

Impluvium

Publicación digital de la Red del Agua UNAM
Número 11, Abril - Junio 2020



Retos de la infraestructura hidráulica

INTRODUCCIÓN

El acceso universal y equitativo a los servicios de agua potable, saneamiento e higiene, así como la mejora de su calidad requiere, por un lado, dar mantenimiento a la infraestructura hidráulica actual y, por otro, el desarrollo de nuevos proyectos. Las demandas de la sociedad han aumentado en los últimos años y la infraestructura actual no cuenta con las capacidades suficientes para satisfacerlas, especialmente en un contexto internacional de crisis multidimensional provocado por la pandemia del COVID-19.

En algunas regiones, el estado de la infraestructura representa una amenaza a la seguridad de las personas y a la de sus bienes. Se han rebasado las

condiciones para las cuales fueron diseñadas, se ha sobrepasado su vida útil, no reciben el mantenimiento necesario para mantener su operación en condiciones óptimas o han sido sometidas a fenómenos que limitan su funcionamiento, como sismos o fenómenos hidrometeorológicos extremos. Estas condiciones, además, actúan en contra de la sustentabilidad de los recursos hídricos, ejemplo de ello es que existen importantes pérdidas en los sistemas de distribución y de riego y que algunos materiales que debieran ser reemplazados, al contacto con el agua, modifican su calidad y restringen sus potenciales usos.

En las últimas décadas se han generado importantes innovaciones en el diseño de nueva infraestructura. Éstas han priorizado las Soluciones Basadas en la Naturaleza para adaptarse al paisaje y reducir los impactos sobre el entorno, sin embargo, su empleo es todavía limitado por la persistencia del debate entre tecnologías verdes y tecnologías grises.

El mantenimiento, operación y desarrollo de nueva infraestructura hidráulica requiere una importante cantidad de recursos económicos, por lo que se han explorado diversos mecanismos de financiamiento, cada uno de ellos asociados a retos particulares pero que comparten la necesidad de fortalecer los mecanismos de transparencia y de rendición de cuentas en el empleo de los presupuestos.

Finalmente, es indispensable mitigar el impacto ambiental y social de la gran infraestructura bajo esquemas integrales que disminuyan los conflictos sociales y brinden la posibilidad de recuperar los servicios ecosistémicos derivados de la transformación del ambiente.

Éstas y otras perspectivas son analizadas por los autores en esta nueva edición de la publicación digital *Impluvium*. ♦

DR. FERNANDO GONZÁLEZ VILLARREAL,
COORDINADOR TÉCNICO DE LA RED DEL AGUA UNAM.

MSC. JORGE ALBERTO ARRIAGA MEDINA,
COORDINADOR EJECUTIVO DE LA RED DEL AGUA UNAM.



Impluvium

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
Asistente de investigación Red del Agua UNAM

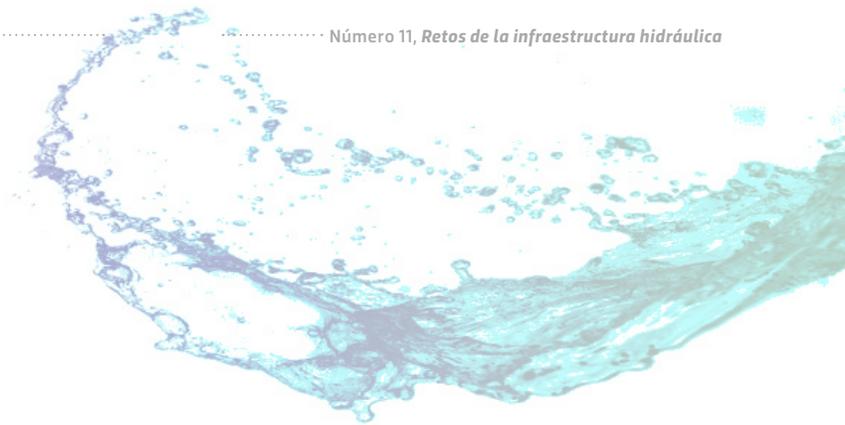
Diseño gráfico y formación:
Lic. Joel Santamaría García

Lic. Marie Claire Mendoza Muciño

Publicación digital de la Red del Agua UNAM.
Número 11, Retos de la infraestructura hidráulica.
Abril - Junio 2020

www.agua.unam.mx/impluvium.html
.....

Impluvium es la publicación digital de divulgación de la Red del Agua UNAM, Año 6, No.11, Abril – Junio 2020. 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>, jarriagam@iingen.unam.mx. Editor responsable: Dr. Fernando J. González Villarreal. 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, Dr. Fernando J. González Villarreal, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Instituto de Ingeniería, edificio 5, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México fecha de la última modificación, julio 2020.



CONTENIDO

Introducción2

DR. FERNANDO J. GONZÁLEZ VILLARREAL,
MSc. JORGE ALBERTO ARRIAGA MEDINA.

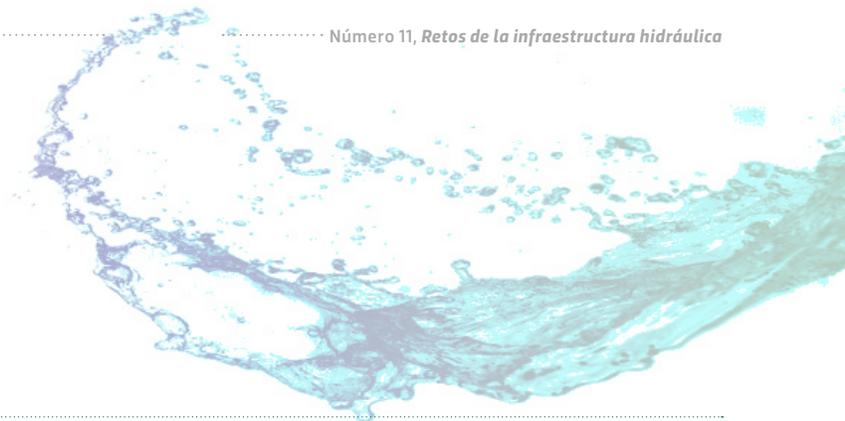
ARTÍCULOS

Infraestructura verde en el entorno urbano.
Una mirada hacia los avances
en la Ciudad de México7

MARIAM C. MILLÁN BAQUEDANO.

Infraestructura hidráulica:
una herramienta para impulsar
la agricultura en México 13

ANALaura SÁNCHEZ MÉNDEZ.



ARTÍCULOS

Retos en el diseño, operación
y mantenimiento de la infraestructura de
recarga artificial de acuíferos
en el Valle de México 20

ANGÉLICA MENDOZA MATA.

PUMAGUA: Acciones estructurales por el
uso eficiente del agua en
Ciudad Universitaria de la UNAM 29

JOSÉ DANIEL ROCHA GUZMÁN, JOSUÉ PABLO HIDALGO JIMÉNEZ,
ALEJANDRO LANDÍN HERNÁNDEZ. ADRIAN VILLANUEVA ROMERO Y
YADIRA SÁNCHEZ VÁZQUEZ.

Sistema de monitoreo de
calidad del agua en
Ciudad Universitaria, UNAM 36

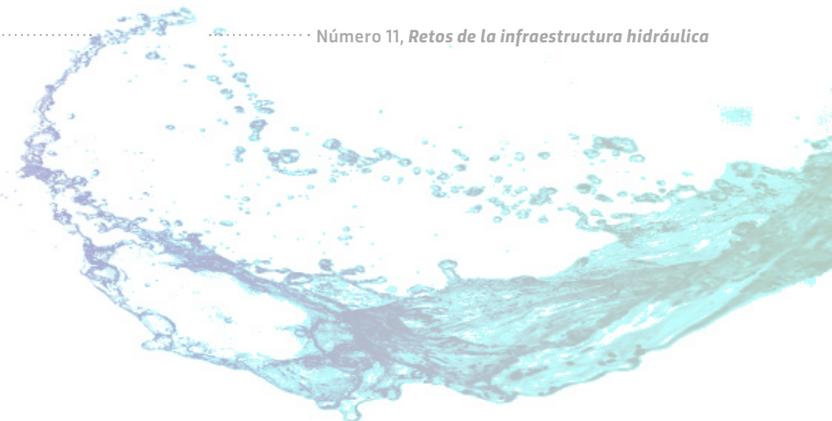
LAURA JAZMÍN LOBACO SALAS, LUZ MARÍA CHÁVEZ MARÍN,
FABIÁN MEJÍA ZÚÑIGA, Y JOSÉ DANIEL ROCHA GUZMÁN.

Pronóstico del escurrimiento mediante
técnicas regionales de precipitación
para un modelo de parámetros distribuidos
en la cuenca río Escondido.. 43

DULCE MONCAYO KELLY SOREYI, ARGANIS JUÁREZ MARITZA
LILIANA, DOMÍNGUEZ MORA RAMÓN Y ESQUIVEL GABRIELA

INFRAESTRUCTURA VERDE EN EL ENTORNO URBANO. UNA MIRADA HACIA LOS AVANCES EN LA CIUDAD DE MÉXICO

MARIAM C. MILLÁN BAQUEDANO.
INSTITUTO MORA.



Resumen:

La infraestructura hidráulica ha constituido un reto para la Autoridad del Agua. En México, como en América Latina, el crecimiento de las zonas urbanas y periurbanas ha puesto de relieve las deficiencias en materia de infraestructura, pero también la baja conectividad que se tiene a nivel de cuencas.

El siguiente texto tiene el objetivo de mostrar los avances existentes en infraestructura verde dentro de la Ciudad de México (CDMX), a los que contribuyen actores no tradicionales en el desarrollo de la infraestructura hidráulica, también llamada “gris”, así como discutir en torno a las oportuni-

dades que ésta brinda en materia ambiental y de potencial financiamiento.

Introducción

La gestión de los recursos hídricos es uno de los temas centrales en cualquier agenda a nivel internacional. Debido a la complejidad que representa, diversos actores han planteado los retos y dificultades, pero también los aciertos y las oportunidades para promover una gestión integrada en donde intervengan varios actores interesados y converjan temáticas de interés.

En los últimos años se han popularizado las llamadas *soluciones basadas en la naturaleza* (SbN), particularmente en lo que se refiere a la gestión de los recursos hídricos. En el año 2018, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés) y ONU Agua dedicaron el informe del estado de los recursos hídricos del mundo hacia este enfoque (UNESCO, 2018). El documento reconoce la importancia de los ecosistemas para el mantenimiento del ciclo hidrológico, pero también su contribución para hacer frente al cambio climático.

Las SbN están inspiradas o respaldadas por la naturaleza, es decir, que se procura imitar los procesos naturales para contribuir a la gestión del agua, o puede utilizar los servicios provistos por el ecosistema para el mismo fin (UNESCO, 2018, pág. 25). Si bien las SbN han sido empleadas históricamente, la atención se ha fijado en ellas en los últimos años, principalmente con la denominada *infraestructura verde*, una de las formas más claras de aplicación de SbN en torno a la gestión del agua.

La infraestructura gris, de la que forma parte la infraestructura hidráulica tradicional, ha sido parte de debates entre diversas disciplinas, ya sea por sus costos o su operatividad. La CDMX, en términos de infraestructura hidráulica, tiene una de las historias más complejas y estudiadas desde diversas disciplinas. Domínguez (2010) hace un recorrido sobre la historia del agua en la Ciudad de México y destaca la construcción de la gran infraestructura hidráulica para dar salida al excedente hídrico. Para el autor, el Tajo de Nochistongo fue el primer megaproyecto de infraestructura del México colonial, incompatible con el modelo de manejo que habían ideado los aztecas (Domínguez, 2010, págs. 57-58).

Perló y González (2005) también han enfocado su análisis hacia la crisis del agua en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), particularmente en términos de infraestructura. Ambos autores denominaron como *región hidropolitana* a la conexión artificial entre las cuencas del Cutzamala, el Alto Lerma, Tula y del Valle de México, gracias a las grandes obras, como los sistemas Lerma y Cutzamala, que proveen de agua a una parte del Valle de Toluca y de

la Ciudad de México, así como a las obras de drenaje que llevan las aguas negras que saturan el sistema de la CDMX hacia la cuenca del Tula.

Pese a la hazaña de ingeniería que implica bombear y trasladar agua desde Michoacán y el Estado de México, también se han señalado los retos del entramado. La ZMVM es una de las regiones más críticas para la gestión de los recursos hídricos por la alta presión ejercida sobre el acuífero, la baja disponibilidad de agua para la región más poblada del país, además de tener altos niveles de contaminación (CONAGUA, 2018). A estos problemas se suman otros, como las inundaciones, pero también los potenciales riesgos que pueden devenir con el cambio climático, como las sequías, que reflejan la alta vulnerabilidad de la ciudad ante los fenómenos hidrometeorológicos extremos (Millán, 2018, pág. 116).

Los proyectos de infraestructura verde en la ciudad.

La infraestructura verde, por sí misma, difícilmente logrará hacer frente a los grandes retos que tiene la CDMX en materia hídrica. Sin embargo, es

importante analizar las iniciativas que representan una oportunidad para hacer transformaciones en el entorno urbano y que pueden convertirse en un complemento de la infraestructura tradicional.

El Parque Hídrico “La Quebradora” es uno de los proyectos emblemáticos que conjuntan la infraestructura verde con la gris y dan paso a nuevos espacios públicos que coadyuvan en la gestión sustentable del agua (Castro-Reguera & Perló, 2018, pág. 239). Ubicado en la delegación Iztapalapa, este parque está construido sobre un espacio que se encontraba abandonado, y ahora es un espacio público que contribuye con la captación de agua, así como al tratamiento de aguas residuales mediante humedales y una planta anaerobia biológica (Fundación UNAM, s.f.).

Castro & Perló (2018, pág. 243) destacan que estas “acupunturas hidrouurbanas” buscan rescatar espacios públicos para que funjan como infraestructura que permita conducir, tratar, almacenar y distribuir agua de lluvia; pero también para que se conviertan en espacios para mejorar la accesibilidad al transporte, el esparcimiento comunitario y edu-

cativo, además de generar una mejoría física a nivel de paisaje. Este tipo de intervenciones requiere de un complejo análisis sobre cuestiones políticas, económicas, sociales, culturales y ambientales.

Por otro lado, la Autoridad del Espacio Público (AEP), en colaboración con entidades de los Países Bajos, promovieron una iniciativa para aprovechar el espacio público como una “infraestructura adaptativa, multifuncional y una perspectiva de diseño urbano que busque reforzar conductas sensibles al agua” (AEP; Der Urbanistien; Deltares, 2017, pág. 17). Bajo la idea de hacer una ciudad “sensible al agua”, esta iniciativa incluye una serie de estrategias que se adecuan a problemas focalizados en la ciudad, aportando un catálogo de líneas de acción, como los jardines pluviales, pavimentos porosos, calles verdes o plazas de agua. (2017, pág. 129).

En el documento “Hacia una Ciudad de México sensible al agua”, coordinado por la AEP con la colaboración de otros actores, se describe el ejemplo del “Parque Lineal La Viga”, que contó con financiamiento del Banco de Desarrollo de América Latina (CAF). Este proyecto demuestra la oportu-

nidad para la concurrencia de fondos internacionales en la ejecución de infraestructura verde (Millán, 2018, pág. 121).

Las organizaciones de la sociedad civil, colectivos de artistas, escuelas, activistas y empresas, consolidados en una plataforma conocida como Cuatro al cubo, son otro ejemplo del potencial ciudadano para detonar cambios en el entorno mediante el empleo de infraestructura verde. Gracias al trabajo colectivo, se originó el proyecto paisajístico *Ecoducto Río de la Piedad*, que busca rescatar uno de los ríos entubados de la ciudad, sumando además la recuperación de una infraestructura que se encontraba subutilizada para dar espacio a un sitio de movilidad, conectividad y convivencia (Alva, 2019, pág. 9).

Uno de los principales logros del Ecoducto es la recuperación de un espacio para dar paso a plantas, pequeños humedales y árboles, que contribuyen con acciones de mitigación frente al cambio climático al favorecer la captura de carbono y la disminución de la contaminación atmosférica. El Ecoducto es también muestra del trabajo conjunto entre

actores públicos, privados y de la sociedad (Millán, 2018, pág. 194).

La infraestructura verde es uno de los ejemplos más destacados de la implementación de las SbN, no obstante, éstas incluyen prácticas diversas, como la conservación de los bosques o la restauración de los ecosistemas de las cuencas, acciones que pueden parecer lejanas o que poco tienen que ver con el manejo hídrico en las ciudades.

En la CDMX, específicamente en la zona de suelo de conservación, se implementó un proyecto piloto que fomenta prácticas agrícolas “agua-amigables”, con la siembra de magueyes y frutales que permitirían una mayor infiltración de agua, con un uso limitado o nulo de agroquímicos que puedan contaminar el subsuelo (Millán, 2018, pág. 180). Este proyecto, liderado por la organización Agua Capital, busca la recarga natural del acuífero, del cual depende cerca del 60% del abastecimiento de agua para la ciudad.

Los fondos de agua, como Agua Capital, son proyectos que impulsan el fortalecimiento del manejo integrado de las cuencas, además de pro-

mover la gobernanza del agua mediante el encuentro de organizaciones sociales, empresas, gobierno y entidades internacionales. La finalidad de los fondos es contribuir a la seguridad hídrica de las zonas urbanas al invertir en infraestructura verde (Millán, 2018, pág. 147). Para el fondo de agua de la ciudad, se contó con recursos del sector privado y entidades como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Conclusiones

La infraestructura verde tiene el potencial de impactar a nivel paisajístico en un entorno urbano, pero también de vincular a las ciudades con el entorno que las provee de agua, una relación que suele pasarse por alto. Asimismo, pueden contribuir con acciones de mitigación contra el cambio climático.

Proyectos de esta índole abren espacios de colaboración a actores que tradicionalmente han quedado al margen de la acción en materia de la infraestructura hidráulica. La diversidad permite abrir nuevos enfoques o ideas para la gestión sustentable de los recursos hídricos, sobre todo en espacios en donde los retos se vuelven aún mayores. Además,

se ha demostrado que varios proyectos de infraestructura verde tienen el potencial de atraer financiamiento de la banca de desarrollo, empresas u otras entidades. 💧

Bibliografía:

AEP; Der Urbanistien; Deltares. (2017). *Hacia una Ciudad de México sensible al agua*. México: CDMX / Der Urbanistien / CAF.

Alva, A. (2019). *Monitoreo Ecoducto*. Obtenido de Ecoducto: <https://www.ecoducto.mx>

Castro-Reguera, L., & Perló, M. (2018). Metodología para la implementación de un sistema hídrico, paralelo, descentralizado y sustentable para la cuenca de México a través de acupunturas hidrouurbanas en la forma de parques hídricos. En L. Castro-Reguera, & M. (. Perló, *La crisis del agua y la metrópoli. Alternativas para la Zona Metropolitana del Valle de México* (págs. 238-249). México: Siglo XXI Editores.

CONAGUA. (2018). *Estadísticas del Agua en México*. Ciudad de México: CONAGUA.

Domínguez, J. C. (2010). Historia trágica del recurso del agua en la Ciudad de México. *Revista Bicentenario*, núm 8, 54-63.

Fundación UNAM. (s.f). *Parque hídrico La Quebradora, una realidad que beneficiará a capitalinos*. Obtenido de Fundación UNAM: <https://www.fundacionunam.org.mx/ecopuma/parque-hidrico-la-quebradora-una-realidad-que-beneficiara-a-capitalinos/>

Millán, M. (2018). *Cooperación Internacional para la gestión del agua en la Ciudad de México. Una aproximación al proyecto "Agua Capital"*. Ciudad de México: Instituto Mora.

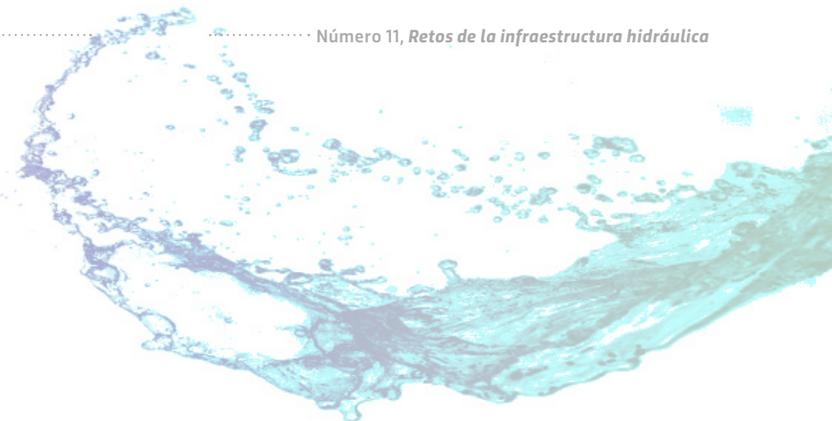
Perló, M., & González, A. (2005). *¿Guerra por el agua en el Valle de México? Estudio sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Federal y el Estado de México*. México: UNAM, Fundación Friedrich Ebert.

UNESCO. (2018). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2018: soluciones basada en la naturaleza para la gestión del agua*. Roma: UNESCO.

INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA: UNA HERRAMIENTA PARA IMPULSAR LA AGRICULTURA EN MÉXICO

ANALaura SÁNCHEZ MÉNDEZ.

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES MONTERREY.



ARTÍCULO

Resumen: La industria agrícola es de las más relevantes; gracias a ella subsisten más de 2,500 millones de personas alrededor del mundo, de las cuales más de 25 millones se encuentran en México. La agricultura es un elemento clave de la seguridad alimentaria y un medio para combatir las desigualdades (FAO, 2013), no obstante, este sector se verá gravemente afectado por el cambio climático, principalmente por la alta demanda de agua que necesita para su funcionamiento. En este contexto, la infraestructura hidráulica resulta un medio indispensable para adaptar el sector agrícola a las circunstancias climáticas y, por ende, para continuar

impulsando el desarrollo humano. La implementación de infraestructura hidráulica consiste de dos pilares, dentro de los que entran en juego la tecnología y el involucramiento de actores pertinentes (del gobierno, la industria y la sociedad) para así migrar a un desarrollo más sostenible.

Los recursos hídricos y la agricultura

Los recursos hídricos juegan un papel fundamental en el desarrollo humano. De ellos depende, por ejemplo, la totalidad del sistema agrícola, el cual brinda sustento a más de 2,500 millones de personas alrededor del mundo (FAO, 2013). La

agricultura hace posible garantizar la seguridad alimentaria, ofrecer fuentes de crecimiento económico y, además, conservar la integridad de los ecosistemas, lo cual, a su vez, incrementa la resiliencia climática de las poblaciones.

Sin embargo, los sistemas hídricos son altamente vulnerables al cambio climático. Esta situación plantea un desafío para la agricultura, pues el 70% de las extracciones mundiales de agua corresponden a este sector (AQUASTAT-FAO, 2011).

Debido a la creciente demanda de la agricultura sobre los recursos hídricos, la Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) estima que para 2025 más de 1,800 millones de personas vivirán en regiones con escasez absoluta de agua, mientras que dos tercios de la población global se encontrará en zonas de alto estrés hidrológico (FAO, 2013).

En vista de las circunstancias, es imperante diseñar e implantar protocolos y sistemas que promuevan el desarrollo e implementación de infraestructura hidráulica como mecanismos para el uso eficiente y sostenible del agua.

Infraestructura hidráulica para la agricultura

La implementación de la infraestructura hidráulica puede considerarse como un ejercicio compuesto por dos pilares principales.

Por un lado, se requiere del desarrollo e instalación de infraestructura física para la captación, almacenamiento y distribución de agua. Los sistemas agrícolas, generalmente, utilizan el agua de manera consuntiva, es decir, que gran parte del recurso se consume dentro del mismo cultivo y, por ende, no vuelve a los ríos, lagos o acuíferos de donde se extrajo (FAO, 2013). Dentro de esta premisa, se han desarrollado ecotecnias y tecnologías que permiten utilizar el agua eficientemente en cada una de estas tres etapas:

Captación. Es posible usar un sistema de acopio pluvial que permita disminuir el radio de extracción directa en los cuerpos de agua.

Almacenamiento. Considera la mejora de la infraestructura de diques, pozos, tanques, presas, cisternas, canales, entre otros, para eliminar fugas y evitar pérdidas.

Distribución. Existen una amplia variedad de tecnologías, especialmente de irrigación. Ejemplo de ellas son la aspersión o microaspersión, que distribuye el agua en forma de lluvia, o lluvia fina, para cubrir una mayor superficie de cultivo con un volumen de agua significativamente menor; el riego por goteo, en donde el agua se filtra directamente bajo tierra para evitar su evaporación; y el drenaje subterráneo, en donde tan sólo se mantienen las raíces suficientemente húmedas para asegurar su desarrollo óptimo.

El segundo pilar en el desarrollo de infraestructura consiste en la implementación de un marco jurídico que considere la mejora institucional para impulsar el uso de nuevas tecnologías y un manejo sostenible de los recursos hídricos, así como una educación conjunta en la sociedad.

El panorama en México

En México se cultivan aproximadamente 30 millones de hectáreas (FAO, 2011), las cuales aportan el 4% del PIB nacional. A pesar de la escasa represen-

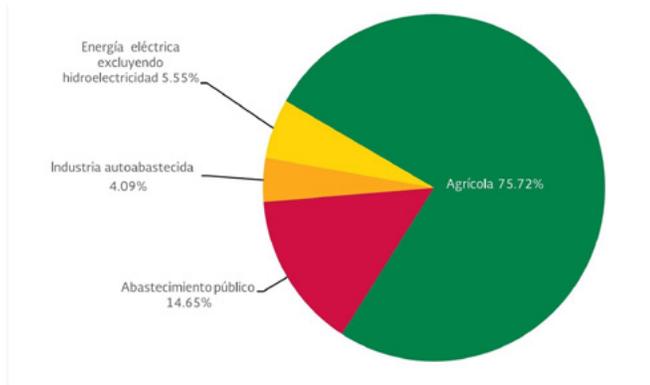
tación de la agricultura dentro de la economía del país, esta actividad es el sustento principal de las comunidades rurales, cuya población alcanza los 24 millones de personas. Para muchas de estas familias, la labor en los campos aporta hasta el 42% de su ingreso familiar.

Bajo este contexto, se observa que la agricultura es un medio elemental para impulsar el capital humano y luchar contra las desigualdades del país. De acuerdo con la FAO (2008) “es necesario invertir en agua, agricultura y ecosistemas como estrategia para reducir el hambre y la pobreza”.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2014) reporta que más del 75% de los recursos hídricos en México son destinados a la agricultura (Figura 1).

El uso intensivo del agua en la agricultura requiere ser analizado también desde los efectos del cambio climático y sus afectaciones a nivel espacial. Varias regiones del país serán afectadas por cambios en las temperaturas, sequías, inundaciones y demás fenómenos meteorológicos extremos, lo cual, sin dudas, comprometerá las actividades agrícolas

Figura 1: Distribución de uso por sector de la extracción de recursos hídricos en México.

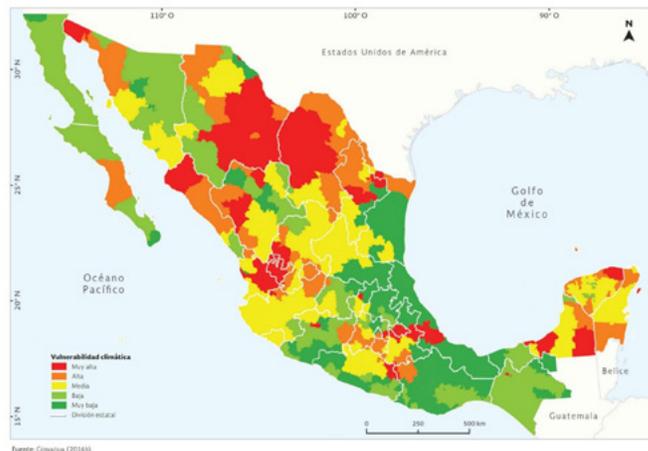


Nota: Agrícola incluye 1.30 km³ de agua correspondientes a distritos de riego pendientes de inscripción.
Fuente: CONAGUA (2014g).

(Figura 2). Un ejemplo es el noreste de Tamaulipas, una de las regiones con mayor valor agrícola, pero con un grado alto de vulnerabilidad climática.

A pesar de la importancia que tiene este sector para la subsistencia de las comunidades rurales del país, la infraestructura hidráulica agrícola aún tiene un enorme camino que recorrer para realmente ser sustentable y eficiente.

Figura 2: Vulnerabilidad climática a nivel de células de planeación, 2012.



Problemáticas y soluciones

De acuerdo con los dos pilares para la implementación de la infraestructura hidráulica descritos líneas arriba, se observa que, de toda la superficie nacional de cultivo, tan sólo el 12% cuenta con un sistema de riego. Para la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), México es una región en donde la irrigación tecnificada resulta

fundamental para la cosecha (OCDE, 2010), pues se estima que las superficies con irrigación incrementan su productividad en casi un 4% (González-Covarrubias, 2017).

Además de los bajos niveles de tecnificación, México se especializa en producir cultivos altamente intensivos en el uso de agua para su crecimiento, como trigo, maíz, arroz, algodón y caña de azúcar (SIAP, 2013) (Figura 3).

Los elementos anteriores son muestra de la necesidad de inversión en sistemas de irrigación, especialmente por goteo y microaspersión pues, de acuerdo con la CONAGUA (2017), son los más eficientes en cuanto al uso de recursos hídricos y los más adaptables a los diversos

Figura 3: Principales cultivos a nivel nacional.



Fuente: SIAP, 2013

escenarios del país. Por su parte, la FAO (2013) plantea que “la diversificación de los cultivos y el uso de enfoques ‘inteligentes respecto al clima’, [...] podrían contribuir a que los agricultores hagan más que eludir el temporal y mejorar sus niveles de producción y manejo sostenible”.

Otro de los elementos esencial para la atención del nexo agua-alimentos-cambio climático es el aumentar la prioridad de los sistemas rurales en la agenda política. En este cambio, se requiere dar un papel central a los cambios en la estructura de mercado y los subsidios agrícolas, de forma que se impulse la implementación de nuevas tecnologías hidráulicas y se dé prioridad a la capacitación de quienes laboran las tierras (IPCC, 2018). Esto beneficiaría a los agricultores, en tanto que podrían mejorar su capacidad productiva, incrementando así sus fuentes de ingreso. Además, la migración a una agricultura sostenible les

permitirá aprovechar sus recursos hídricos sin comprometer el futuro acceso a ellos.

Conclusión

En México, más de 25 millones de personas subsisten gracias a la agricultura. La transición hacia una agricultura sostenible no sólo consiste en la implementación de tecnologías, sino en el impulso al desarrollo del capital humano, el brindar seguridad alimentaria y oportunidades laborales a la población, así como el incrementar su resiliencia climática. La infraestructura hidráulica es fundamental para esta transición, pues gracias a ella es posible diseñar prácticas en donde se aprovechen los recursos hídricos y se incremente la capacidad productiva de los cultivos. Sin embargo, es importante considerar que la implementación de dicha infraestructura involucra más que esfuerzos tecnológicos, pues requiere de la intervención los gobiernos, la industria y la población en general. ♦

Referencias

- CONAGUA, (2018). "Atlas del agua en México", de CONAGUA, SEMARNAT y Gobierno de México.
- CONAGUA, (2014). "Estadísticas del Agua en México: Edición 2014", de CONAGUA. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>
- FAO, (2011). "AQUASTAT – FAO's Global Information System on Water and Agriculture", de FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/aquastat/en/overview/methodology/water-use>
- FAO, (2013). "Tecnologías para el uso sostenible del agua", de FAO. Disponible: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/Tecnologias_para_el_uso_sostenible_del_agua.pdf
- FAO, (2013). "Land & Water: Water scarcity", de FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/land-water/water/water-scarcity/en/>
- FAO, (2013): "México en una mirada", de FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/mexico/fao-en-mexico/mexico-en-una-mirada/es/>

González-Covarrubias, (2017). [Agua y Agricultura](#). Ponencia presentada en el Foro Gestión Integral del Agua en México. Julio de 2017, Valle de Bravo, México.

OCDE, (2010). "Sustainable Management of Water Resources in Agriculture", de OCDE. Disponible en: <http://www.oecd.org/greengrowth/sustainable-agriculture/49040929.pdf>

Smith, J. et al. (2018) "*Vulnerability to Climate Change and Reasons to Concern: A Synthesis*", de IPCC. Chapter 19.

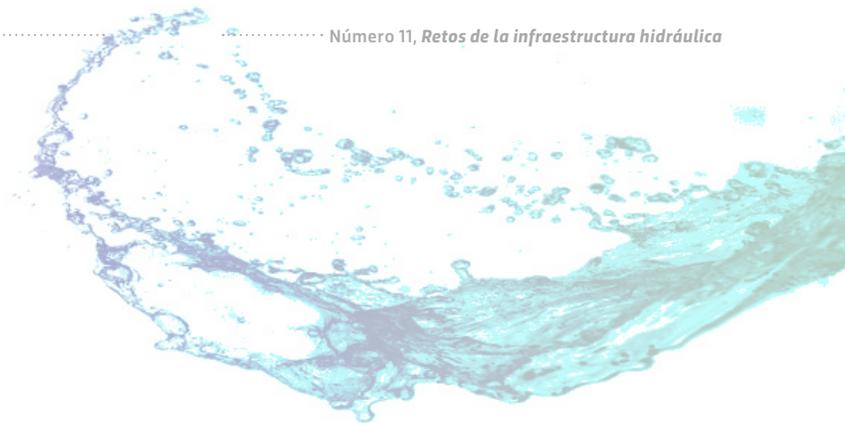
SIAP INFORMA, (2013). "Una mirada al panorama agroalimentario de México y el mundo", de SIAP. Número 14. México.

Agua.org.mx (2017). "Los retos del uso agrícola del agua", de Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C. Disponible en: https://agua.org.mx/editoriales/los-retos-del-uso-agricola-del-agua/#_edn6

RETOS EN EL DISEÑO, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS EN EL VALLE DE MÉXICO

ANGÉLICA MENDOZA MATA.

CENTRO REGIONAL DE SEGURIDAD HÍDRICA BAJO LOS AUSPICIOS DE UNESCO.



Resumen.

La recarga artificial se considera como un elemento que puede contribuir a lograr la sustentabilidad del acuífero del Valle de México. Este artículo presenta una visión general sobre su desarrollo en los últimos 50 años, las metodologías que han sido implementadas y los principales desafíos que enfrenta en términos de diseño, operación y mantenimiento de la infraestructura.

Por la naturaleza confinante del acuífero, la mayor parte de los proyectos propuestos e implementados corresponden a pozos de inyección con agua residual tratada. Se destaca la necesidad de

reactivar la puesta en marcha de fuentes de agua de recarga y de aumentar su capacidad de tratamiento mediante la rehabilitación de instalaciones. Asimismo, se aborda la necesidad de profundizar en la comprensión de los procesos de colmatación y determinar diseños óptimos para su prevención.

Introducción.

La sobreexplotación de cuatro de los catorce acuíferos que conforman la Región Hidrológica XIII Aguas del Valle de México (RHA XIII) ha generado un déficit hídrico estimado en 780 millones

de metros cúbicos (Mm^3) anuales. Esta situación ha inducido cargas de bombeo superiores a los 100 metros, abatimientos promedio de 1.5 metros anuales y hundimientos diferenciales en la zona metropolitana (CONAGUA, 2014, p. 12-17).

El acuífero del Valle de México ha sido estudiado desde múltiples perspectivas, que abarcan su análisis geotécnico, hidráulico e hidrogeológico. Dentro de la actualización hidrogeológica reciente destaca la elaboración de los *“Estudios de la segunda etapa del modelo numérico del acuífero del Valle de México – Plan de gestión integral del acuífero del Valle de México”* realizado por el Instituto de Ingeniería (IIUNAM) en 2018, bajo el patrocinio de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

El objetivo del estudio fue conservar la cantidad y calidad del agua en el acuífero, con el fin de alcanzar su sustentabilidad y disminuir los hundimientos. Dentro de sus objetivos específicos destaca la formulación de políticas, programas y acciones orientados a equilibrar la oferta y demanda de agua.

Las acciones propuestas contemplan el fortalecimiento institucional, cambios en el marco regula-

torio, disminución de las extracciones, preservación de la recarga natural, impulso del reúso de agua residual tratada y el desarrollo de proyectos para la recarga artificial de los acuíferos.

Los criterios para la selección de sitios potenciales para aplicar la recarga artificial contemplan la disponibilidad y cercanía a la fuente del agua de recarga, su calidad, la factibilidad hidrogeológica del sitio donde se infiltrará el agua, la calidad del agua nativa, la propiedad y uso del suelo, la cercanía a la infraestructura y los costos.

El presente artículo aborda algunos de los principales retos respecto al desarrollo, operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica disponible para la recarga artificial en el Valle de México.

Evolución de la recarga artificial de acuíferos en el Valle de México.

Los primeros proyectos de recarga artificial en el Valle de México se realizaron en el periodo 1943–1964 en la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), a través de la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México (CHCVM). Los tres proyectos ejecuta-

dos de los cuatro planeados buscaron desviar los ríos Magdalena y Eslava hacia basaltos permeables e instalar los primeros pozos de absorción en la ciudad. (González Villarreal, 2017, p. 25).

Para finales de la década de los 80, la Comisión Nacional del Agua, a través de la Comisión del Lago de Texcoco, elaboró e implementó tres proyectos, considerados como los primeros intentos por infiltrar agua residual tratada.

Por su parte, el Departamento del Distrito Federal (DDF), por medio de Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH), logró ejecutar dos proyectos, uno de los cuales representa el primer avance significativo de recarga artificial utilizando agua residual tratada, a través de la rehabilitación del pozo San Luis Tlaxialtemalco. Contó con seis estudios experimentales, enfocados principalmente en la infiltración en las inmediaciones del cerro Santa Catarina, (Lesser y Asociados, 1991).

En 2009, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) llevó a cabo un estudio de recarga artificial utilizando agua de lluvia en el río Magdalena. La implementación de este proyecto consistió

en la caracterización de la cuenca para la selección de sitios potenciales de recarga y la construcción de represas de gaviones que promovieran la infiltración en el cauce. (Escolero O., 2017).

Durante el periodo 2007–2014, el Gobierno del Distrito Federal, a través del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM), realizó tres estudios relativos al comportamiento de la recarga en la zona poniente y sur-oriente de la Ciudad de México. En el año 2010 destaca el Estudio de Gran Visión, que contempla, entre otras alternativas, la puesta en marcha de una planta piloto de 20 lps en las inmediaciones del cerro de La Estrella que contaría con un sistema de tratamiento avanzado de potabilización al agua para su infiltración a través de inyección directa.

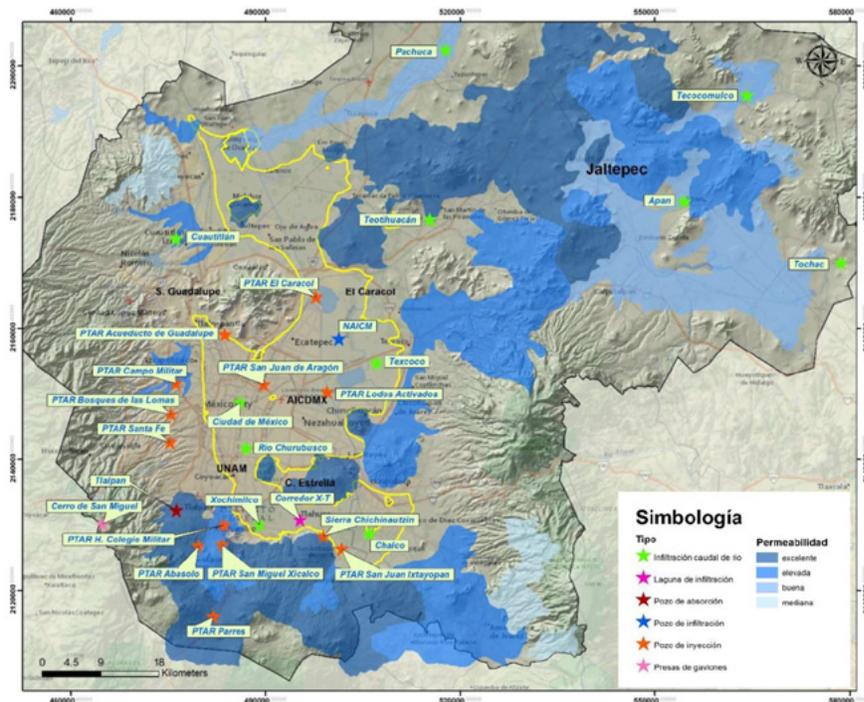
Finalmente, la CONAGUA continúa con los estudios relativos a la recarga artificial del acuífero, principalmente en la parte nororiente del lago de Texcoco y el impulso del reúso de agua residual tratada para su infiltración e intercambio de uso. Esta dependencia ejecutó dos proyectos: uno ubicado en El Caracol (de forma experimental) y otro en las

inmediaciones del lago Nabor Carrillo.

Actualmente, se desarrolla un proyecto de inyección de agua residual tratada en las inmediaciones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Chapultepec. A la fecha, el sistema está compuesto por un pozo de inyección, de 300 m de profundidad y con un diámetro de 12”, que planea infiltrar 80 lps. Asimismo, se han perforado tres pozos de monitoreo a 150 m de profundidad, con un ademe de 8”.

La distribución espacial de los proyectos de recarga artificial propuestos e instalados en el Valle de México pueden apreciarse en la Figura 1 y Figura 2, respectivamente.

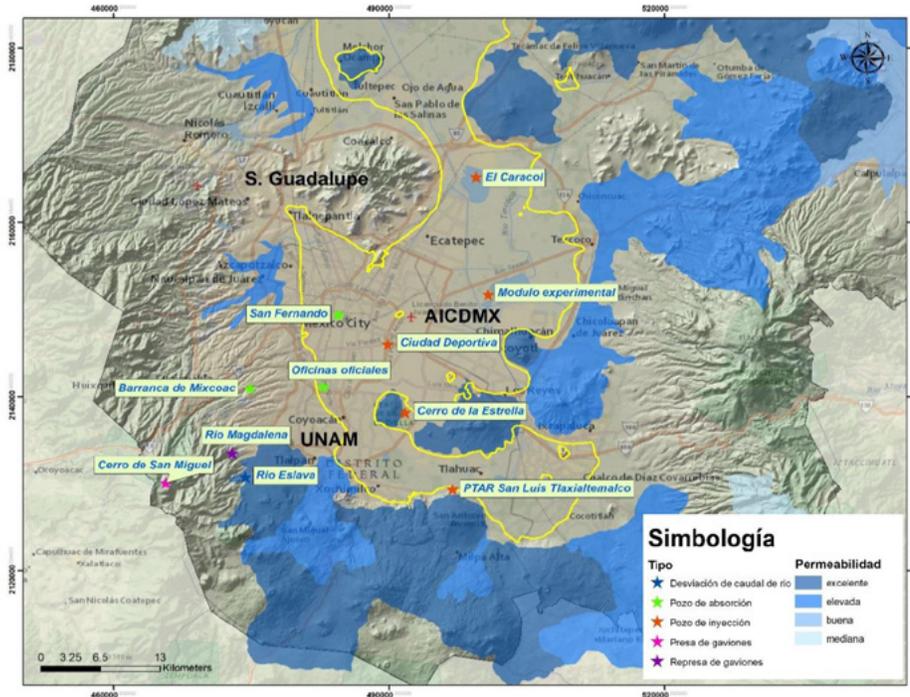
Figura 1. Proyectos propuestos.



Retos y áreas de oportunidad.

La revisión de experiencias de recarga artificial en el acuífero del Valle de México permite identificar los principales desafíos en el área, específica-

Figura 2. Proyectos instalados.



1. La creación de infraestructura hidráulica con el fin de captar, conducir, almacenar o distribuir el agua que será recargada, así como recolectar, tratar y reusar las aguas residuales.

Uno de los factores que condiciona la viabilidad de la recarga artificial es la existencia de un volumen de agua disponible para poder infiltrarlo. En este sentido, el Programa de Sustentabilidad Hídrica del Valle de México (CONAGUA, 2011) atendió diversos problemas relacionados con la protección de acuíferos, proponiendo el desarrollo de nuevas fuentes de agua potable, intercambio de aguas de uso agrícola y tratamiento de aguas residuales.

mente en el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de estos sistemas. Las soluciones evidencian la oportunidad para la innovación y desarrollo de nuevas soluciones en los siguientes temas.

Aunque las dos obras de mayor trascendencia contempladas en dicho Programa fueron el Túnel Emisor Oriente (TEO) y la PTAR Atotonilco, se propuso la creación adicional de seis PTAR municipales que tratarían alrededor de 13.5 m³/s. Dicho caudal sería utilizado para el intercambio de agua para uso agrícola y la recarga artificial del acuífero en la región norte de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

El proyecto “*Estudios de la segunda etapa del modelo numérico del acuífero del Valle de México – Plan de gestión integral del acuífero del Valle de México*” retomó dicha proyección de infraestructura y determinó conveniente la utilización de las PTARs Zumpango, Nextlalpan y El Caracol, para aportar 3 m³/s de volumen tratado como oferta de agua disponible para infiltrarla.

2. La conservación y rehabilitación para preservar el funcionamiento de la infraestructura hidráulica activa que puede destinarse a la recarga artificial.

Un desafío adicional a la creación de infraestructura es hacer más eficiente el uso de la existente. Un elemento es la recuperación de diversas instalaciones en la ZMVM, que incluye la rehabilitación o ampliación de PTARs y la adaptación de pozos fuera de operación.

De acuerdo con el Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y Tratamiento de Aguas Residuales en Operación (CONAGUA, 2015), existen 147 PTAR en la ZMVM, con una capacidad instalada de 13 m³/s y un caudal tratado de 7.7 m³/s.

El volumen tratado disponible se encuentra distribuido espacialmente en toda la Ciudad de México. La mayor oferta se ubica en la región sur, correspondiente a la PTAR Cerro de La Estrella, seguida por los volúmenes de las PTARs San Juan Ixtayopan, Santa Fe, Ciudad Deportiva San Luis Tlaxialtemalco y Chapultepec. En esta última se realizan pruebas para la recarga artificial en el acuífero.

La mayor parte del agua tratada de las plantas indicadas se destina al riego de áreas verdes y agrícolas. Una porción de este volumen, o bien el pro-

veniente de futuras ampliaciones o incrementos en la eficiencia de las PTARs podría destinarse a la recarga artificial, alcanzando los 2 m³/s.

Existen experiencias relacionadas con la rehabilitación de pozos para inyección de agua, como el de Santa Catarina y San Luis Tlaxialtemalco, que demuestran su efectividad en acuíferos confinados, siempre que se mantenga especial cuidado en la cantidad de sólidos en suspensión y el ritmo de la colmatación. La recuperación de pozos es un factor clave a tomar en cuenta cuando se realiza la comparación con los costos relativos a la implementación, respecto a otros mecanismos de recarga.

3. El mantenimiento para preservar el funcionamiento de la obra mecánica que constituye la infraestructura hidráulica de recarga. Lo anterior incluye mecanismos, sistemas electromecánicos, maquinaria y equipo en general.

El desarrollo de la recarga artificial en el Valle de México a través de módulos experimentales, pozos de absorción y pozos de inyección enfrentó proble-

mas relacionados con la colmatación. De acuerdo con la CONAGUA (2018, p. 489-549), la acumulación de material sólido en los dispositivos redujo notablemente su capacidad de recarga. Las causas que provocaron dicho taponamiento en columnas y pozos tienen origen en la interacción entre los efectos mecánicos del dispositivo con la actividad bioquímica del agua de recarga.

La afectación sobre la tasa de infiltración fue tan importante que, incluso en casos donde se operó con una baja concentración de sólidos en suspensión, fue necesario programar sistemas de limpieza en las instalaciones. De acuerdo con los registros, dependiendo del tiempo y volumen de agua recargado, la mayoría de los pozos de inyección fueron abandonados como resultado de la imposibilidad de regenerar su capacidad de infiltración con los caudales originales operativos. Este proceso de degeneración de capacidad frecuentemente se traduce en la necesidad de estimar la vida útil de las instalaciones con mayor precisión y realizar estudios económicos pertinentes para cuantificar su rentabilidad.

Se recomienda desarrollar dispositivos de vigilancia y control que impidan la entrada del agua que no puede ser tratada con un cierto grado de garantía o que no cumpla determinados estándares de calidad. El contenido de sólidos en suspensión es un constituyente del agua de recarga sobre el que se debe efectuar un especial seguimiento.

Conclusiones.

La construcción y rehabilitación de la infraestructura de saneamiento e infiltración mencionada podría aportar un caudal potencial de hasta 5 m³/s al acuífero, que asciende a un 20% del volumen total minado.

Lo anterior invita a destacar la urgencia de promover la participación económica del gobierno federal, estatal y municipal en la reactivación de la creación de dicha infraestructura, impulsando nuevos esquemas financieros que permitan mejorar técnica y financieramente la ejecución de dichos proyectos.

La recarga artificial con aguas tratadas representa una opción potencial al tener en cuenta la

disponibilidad de infraestructura y su distribución espacial en la ZMVM. El éxito de la implementación de esta estrategia depende también de la capacidad técnica para garantizar la calidad de agua y el lograr la aceptación por parte del público. 💧

Bibliografía.

- Comisión Nacional del Agua. (2015). Determinación de la disponibilidad del acuífero de la Ciudad de México (DR 091).
- Comisión Nacional del Agua. (2018). Estudios de la segunda etapa del modelo numérico del acuífero del Valle de México – Plan de gestión integral del acuífero del Valle de México. Elaborado por el Instituto de Ingeniería, Convenio: CGPEAS-UNAM-03/2016.
- Escolero Fuentes, O., Gutiérrez Ojeda, C., & Mendoza Cázares, Y. (2017) Manejo de la recarga de acuíferos: un enfoque hacia Latinoamérica. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

González Villarreal, F., Mendoza Mata, A., Arriaga Medina, J. (2017). Memorias del taller “Recarga artificial del acuífero del Valle de México”. Biblioteca temática de www.agua.org.mx.

Lesser y Asociados S.A. de C.V. (1991). Recarga artificial de agua residual tratada al acuífero del Valle de México.

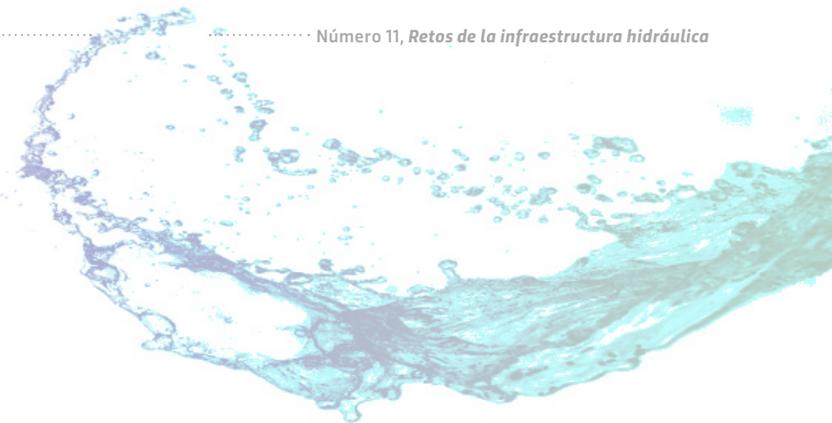
Agradecimientos.

El presente artículo fue realizado con información del proyecto “Estudios de la segunda etapa del modelo numérico del acuífero del Valle de México – Plan de gestión integral del acuífero del Valle de México”, realizado por el Instituto de Ingeniería a petición de la Comisión Nacional del Agua. La autora agradece a los participantes del proyecto (en orden alfabético): M.C. Aarón Antonio Schroeder, M.I. Adriana Palma Nava, Dra. Alma Concepción Chávez Mejía, Ing. Álvaro Hernández López, M.I. Aura Torres Gómez, Ing. Enrique Aguilar Amilpa, Dr. Fernando González Villarreal, M.I. Guadalupe Esther Fuentes Mariles, Ing. Esp. Ivonne Pavón Ibarra, Ing. Laura Elena Moreno Rivera, M.I. Luis Velázquez Aguirre y M.I. Víctor Hugo Aquino Illescas, Aguirre.

PUMAGUA: ACCIONES ESTRUCTURALES POR EL USO EFICIENTE DEL AGUA EN CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNAM

JOSÉ DANIEL ROCHA GUZMÁN, JOSUÉ PABLO HIDALGO JIMÉNEZ, ALEJANDRO LANDÍN HERNÁNDEZ, ADRIAN VILLANUEVA ROMERO Y YADIRA SÁNCHEZ VÁZQUEZ.

PROGRAMA DE MANEJO, USO Y REÚSO DEL AGUA EN LA UNAM.



ARTÍCULO

INTRODUCCIÓN

El Programa de Manejo, Uso y Reúso del Agua en la UNAM constituye una contribución de la comunidad universitaria a la solución de los problemas hídricos del país, pues implementa acciones y estrategias para el ahorro de este recurso.

El presente artículo describe las acciones que PUMAGUA, desde su creación, ha implementado para reducir el suministro de agua extraída. Éstas se centran en dos estrategias (PUMAGUA, 2010, p. 13 y 23):

- 1) Gestión de pérdidas físicas en el sistema, y
- 2) Disminución del suministro de agua a cada entidad académica

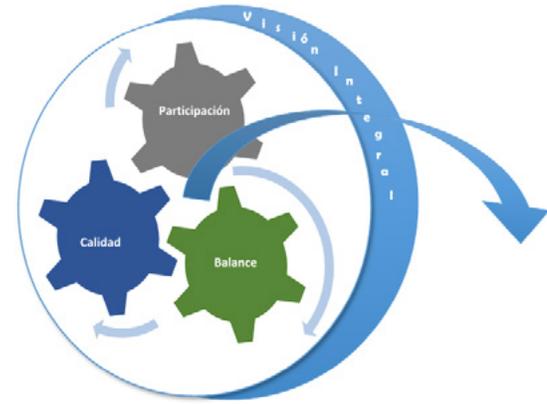
En el primer caso, se han desarrollado esfuerzos para la reducción de fugas en el sistema a través de un monitoreo del volumen de agua suministrado a la red y a cada edificio, análisis de reportes de fugas, sectorización y sub sectorización de la red, control de presiones en el sistema, renovación de infraestructura y mejora de tiempos de reparación de pér-

didias (PUMAGUA, 2010, p. 20). En el segundo caso, se establecieron los lineamientos generales y específicos para sustitución de muebles de baño a instalarse en núcleos sanitarios, se ha impulsado la instalación de jardinería de bajo o nulo consumo de agua, utilización de sistemas de riego más eficientes e intercambio de agua de primer uso por agua residual tratada para el riego de áreas verdes.

DESARROLLO

Por mandato del Consejo Universitario, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) instauró en 2007 el Programa de Manejo, Uso y Reúso del Agua en la UNAM (PUMAGUA) con el objetivo de “implementar un programa integral de manejo, uso y reúso del agua en la UNAM, con la participación de toda la comunidad universitaria” y lograr un manejo eficiente del recurso hídrico en todas las instalaciones de la Universidad. El Programa está constituido por tres áreas que trabajan de manera sincrónica: Balance Hidráulico, Calidad del Agua, y Fomento a la Participación Social, ver Figura 1.

Figura 1. Esquema de trabajo PUMAGUA.



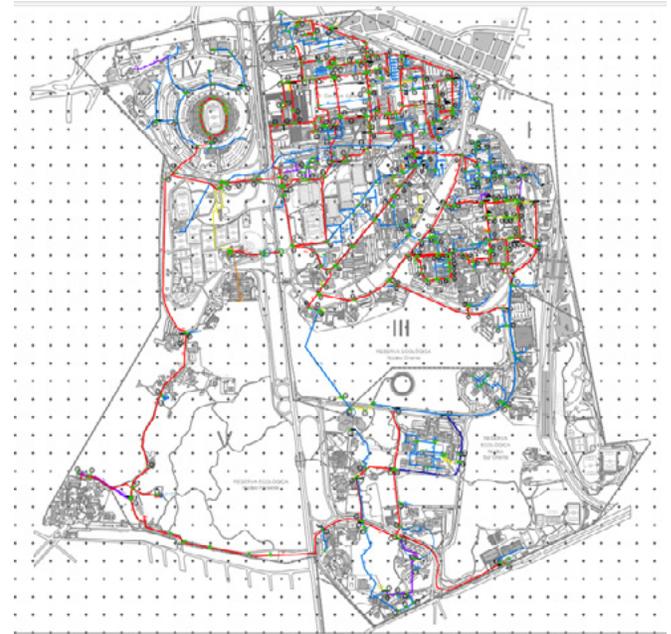
Como resultado del diagnóstico elaborado en 2008 de la infraestructura hidráulica de Ciudad Universitaria y de las prácticas de consumo de agua de su comunidad, PUMAGUA agrupó sus acciones y programas para lograr el uso eficiente en dos estrategias. La planeación se planteó como sigue:

- 1) **Gestión de pérdidas físicas en el sistema**
 - a. **Programa de control activo de fugas:** Acciones de intervención que consisten en emprender técnicas de detección, loca-

lización y reparación de fugas no reportadas en la red de distribución, aplicando diferentes métodos para conocer el caudal fugado e identificar las zonas con mayor cantidad de fugas, como la sectorización y sub sectorización del sistema.

- b. Gestión de la presión:** Su propósito es llevar a cabo un eficiente manejo de las presiones en dos sectores de la red de distribución para reducir la tasa de fugas, así como aquellas fugas que son prácticamente indetectables. Con esta acción es posible reducir en un 30 % las pérdidas en el sistema. Ver Figura 2.
- c. Renovación de infraestructura:** Son aquellas acciones de tipo estructural que se relacionan con el mantenimiento y renovación de la infraestructura. Actualmente se tienen identificados 4,600 m de tubería a sustituir en el sistema.
- d. Mejora de tiempos de atención a reportes de fuga:** Se plantea hacer más eficiente la atención a los reportes de fuga, desde

Figura 2. Red de agua potable de CU.



que se da aviso hasta su reparación completa. Implica renovar la instrumentación del sistema.

2) Disminución del suministro de agua a cada entidad académica. Ver Figura 3

- a. **Establecimiento de lineamientos para sustitución de muebles de baño de bajo consumo.** Se evaluaron todas las marcas presentes en el mercado y, a partir de

Figura 3. Tabla resumen.

Tabla resumen			
Año	Total anual	Población	Q medio anual (l/s)
2008	2,934,053.0	147,843	92.2
2009	2,629,927.0	150,185	82.6
2010	2,616,885.0	154,998	82.1
2011	2,595,241.0	159,903	81.5
2012	2,432,789.8	161,759	0.0
2013	2,510,157.7	164,033	78.8
2014	3,119,988.0	167,799	97.9
2015	2,496,664.0	170,680	78.4
2016	2,207,642.9	172,254	69.4
2017	2,353,069.0	175,305	73.8
2018	2,757,723.0	178,357	88.7
2019	2,381,462.0	181,408	75.6
2020	687,574.0	ND	88.8

ello, se establecieron los lineamientos que deben cumplir estos equipos para poder ser instalados en los núcleos sanitarios de las entidades de la universidad. Las recomendaciones se institucionalizaron al incluirse en los “Lineamientos de construcción de la UNAM” (PUMAGUA, 2011, p. 24).

- b. **Programa de jardines con vegetación nativa o bajo consumo de agua.** Con apoyo de la secretaría ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA), hasta 2016 se habían instalado 24 jardines con vegetación nativa en 17 entidades. Este tipo de jardines tienen la ventaja de sobrevivir con una menor cantidad de agua de riego, lo que reduce o elimina la cantidad de agua de primer uso en el riego de áreas verdes.
- c. **Programa de intercambio de agua de primer uso por agua residual tratada en el riego de áreas verdes.** Tras la renovación de las dos Plantas de Tratamiento de

Aguas Residuales (PTAR) del campus, se dispuso del agua residual tratada en cantidad y calidad adecuada para el riego de áreas verdes. Además, se proyectó las zonas en las que es posible hacer el intercambio y las que no son susceptibles a estas medidas.

RESULTADOS

Como resultado de la ejecución de estas estrategias, de 2008 a la fecha, y con apoyo de la Dirección General de Obras y Conservación (DGOC), se ha logrado instalar y operar un sistema de monitoreo del suministro de agua en tiempo real que incluye la extracción de agua en las fuentes de abastecimiento (Pozos), su distribución y, finalmente, la disposición en los edificios de cada entidad universitaria. Estas mediciones se pueden consultar en línea y son del dominio público. Las entidades académicas cuentan con acceso al sistema para visualizar si alguno de sus edificios cuenta con fugas y, de ser así, conozcan su magnitud y determinen las acciones a tomar para eliminarlas.

Se elaboraron y digitalizaron los planos de la infraestructura hidráulica primaria del campus. Con la información de planos y consumos se desarrollaron y calibraron modelos hidráulicos que permitieron simular el sistema y segmentar la red en cinco sectores hidráulicos, en dos de los cuales fue necesario el control de presiones. Estas acciones permiten un mayor control operativo del flujo y presión por sector y el conocimiento sobre la distribución espacial de las pérdidas en el campus. Con objeto de conocer de forma más específica la ubicación y posterior localización de las fugas, la red se dividió en 17 sub sectores, dentro de los cuales 6 concentran el 75 % de las pérdidas del sistema. Con apoyo de geófonos, correladores y otros equipos, se ha logrado reducir en 50 % (28.0 l/s) las pérdidas en el sistema respecto a 2008. Con el análisis de la información de reportes de fugas y mediciones en sub sectores, se trabaja actualmente en el proyecto ejecutivo para sustituir 4,600 metros de tubería y en una propuesta para mejorar los tiempos de atención a fugas.

Hasta el momento, han sido instalados más de 6,000 muebles de baño ahorradores en todas

las entidades académicas de la universidad y se ha fomentado entre las dependencias universitarias el uso de vegetación de bajo consumo de agua para riego de áreas verdes. Esto implica un reto a los viveros de la universidad, ya que se debe tener la cantidad de flora demandada. Estas acciones han representado un ahorro de al menos 5.0 l/s.

En el año 2012 se renovaron las dos PTARS de Ciudad Universitaria, lo que ha permitido disponer de agua residual tratada con calidad adecuada para el riego de áreas verdes. En la actualidad 50 hectáreas son regadas con esta agua, aunque la meta es incrementar esta superficie en al menos 75 hectáreas. Para alcanzar este objetivo se requiere la renovación y ampliación de la red primaria y secundaria de agua tratada, la colocación de sistemas de riego con menor consumo de agua y la modificación de horarios de riego de áreas verdes para incrementar la eficiencia en el proceso. Estas acciones reducen la extracción de al menos 18 l/s de los pozos.

CONCLUSIONES

En estos diez años, PUMAGUA ha sumado esfuerzos y ha logrado fomentar el uso eficiente de agua en más de 120 dependencias, tanto en Ciudad Universitaria como en entidades externas. Se han establecido alianzas con los principales actores que intervienen en el uso del agua en Ciudad Universitaria, lo que ha dado mayor impulso a las acciones ejecutadas.

Los resultados del programa han sido promovidos en redes sociales y eventos en los cuales se ha generado un gran impacto en la población. Además, se han formado más de 90 becarios de diversas disciplinas y áreas de conocimiento.

Pese a los resultados mostrados a la fecha, el Programa enfrenta nuevos retos, como actualizar los sistemas de monitoreo de volumen y calidad del agua, sustituir el 10 % de la red de agua potable, reducir en al menos un 25 % adicional las pérdidas físicas, ampliar la cobertura de agua tratada, hacer

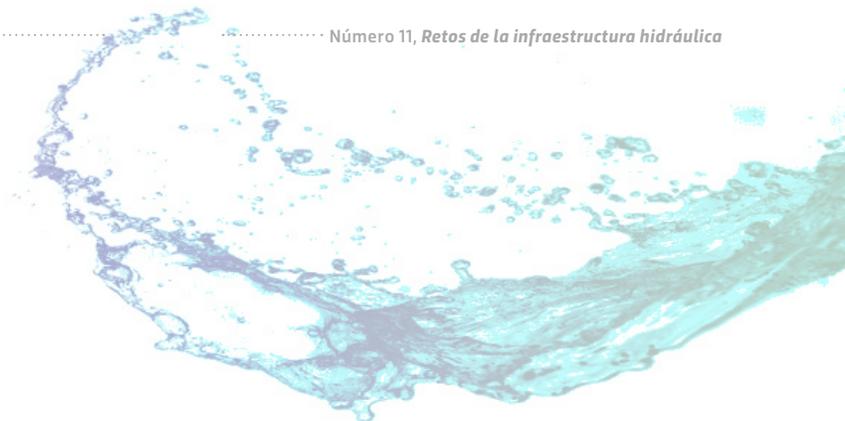
más eficientes los sistemas de riego, mejorar los tiempos en atención a fugas, replicar el modelo en los demás campi de la UNAM y otras localidades de México. 💧

BIBLIOGRAFÍA

PUMAGUA. Informes Finales. Instituto de Ingeniería, UNAM. CDMX, México. Disponibles en: http://www.pumagua.unam.mx/pub_informes.html

SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA EN CIUDAD UNIVERSITARIA, UNAM

LAURA JAZMÍN LOBACO SALAS, LUZ MARÍA CHÁVEZ MARÍN,
FABIÁN MEJÍA ZÚÑIGA, Y JOSÉ DANIEL ROCHA GUZMÁN.
PROGRAMA DE MANEJO, USO Y REÚSO DEL AGUA EN LA UNAM.



INTRODUCCIÓN

La instalación de bebederos es un elemento esencial en el acceso público al agua (Phurisamban, et al., 2017, p. 1) y permite avanzar en el cumplimiento de la meta 6.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 6, que busca lograr el acceso universal y equitativo al agua para consumo a un precio asequible para todos antes de 2030 (UNICEF y OMS, 2018, p. 8). Sin embargo, la sola instalación de los bebederos no garantiza una buena calidad del agua (UNICEF y OMS, 2018, p. 12).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), es indispensable conocer la calidad

del agua que se utiliza para el consumo humano, sin embargo, pocos países realizan un monitoreo periódico para conocerla y, en aquellos donde se ha analizado, los resultados indican un cumplimiento muy variable de las normas nacionales (UNICEF y OMS, 2018, p. 48). En México, un estudio realizado sobre la calidad del agua disponible en bebederos de diferentes escuelas mostró que el 80 % no cumplía con la normatividad nacional (CEPAL, 2019, p. 7).

Lo anterior indica que para garantizar el acceso a agua segura es indispensable contar con un

monitoreo de la calidad del agua de los bebederos, desarrollar e implementar protocolos para su mantenimiento, reparación y reemplazo y comunicar los resultados (CEPAL, 2019, p. 8; Phurisamban, et al., 2017, p. 7 y 9). Por ello, el objetivo de este trabajo es presentar el sistema de monitoreo de la calidad del agua que se realiza de manera continua en el campus de Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) para garantizar el acceso a agua segura a estudiantes, académicos, trabajadores y personas que lo visitan.

DESARROLLO

En 2006, la UNAM participó en el IV Foro Mundial del Agua y, posteriormente, organizó el Primer Encuentro Universitario del Agua con el propósito de contribuir en la coordinación de los esfuerzos en materia de recursos hídricos en la universidad. Como resultado de estos dos eventos, en 2008 el Consejo Universitario propuso la creación del Programa de Manejo, Uso y Reúso del Agua en la UNAM (PUMAGUA), que tiene entre sus objeti-

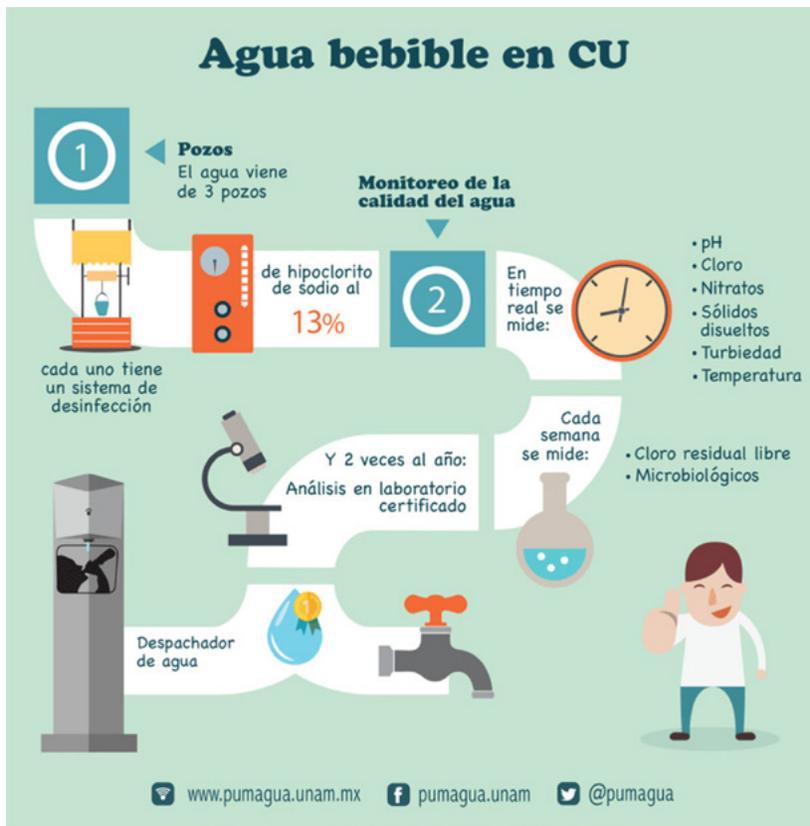
vos lograr el manejo adecuado del agua (PUMAGUA, 2008, p. 7).

Una de las acciones permanentes de PUMAGUA es vigilar la calidad del agua que se distribuye en toda Ciudad Universitaria, brindando a la comunidad la confianza de que el agua que ingieren de los bebederos y dispensadores es apta para el consumo humano. Para lograr lo anterior, el Programa realiza diferentes actividades (*Véase Figura 1*) para medir distintos parámetros considerados en la NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000) sobre agua para uso y consumo humano. La medición de la calidad del agua se realiza en todo el sistema de distribución, que incluye: tres pozos de extracción (Pozo Vivero Alto, Pozo Multifamiliar y Pozo de Química), tres tanques de almacenamiento, 21 sitios estratégicos de la red de distribución y 186 bebederos y dispensadores.

Monitoreo en tiempo real

Una vez que el agua es extraída de los pozos, se inyecta de forma automática hipoclorito de sodio al 13 % como método de desinfección. Posterior-

Figura 1. Sistema de monitoreo de calidad del agua en Ciudad Universitaria, UNAM.



mente, el agua es enviada hacia tres tanques de almacenamiento desde los cuales es distribuida por gravedad en todo el campus. Para conocer la calidad en tiempo real del agua que está siendo distribuida, frente al Edificio 8 del Instituto de Ingeniería se encuentran instalados 5 sensores que miden: pH, cloro residual libre (CRL), temperatura, turbidez y sólidos disueltos totales (SDT) (Véase Figura 2). Los datos obtenidos por estos sensores permiten vigilar en todo momento que el agua sea apta para consumo y actuar de forma inmediata en caso de que algún parámetro se encuentre fuera de la norma.

Figura 2. Sistema de sensores para medición de parámetros en tiempo real.



Monitoreo *in situ*

Este monitoreo consiste en evaluar la calidad del agua de las fuentes de abastecimiento (3 pozos de extracción), de puntos estratégicos de la red (3 tanques de almacenamiento y 21 sitios pertenecientes a la red hidráulica) y de los puntos de consumo (69 bebederos, 3 llaves de cocina y 114 dispensadores) (Véase Figura 3). Semanalmente, se mide la concentración de CRL con un colorímetro portátil mediante el método DPD (Véase Figura 4). Además, se toman muestras de agua de acuerdo con la NOM-

Figura 3. Mapa de sitios de monitoreo de calidad del agua.

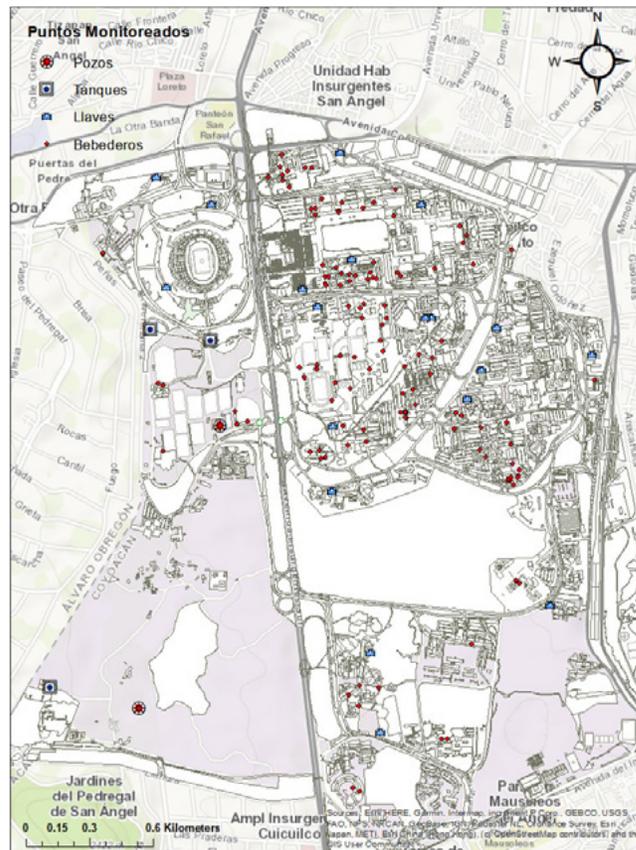


Figura 4. Monitoreo *in situ* de la calidad del agua en dispensador de Ciudad Universitaria.



014-SSA1-1993 y se procesan mediante filtración a través de membrana para la detección de coliformes totales y coliformes fecales (APHA, 2005). Mensualmente, se mide la concentración de nitratos y sulfatos mediante el método HACH 8192 y HACH 8051, respectivamente.

Análisis externos

Considerando que la NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000) incluye 46 parámetros, dos veces al año son realizados análisis completos de la calidad del agua de pozos, bebederos y dispensadores por parte de un laboratorio certificado. Hasta ahora, los resultados han determinado que el agua es apta para uso y consumo humano.

Comunicación de resultados

Los resultados de la calidad del agua de los bebederos y dispensadores son enviados de forma oficial (mediante un oficio) a cada una de las entidades académicas del campus. En este documento, se incluyen “Fichas de calidad del agua” donde se muestran los valores de cada uno de los parámetros analizados y un semáforo que indica:

- Verde, agua apta para consumo humano.
- Amarillo, suspender servicio.
- Rojo, agua no apta para consumo humano.

Cuando se detecta que el agua puede representar un riesgo para la salud de los usuarios, se pide la suspensión del servicio y se indican

medidas correctivas, posteriormente, el agua vuelve a analizarse para verificar que el problema haya sido resuelto. Las fichas de calidad del agua son difundidas por cada dependencia entre su comunidad. Además, los resultados se encuentran disponibles para su consulta pública en la plataforma digital “Observatorio del agua” (<http://www.observatoriodelagua.unam.mx/>).

CONCLUSIÓN

En Ciudad Universitaria UNAM, los bebederos y dispensadores que se encuentran instalados en todo el campus permiten el acceso público al agua, además de ser una alternativa al consumo de agua embotellada y a los problemas ambientales que esto genera.

En este campus, se tiene un Programa dedicado al monitoreo de la calidad del agua de toda la red y, en especial, de los puntos de consumo. Se cuenta además con un “Manual de selección, instalación y mantenimiento de dispositivos que suministran agua para el consumo humano” y se garantiza el acceso a la información mediante un sistema de

comunicación de resultados. Todo lo anterior hace que el sistema de monitoreo de calidad del agua cumpla con estándares internacionales (OMS, 2018, p. 1-518) garantizando que el agua de los bebederos y dispensadores sea apta para el consumo humano. ♦

REFERENCIAS

CEPAL. (2019). El agua como factor transversal en los ODS bajo examen en el Foro Político de Alto Nivel sobre el Desarrollo Sostenible (HLPF) 2019 en América Latina y El Caribe. Buena gobernanza y gestión del agua para el empoderamiento de las personas, la inclusión y la igualdad. Santiago, Chile. pp. 27. Disponible en: http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/HLPF_2019_LAC_brief_long_Spanish.pdf

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) y Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). Agua, saneamiento e higiene en las escuelas: Informe de línea de

base mundial 2018. Nueva York, EUA. pp. 84. Disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/jmp-wash-in-schools/es/

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la segunda agenda. Ginebra, Suiza. pp 636.

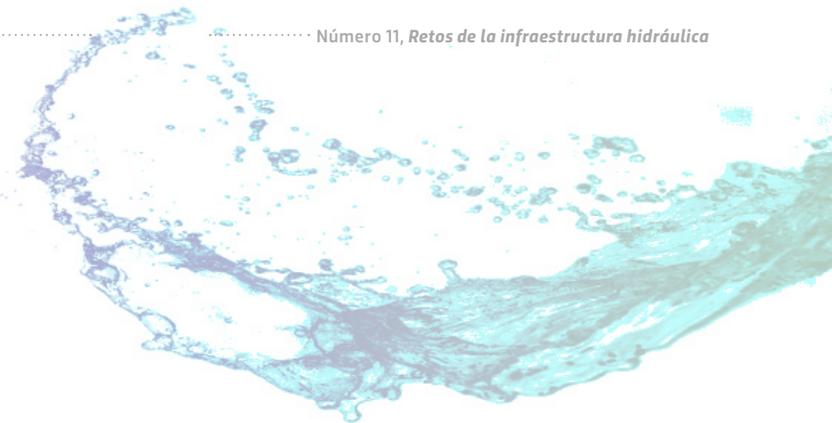
Phurisamban, R., & Gleick, P. (2017). Drinking Fountains and Public Health Improving National Water Infrastructure to Rebuild Trust and Ensure Access. Oakland, CA: Pacific Institute. California, EUA. pp. 18.

PUMAGUA (2008). Informe Final 2008. Resumen Ejecutivo. Instituto de Ingeniería, UNAM. CDMX, México. pp. 86. Disponible en: http://www.pumagua.unam.mx/pub_informes.html

PRONÓSTICO DEL ESCURRIMIENTO MEDIANTE TÉCNICAS REGIONALES DE PRECIPITACIÓN PARA UN MODELO DE PARÁMETROS DISTRIBUIDOS EN LA CUENCA RÍO ESCONDIDO.

DULCE MONCAYO KELLY SOREYI [^], ARGANIS JUÁREZ MARITZA LILIANA [^], DOMÍNGUEZ MORA RAMÓN [^], ESQUIVEL GABRIELA^A

^AUNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO,
INSTITUTO DE INGENIERÍA Y FACULTAD DE INGENIERÍA.



1. RESUMEN

Las precipitaciones registradas los días 4 y 5 de abril de 2004 en el norte del estado de Coahuila, ocasionaron desbordamientos e inundaciones del río Escondido provocando daños al municipio de Piedras Negras (Jiménez et al, 2004, p.2). Con el objetivo de contribuir en el pronóstico de caudales de diseño para diferentes periodos de retorno (Tr: 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 500 años), se calibró mediante técnicas regionales de precipitación el Modelo para Pronóstico del Esgurrimiento (MPE).

2. INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son uno de los fenómenos naturales más comunes en México. Se definen como el evento que, debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de estructuras hidráulicas, provocan incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar, generando invasión en sitios donde no la hay, y daños en la población (CENAPRED y Secretaría de Gobernación, 2009, p. 3).

Este trabajo presenta un análisis para estimar los caudales de diseño para diferentes periodos de

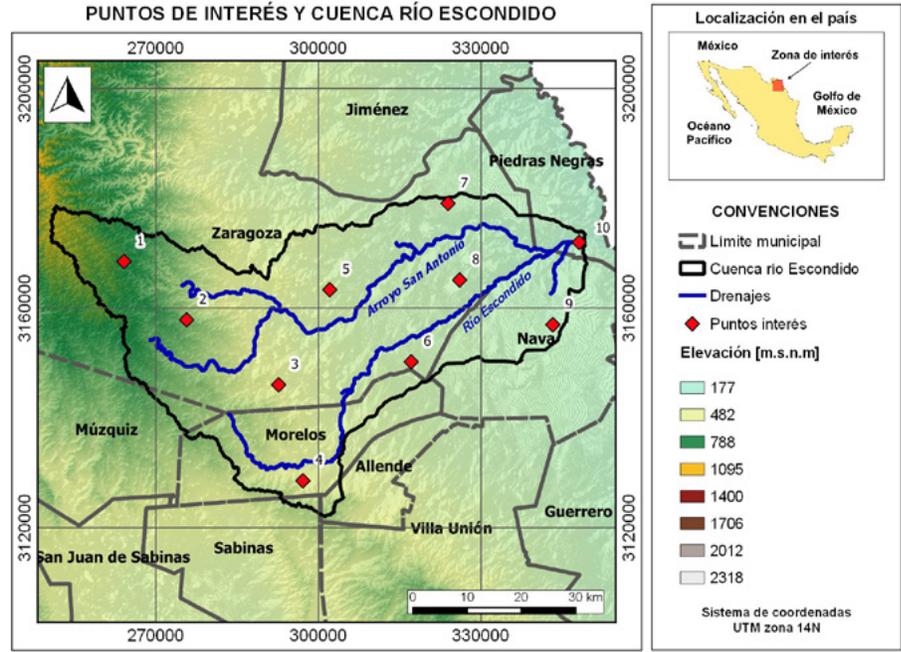
retorno en el norte de México, con los que se pueden hacer propuestas de infraestructura y ensayos en softwares libres como IBER, TELEMAT o HEC RAS (bidimensional) en el que se incluye la infraestructura propuesta para hacer comparaciones de los daños que se podrían evitar de contarse con esa nueva y novedosa infraestructura hidráulica (bordos, rectificaciones de cauces, diques, presas de gaviones).

3. DESARROLLO

3.1 Puntos de interés

Se trazó la cuenca río Escondido desde la estación hidrométrica Villa de Fuente localizada en Piedras Negras. Debido a la escasa información hidromete-

Figura 3.1. Puntos de interés y cuenca río Escondido.



rológica al norte de México, se ubicaron 10 puntos de interés dentro de la cuenca de estudio (Figura 3.2), con el objetivo de determinar sus respectivas tormentas de diseño.

3.2 Modelo para Pronóstico del Esguerrimiento (MPE)

El MPE (Domínguez et al, 2008, p. 6 - 98) fue desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con el objetivo de pronosticar los esguerrimientos de una cuenca mediante un modelo de parámetros distribuidos. El método para la producción del esguerrimiento está basado en el método del Número de Curva del Servicio de Conservación de Suelos (SCS-CN), con una modificación que permite considerar el secado del suelo después de una lluvia; la transferencia de la esguerrencia se hace con el método de Clark modificado.

El MPE requiere de dos archivos de entrada para su funcionamiento:

- a) Un archivo de celdas que contiene las coordenadas Standard Hydrologic Grid (SHG), X, Y del centro de la celda, longitud de viaje, área y el número de curva.
- b) Un archivo de lluvia que contiene el registro de las tormentas de diseño, con información de

las coordenadas UTM y los valores de lluvia de cada punto en cada intervalo en minutos.

En este caso se consideró adecuado un intervalo de 240 minutos y duración de 5 días, teniendo en cuenta que se trata de una cuenca grande de 3,021 km² y que el tiempo de concentración (T_c) fue de 27 horas.

3.3 Regionalización de Lluvias

El Instituto de Ingeniería de la UNAM realizó un estudio regional a partir de la información de 2,381 pluviómetros, para estimar precipitaciones de diseño asociadas a distintos periodos de retorno con duraciones menores que un día (Domínguez et al, 2017, p. 7 - 65). Dichas precipitaciones se estimaron para cada punto de interés, mediante los siguientes pasos:

- i. Obtención de la lluvia media de las precipitaciones diarias máximas anuales mediante el mapa de isoyetas de la República Mexicana.
- ii. Asociación de la lluvia media de las precipitaciones diarias máximas anuales a diferentes periodos de retorno.

- iii. Conversión de las lluvias asociadas a diferentes T_r a una duración de una hora, utilizando los factores de convectividad de (Baeza, 2007, p. 36) actualizados por (Labrada, 2018, p. 74).
- iv. Conversión de las lluvias con duración de una hora a precipitaciones con duración menor a un día.
- v. Conversión de la lluvia puntual con duración menor a un día a lluvia distribuida, utilizando el Factor de Reducción por Área (FRA).
- vi. Estimación de las tormentas de diseño para 5 días consecutivos, utilizando las relaciones entre las precipitaciones medias máximas asociadas a diferentes duraciones y las correspondientes a un día, presentadas en el análisis de regionalización.

A continuación, a modo de ejemplo se presenta la tormenta de diseño obtenida para el punto 10 y 500 años periodo de retorno.

El conjunto de todas las tormentas obtenidas conforma el archivo de lluvias para el funcionamiento del MPE; mientras que el archivo de celdas se obtuvo mediante el SIG ArcView3.2.

Figura 3.2. Tormenta de diseño para el punto 10 y T_r : 500 años.



3.4 Caudales de diseño para diferentes periodos de retorno

El MPE requiere la calibración de algunos parámetros:

Parámetros de pérdidas:

El factor de escala de pérdida inicial (λ) se tomó como se recomienda en la literatura técnica (Domínguez et al, 2008, p.4), para aplicaciones prácticas $\lambda = 0.2$; se modificó a ensayo y error el factor de escala

de retención potencial (f_s); el factor de olvido (f_x) se estimó utilizando la definición del índice de precipitación antecedente, resultando $f_x = 0.973$.

Parámetros de forma:

El tiempo de concentración se determinó con la ecuación de Kirpich, cuyo resultado fue de 27 horas, mientras que el coeficiente de almacenamiento se recomienda sea $0.6 \cdot T_c^2$, es decir 16 horas aproximadamente.

En la Tabla 3.1 se presentan los parámetros de pérdidas, en la Tabla 3.2 se observan los parámetros hidrológicos resultantes del MPE, y a modo de ejemplo en la Figura 3.3 se presenta el gasto directo calculado para 500 años periodo de retorno.

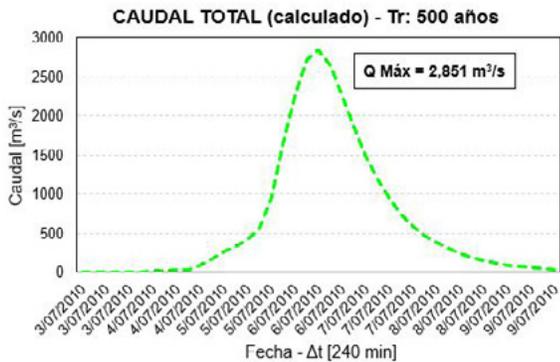
Tabla 3.1. Parámetros de pérdidas utilizados para cada Tr con $f_x < 1$.

Parámetros de pérdidas	Tr [años]						
	2	5	10	20	50	100	500
Factor de Escala de Pérdida Inicial (λ)	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
Factor de Escala de Retención Potencial (f_s)	0.500	0.550	0.600	0.650	0.700	0.750	0.770
Factor de olvido (f_x)	0.973	0.973	0.973	0.973	0.973	0.973	0.973

Tabla 3.2. Parámetros hidrológicos para cada Tr con $f_x < 1$.

Parámetros	Tr [años]						
	2	5	10	20	50	100	500
Lluvia media [mm]	59.30	85.90	105.90	132.6	177.20	199.80	244.50
Pérdidas [mm]	42.90	56.20	66.00	77.90	95.10	105.00	119.10
Lluvia en exceso [mm]	16.40	29.80	39.90	54.70	82.10	94.90	125.30
Volumen Total Calculado [Mm ³]	50,128	90,478	121,160	165,675	248,465	287,144	379,189
Volumen Directo Calculado [Mm ³]	49,552	89,902	120,584	165,099	247,889	286,568	378,613
Volumen Base Calculado [Mm ³]	576.0	576.0	576.0	576.0	576.0	576.0	576.0
Gasto Máximo del total Calculado [m ³ /s]	399.0	711.0	946.0	1,282.0	1,897.0	2,185.0	2,851.0

Figura 3.3. Caudal total calculado para Tr:500 años con $f_x < 1$.



Con el fin de validar los resultados se utilizó la definición del coeficiente de escorrentía, el cual representa la porción de la lluvia que escurre sobre la superficie del suelo. En la Tabla 3.3 se observan los resultados:

Tabla 3.3. Coeficiente de escurrimiento para cada Tr con $f_x < 1$.

		Tr [años]						
		2	5	10	20	50	100	500
		0.28	0.35	0.38	0.41	0.46	0.47	0.51

Considerando que gran parte del suelo de la cuenca está constituido por pastizales y matorrales, y que además la pendiente promedio de la cuenca es del 4.18 %, se compararon los valores de C con los propuestos por (Chow et al, 1994, p. 511), (Figura 3.4):

4 CONCLUSIONES

El factor de escala de pérdida inicial (λ) tomó el valor recomendado de 0.2, afectando directamente a la infiltración inicial en el suelo al disminuirla en el 20% de la retención potencial.

El factor de escala de retención potencial (f_s) va incrementando desde 0.50 para 2 años hasta 0.77 para 500 años, éste varía o modifica la retención potencial del suelo y, por tanto, el valor del número de curva. Como f_s va incrementando se considera entonces mayor permeabilidad en el terreno y menor volumen de escorrentía.

El factor de olvido se consideró igual a 0.973 para todos los periodos, por lo que las pérdidas por el secado del suelo son iguales en todos los años. Al tomar un valor un poco menor a la unidad se está

Figura 3.4. Coeficientes de escurrimiento en función del Tr (Chow et al, 1994, p. 511).

Característica de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
<i>Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)</i>							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)</i>							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)</i>							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.35	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Nota: Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas. Utilizada con autorización.

permitiendo mayor evapotranspiración y menor volumen de escurrimiento.

Los coeficientes C presentan variaciones del orden de 0.07 respecto a los propuestos por Ven Te Chow, por lo que se considera que los resultados son válidos para la cuenca río Escondido.

A continuación, los caudales pico resultantes.

Tabla 7.4. Caudales pico para los diferentes periodos de retorno.

Caudal total máximo	Tr [años]						
	2	5	10	20	50	100	500
Q [m³/s]	399	711	946	1,282	1,897	2,185	2,851

Las inundaciones resultan ser un reto para la ingeniería del agua, principalmente en la afectación a la información disponible para elaboración de estudios hidrológicos, que, influyen en que la obra hidráulica no falle. 💧

BIBLIOGRAFÍA

Baeza Ramírez, C., 2007. Estimación regional de factores de conectividad para el cálculo de las relaciones intensidad-duración-frecuencia. Tesis Maestría. Programa Maest. y Dr. en Ing. UNAM.

Centro Nacional De Prevención de Desastres (CENAPRED), Secretaría de Gobierno, 2009. INUNDACIONES.

Chow, V. Te, Maidment, D.R., Mays, L.W., 1994. Hidrología Aplicada. Hidrol. Apl.

Domínguez Mora, R., Carrizosa Elizondo, E., Arganis Juaréz, M., Hincapié López, C., Fuentes Mariles, G.E., Osnaya Romero, J., Martínez Miranda, G.M., Ramírez Colín, L., 2017. Estudio para regionalizar los gastos generados por avenidas máximas, como base para la elaboración de mapas de peligro por inundaciones fluviales en todas las cuencas de la República Mexicana - Tomo II. Análisis estadístico regional de las precipitaciones.

Domínguez Mora, R., Esquivel Garduño, G., Baldemar Méndez, A., Mendoza Reséndiz, A., Arganis Juaréz, M.L., Carrizosa Elizondo, E., 2008. Manual del Modelo para pronóstico de escurrimiento. Ciudad de México.

Jiménez Espinosa, M., Salas Slinas, M.A., Eslava Morales, H., Zepeda Ramos, O., 2004. 1.

Labrada Montalvo, P., 2018. Análisis regional para lluvias de diseño con duraciones menores a un día.



Impluvium

Participa en el próximo número dedicado al tema:

Gestión comunitaria del agua

Tienes hasta el
30 de Agosto del 2020
para enviar tu colaboración.

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

A pesar de los avances registrados en las últimas décadas para alcanzar la universalización de los servicios de agua potable y saneamiento, millones de personas alrededor del mundo continúan sin tener acceso a fuentes mejoradas, especialmente en las comunidades rurales y periurbanas. Ante la incapacidad de las instituciones federales, estatales y municipales para garantizar el derecho humano al agua y al saneamiento a toda la población, la gestión comunitaria ha asumido un papel clave en la planeación, administración y distribución del agua a nivel local.

Las organizaciones comunitarias operan dentro del marco regulatorio establecido por cada país, que define la propiedad de las aguas e identifica a los responsables de brindar los servicios a la población. En términos generales,

se observa poca o ninguna referencia explícita de las comunidades rurales o periurbanas en la legislación, lo que evidencia la existencia de vacíos normativos con respecto al reconocimiento de las organizaciones comunitarias y de su actuación.

Pese a este panorama, las organizaciones comunitarias han operado en un importante número de regiones con resultados que deben ser analizados a la luz de las estrategias particulares y del contexto en el que operan.

Este número está dedicado a analizar las experiencias de la gestión comunitaria del agua para comprender sus desafíos teóricos, legales, económicos, técnicos y operativos. Se invita a presentar resultados de casos de estudios, con énfasis en México y América Latina.

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 11, Abril - Junio 2020

www.agua.unam.mx