gestión sostenible del agua, ya que estas tecnologías permiten una toma de decisiones más informada y precisa. Los datos continuos y detallados permiten a los gestores de recursos hídricos comprender mejor las dinámicas de los cuerpos de agua y diseñar estrategias de conservación y mitigación más efectivas, como la implementación de medidas para reducir la contaminación, identificación de descargas clandestinas, o la gestión de la acuicultura de manera sostenible.

En síntesis, la combinación de imágenes satelitales y la inteligencia artificial representa un avance revolucionario en el monitoreo de calidad del agua, democratizando el acceso a información crucial y mejorando la capacidad de gestión de nuestros recursos hídricos. Esta tecnología promete contribuir significativamente a la preservación y el uso sostenible del agua en un mundo que enfrenta desafíos cada vez mayores en la gestión de este recurso vital. 💧

Bibliografía

Red Nacional de Medición de Calidad de Agua (RENAMECA).

CONAGUA. 2021. Tomado de: <https://app.conagua.gob.mx/ica/Contenido?n1=2&n2=6>. Último acceso: 25/09/2023

Sistema de Información Nacional del Agua (SINA). CONAGUA,

2021. Tomado de: <https://sina.conagua.gob.mx/sina>

“Cuentas Económicas Y Ecológicas De México 2021”. Instituto

Nacional de Estadística y Geografía. 2021. Comunicado de

Prensa 7171/22. 1/12/22. Tomado de: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/CEEM/](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/CEEM/CEEM2021.pdf)

[CEEM2021.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/CEEM/CEEM2021.pdf) . Último acceso: 25/09/2023

“Tasa De Morbilidad Atribuible A Enfermedades De Origen

Hídrico”. 2016. SEMARNAT. Tomado de: [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores_verdes16/](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores_verdes16/indicadores/01_contexto/5.1.3.html)

[indicadores/01_contexto/5.1.3.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores_verdes16/indicadores/01_contexto/5.1.3.html). Último acceso:

25/09/2023

“Tecnología espacial y agua: Hasta que el destino nos alcance”.

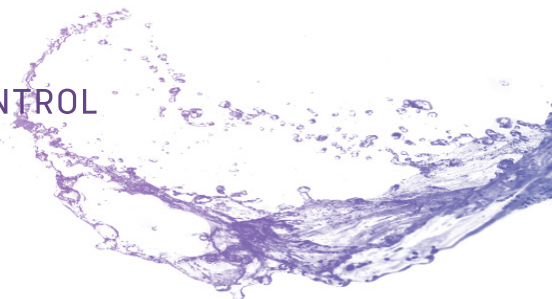
2022.Duarte, Carlos. A21.com.mx. Tomado de: [https://a21.com.mx/era-espacial/2022/12/19/tecnologia-espacial-y-agua-](https://a21.com.mx/era-espacial/2022/12/19/tecnologia-espacial-y-agua-hasta-que-el-destino-nos-alcance)

[hasta-que-el-destino-nos-alcance](https://a21.com.mx/era-espacial/2022/12/19/tecnologia-espacial-y-agua-hasta-que-el-destino-nos-alcance). Último acceso: 28/09/2023

EXPLORANDO EL FUTURO AMBIENTAL: MONITOREO Y CONTROL EN HUMEDALES CONSTRUIDOS CON AYUDA DE SENSORES

ABDIEL ISAI VENTURA FLORES, GEORGINA MARTÍNEZ-RESÉNDIZ
Y LUIS CARLOS SANDOVAL HERAZO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO CAMPUS MISANTLA, VERACRUZ



Resúmen

La actualidad del sector ambiental es limitada en la disponibilidad y uso de herramientas ecotecnológicas que respondan las crecientes exigencias ambientales y las consecuencias de las actividades humanas que desde hace unos años se traducen en problemas graves (el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la degradación de la tierra y la escasez del agua) han dado lugar a la búsqueda de nuevos métodos y procesos que contribuyan al cuidado del medio ambiente, buscando controlar o revertir todo el daño causado al medio ambiente, específicamente la contaminación del agua y el daño a los ecosistemas donde disminuye la capa-

cidad de las especies para subsistir en los cuerpos de agua contaminados, donde la implementación de humedales construidos (HC) se convierte en la mejor opción, por sus bajos costos de implementación y el fácil mantenimiento que requiere, donde en los últimos años los sensores desempeñan un papel crucial en la monitorización y gestión de los humedales construidos, contribuyendo a su eficacia en el tratamiento de aguas residuales y en la conservación de hábitats acuáticos. Ayudan a mantener la calidad del agua, a controlar el entorno del humedal y a tomar decisiones basadas en datos para garantizar su funcionamiento óptimo.

Introducción

Los humedales construidos, una maravillosa conjunción de ingeniería y naturaleza, han emergido como una solución excepcionalmente efectiva para abordar algunos de los desafíos ambientales más apremiantes de nuestra era. Estos ecosistemas diseñados por el ser humano replican las funciones de los humedales naturales, desempeñando un papel crucial en la depuración de aguas residuales, la conservación de la biodiversidad y la mejora de la calidad del agua en todo el mundo (Pérez et al., 2022). Pero, ¿cómo garantizamos que estos santuarios verdes funcionen a la perfección?

La respuesta se encuentra en la tecnología de monitoreo y control, específicamente en el empleo de sensores avanzados. Estos dispositivos, que a menudo pasan desapercibidos, son los ojos y oídos electrónicos de los humedales construidos, proporcionando información en tiempo real sobre una serie de parámetros cruciales, desde la calidad del agua hasta los niveles de oxígeno disuelto y la temperatura, solo por mencionar algunos. Sin embargo, su papel va mucho más allá de la recolec-

ción de datos; son la clave para optimizar la eficiencia y sostenibilidad de estos sistemas.

Esta tecnología ha transformado nuestra capacidad para gestionar eficazmente estos ecosistemas vitales, abriendo la puerta a un futuro más limpio y sostenible.

Sensores y Tecnología de Monitoreo en humedales construidos

En el mundo de la conservación ambiental y la gestión del agua, los humedales construidos están emergiendo como un recurso invaluable. Estos ecosistemas artificiales, diseñados para tratar aguas residuales y promover la biodiversidad, son una solución sostenible para los desafíos ambientales actuales. Pero, ¿cómo podemos garantizar que funcionen eficazmente? La respuesta radica en la integración de sensores y tecnología de monitoreo en los humedales construidos. Estos dispositivos desempeñan un papel crucial en el seguimiento constante de la calidad del agua y el rendimiento del humedal. Permiten una supervisión en tiempo real

y la recopilación de datos precisos sobre una serie de parámetros ambientales.

Los sensores tienen la capacidad de medir la calidad del agua, la temperatura, el nivel del agua, la turbidez y la concentración de oxígeno disuelto, pH, oxígeno disuelto, sólidos, nitrógeno, amonio, fósforo, entre otros indicadores clave (Gholizadeh et al., 2016). Esta información se puede utilizar para evaluar la eficacia del humedal en la eliminación de contaminantes y la mejora de la calidad del agua (Rizzo et al., 2020). Además, pueden configurarse para activar alertas tempranas si se detectan condiciones fuera de los límites deseados.

Los sensores y la tecnología de monitoreo son fundamenta-

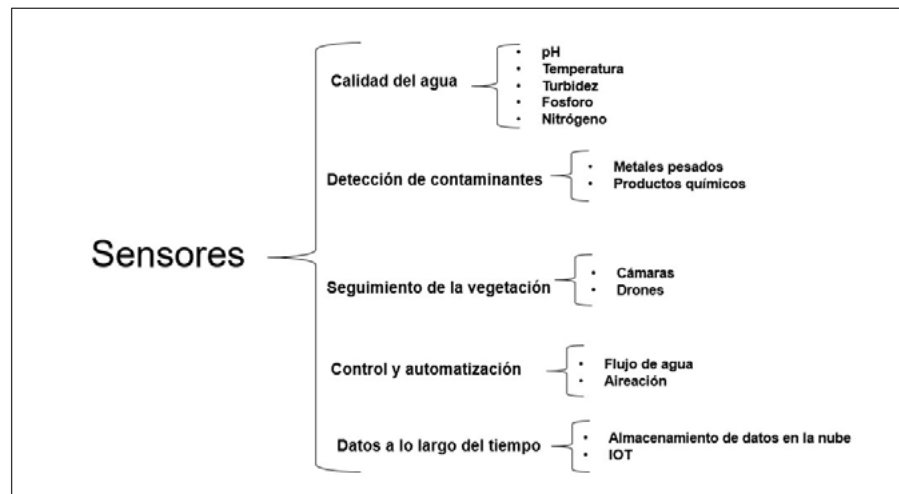


Figura 1. Tipos de sensores usados en los humedales construidos.

les en la gestión de humedales construidos. Estos dispositivos recopilan datos vitales sobre el estado de estos ecosistemas, alertando sobre posibles problemas y permitiendo decisiones informadas. Su capacidad para identificar anomalías tempranas, como la contaminación del agua, es crucial para evitar daños graves. Además, el monitoreo constante facilita la adaptación de estrategias de gestión, asegurando el rendimiento a largo plazo de los humedales construidos y el suministro de agua de calidad.

Ventajas de la aplicación de sensores en los humedales construidos

La ventaja de la tecnología de monitoreo en tiempo real es su capacidad para identificar problemas de manera inmediata. Si los sensores detectan un aumento en la concentración de contaminantes (Koskiahho and Puustinen, 2019) se pueden tomar medidas correctivas de manera oportuna, como ajustar los flujos de agua o activar sistemas de tratamiento adicionales garantizando que el humedal siga cumpliendo su función de manera efectiva. Los datos recopilados ayudan a comprender cómo responde el sistema a diferentes condiciones para así ajustar el diseño y las operaciones del humedal y maximizar su eficiencia.

El presente y el futuro de los sensores en los humedales construidos

En la actualidad, se están utilizando sensores en humedales construidos para monitorear el rendimiento del sistema y asegurar que estén funcionando de manera efectiva. Por ejemplo: En un estudio se emplearon sensores en línea para moni-

torear el rendimiento de un extenso humedal construido que trata aguas residuales de bodegas en Italia (Rizzo et al., 2020). Asimismo, otro utilizó tecnología de sensores para medir la retención de sólidos suspendidos y nutrientes en dos humedales construidos (Koskiahho and Puustinen, 2019). Además, también se ha explorado el uso de sensores de resonancia magnética para medir la temperatura (Hughes-Riley et al., 2014) También, se ha investigado la aplicación de técnicas de teledetección para identificar estructuras de retención de agua en humedales construidos en paisajes agrícolas (ter Borg and Barron, 2022)

En el futuro, se anticipa que la tecnología de sensores y el monitoreo seguirán avanzando para potenciar la eficiencia y la eficacia de los humedales construidos. Además, se espera que la inteligencia artificial y el aprendizaje automático desempeñen un papel cada vez más relevante al simular procesos ambientales y operativos en humedales, pronosticar la calidad del agua y cartografiar humedales con mayor precisión.

Conclusiones

Los sensores y la tecnología de monitoreo han transformado la forma en que abordamos la gestión de humedales construidos. Son los guardianes invisibles que velan por la salud de estos valiosos ecosistemas y nos permiten tomar medidas preventivas y correctivas. Su presencia asegura que estos humedales sigan cumpliendo su papel vital en la protección de nuestro medio ambiente y la provisión de agua de calidad para las comunidades que dependen de ellos.

Uno de los aspectos fundamentales en los que influye el uso de sensores en el humedal construido, es el control sistematizado del funcionamiento del humedal para la toma de decisiones informada y a través de las herramientas tecnológicas donde se puedan visualizar los diversos escenarios para optimizar y garantizar el funcionamiento del humedal. Por ello el uso de sensores en el humedal resulta imprescindible en la conformación de un buen sistema de tratamiento que asegure una correcta gestión de los recursos hídricos y pueda transformar el uso de estas tecnologías novedosas de tratamiento en oportunidades para la restauración de recursos contaminados. 💧

Referencias

- Gholizadeh, M., Melesse, A., Reddi, L., 2016. A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques. *Sensors* 16, 1298.
- Hughes-Riley, T., Newton, M., Morris, R., 2014. Temperature Dependence of Magnetic Resonance Sensors for Embedding into Constructed Wetlands. In: *Proceedings of International Electronic Conference on Sensors and Applications*. MDPI, Basel, Switzerland, p. c006.
- Koskiaho, J., Puustinen, M., 2019. Suspended solids and nutrient retention in two constructed wetlands as determined from continuous data recorded with sensors. *Ecol Eng* 137, 65–75.
- Pérez, Y.A., García Cortés, D.A., Jauregui Haza, U.J., 2022. Humedales construidos como alternativa de tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas: una revisión. *Ecosistemas* 31, 2279.
- Rizzo, A., Bresciani, R., Martinuzzi, N., Masi, F., 2020. Online Monitoring of a Long-Term Full-Scale Constructed Wetland for the Treatment of Winery Wastewater in Italy. *Applied Sciences* 10, 555.
- ter Borg, R.N., Barron, J., 2022. Development of constructed wetlands in agricultural landscapes using remote sensing techniques. *Acta Agric Scand B Soil Plant Sci* 72, 111–126.



Te invitamos a participar
en nuestra publicación digital

Impluvium

Con el tema:
**PRÁCTICAS
SOCIOCULTURALES
EN TORNO A LA
GESTIÓN DEL AGUA**

Recepción de trabajos:
**DEL 2 DE OCTUBRE
AL 15 DE DICIEMBRE DEL 2023**

Consulta los detalles en:
www.agua.unam.mx/impluvium.html

Cada cultura establece significados particulares alrededor del agua. Las percepciones de las personas sobre el uso y aprovechamiento los recursos hídricos están mediadas por esa relación sociocultural. Para comprender y analizar las prácticas en torno a la gestión del agua es necesario hacer una lectura del contexto en el que se desarrollan. Este entendimiento permite explicar las instituciones, acciones colectivas y mecanismos sociales detrás de las prácticas desarrolladas por los miembros de una sociedad en un espacio geográfico y temporal determinado.

En términos generales, una práctica sociocultural se define como las acciones o intervenciones que consideran los conocimientos, experiencias, habilidades y capacidades inscritas en un sistema cultural. Todo grupo social comparte un conjunto de rasgos distintivos, materiales, intelectuales, simbólicos, emocionales y espirituales que se manifiestan en sus modos de vida, tradiciones, valores, creencias y otros mecanismos para regular la vida social. Estas características pueden ser incompatibles o insustituibles entre una y otra cultura, o compartidos y apreciados entre sociedades diferentes. De acuerdo con Fish et al. (2016), las prácticas sociales son un reflejo y, al mismo tiempo, crean la cultura, a través de una amplia gama de manifestaciones: mitos, ritos, narrativas y otras expresiones materiales o intangibles.

La dimensión sociocultural se ha integrado en marcos de análisis, como los servicios ecosistémicos, o en los esquemas de gobernanza de los recursos hídricos, con énfasis en aspectos como la apropiación del territorio, la identidad y pertenencia cultural, las cosmovisiones originarias, entre otros.

Reconocer los sentidos y valores alrededor de las prácticas sociales para la gestión del agua puede contribuir a la construcción de consensos, al manejo de conflictos, a la identificación de buenas prácticas o procesos de apropiación de las tecnologías, al reconocimiento e integración de los conocimientos locales, indígenas o tradicionales, entre otros beneficios.

- Expresiones simbólicas en torno al agua (mitos, ritos y tradiciones)
- Interacciones entre los valores y las prácticas de uso y consumo de agua
- Diversidad cultural y sistemas de gestión del agua
- Métodos para la evaluación y análisis de los valores culturales relacionados al agua
- Discrepancias y construcción de consensos respecto a los modelos de gestión del agua

Lineamientos

1. La contribución debe ser un texto de **corte académico**, por lo que no debe personalizarse.
2. Los trabajos deben contener: título, nombre del autor o autores y su institución de adscripción, resúmen (de hasta 150 palabras), introducción, desarrollo, conclusiones y bibliografía consultada.
3. Las contribuciones deberán entregarse en formato de procesador de textos Microsoft Word, con letra Arial de 12 puntos e interlineado doble.
4. Los textos no deberán exceder **1,700 palabras**, incluyendo la bibliografía.
5. Las imágenes que deseen utilizarse en el texto se entregarán en archivo independiente en formato jpg a 150 dpi. En el documento de Word se referirán de la siguiente manera: Véase Figura 1.
6. Se utilizará el sistema de citas y referencias bibliográficas Harvard-APA. Este estilo presenta las citas dentro del texto del trabajo, utilizando el apellido del autor, la fecha de publicación y la página, por lo que no se requieren notas al pie de página. Ejemplo: (González Villarreal, 2013, p. 25).
7. Al final del trabajo la bibliografía se agrupará en el apartado “Bibliografía” y se colocará de la siguiente manera: autor, año de publicación (entre paréntesis), título, editorial y lugar de publicación. Ejemplo: González Villarreal, F. y Arriaga Medina, J. (2015). Expresiones de la inseguridad hídrica. Revista Ciudades, No. 105, Puebla, México.
8. Los editores realizarán una corrección de estilo y consultarán con los autores cualquier modificación sobre el contenido de la contribución.
9. El artículo debe enviarse al correo electrónico contacto@agua.unam.mx con el asunto **Artículo Impluvium: (tema)**.



Impluvium

Publicación digital de la Red del Agua UNAM

Número 24, Julio - Septiembre 2023

www.agua.unam.mx