



LA NORIA *Digital*

- La disponibilidad del agua para el Bien común: Monitoreo y evaluación del agua en el ambiente para la gestión sostenible de reservas, su gobernanza y la adaptación al cambio climático
- Caudal ecológico como principio para la recuperación de la infraestructura azul en México
- Elementos clave para la restauración de pequeños ríos en México
- El Futuro de la Gestión del Agua: Machine Learning y Herramientas Geoespaciales en la Monitorización de Ríos Urbanos
- Agua y Poesía



Publicación electrónica mensual del Programa Nacional Estratégico de Agua (Pronaces Agua), del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt)

Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (CIMAV)

Dra. Leticia Myriam Torres Guerra
Directora General

Dr. Alfredo Aguilar Elguezabal
Director Académico

Comité Editorial

Editor en jefe

Dr. Jorge Martínez Ruiz
Comité Ejecutivo del Pronaces Agua

Integrantes

Dra. Mayrén Alavez Vargas
Investigadora por México, Conahcyt

Dra. Patricia Ávila García
Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y
Sustentabilidad (IIES, UNAM)

Dr. José Raúl García Barrios
Centro Regional de Investigaciones
Multidisciplinarias (CRIM, UNAM)

Dr. Eduardo Pérez Denicia
Investigador por México, Conahcyt

Mtro. Octavio Rosas Landa Ramos
Facultad de Economía, UNAM

Dra. Leticia Myriam Torres Guerra
Centro de Investigación en Materiales Avanzados
(CIMAV)

Diseño, formación editorial e ilustración

Mtro. Fernán González Hernández
C. Francisco Rodríguez Malo

Apoyo técnico

Mtra. Diana Rosa Pérez Serrano
Econ. José Valdemar Díaz Hinojosa

Créditos de las ilustraciones

La ilustración de la página 11 es reproducida con licencia de Slideshare.

Las ilustraciones de las páginas 19 y 30 son reproducidas con licencia de Freepik.

La Noria *Digital* se publica gracias al apoyo del Conahcyt al proyecto "Consolidación del Programa Nacional Estratégico en conocimiento y gestión en cuencas del ciclo socio-natural del agua, para el bien común y la justicia ambiental" (318987).

Todos los artículos son responsabilidad de sus autores.

ÍNDICE

·Editorial	3
·La disponibilidad del agua para el Bien común: Monitoreo y evaluación del agua en el ambiente para la gestión sostenible de reservas, su gobernanza y la adaptación al cambio climático	5
·Caudal ecológico como principio para la recuperación de la infraestructura azul en México	12
·Elementos clave para la restauración de pequeños ríos en México	19
·El Futuro de la Gestión del Agua: Machine Learning y Herramientas Geoespaciales en la Monitorización de Ríos Urbanos	25
·Agua y Poesía	30

En su primer informe del año, publicado el 21 de enero de 2024, el Monitor de Sequía de México reporta que 1613 municipios equivalentes al 61.59% del territorio nacional sufre algún grado de sequía, casi 7% más que lo registrado apenas a finales de 2023. Alarmante es el caso de las regiones centro y occidente donde se ha incrementado la sequía en grado de severa a extrema [1].

La conflictividad social que provoca la escasez persistente e incremental de agua no se puede comprender y menos superar restringiendo sus causas a dimensiones exclusivas de la naturaleza como se afirma en la siguiente definición “Las sequías constituyen un fenómeno natural que se manifiesta como una deficiencia de humedad anormal y persistente, que tiene un impacto adverso en la vegetación, los animales y las personas.”[2].

La nociva intervención antrópica en las aguas superficiales y subterráneas es un factor determinante en la exacerbación de los problemas cada vez más graves de sequía. Esto ha provocado la alteración severa del ciclo del agua transformándolo en un fenómeno socionatural caracterizado por el acceso injusto al líquido, su irresponsable y excesiva extracción y su creciente e incontrolada contaminación. En la actualidad, la sequía, más allá de sus causas naturales, implica una combinación compleja de problemáticas principalmente de orden social, político, económico y tecnológico. Entre otros muchos aspectos, para encarar la sequía y sus efectos, es indispensable la restauración y recuperación de los sistemas riparios.

En esta entrega de *La Noria Digital*, como un primer acercamiento al tema, hemos reunido cuatro artículos derivados del 2° Congreso del agua para el bien común. *Procesos, relaciones y soluciones frente a la incertidumbre*, relacionados con la preservación del caudal ecológico como instrumento de gestión sustentable de cuencas y ríos.

En el primero de ellos “La disponibilidad del agua para el bien común: monitoreo y evaluación del agua en el ambiente para la gestión sostenible de reservas, su gobernanza y la adaptación al cambio climático” suscrito por Sergio A. Salinas Rodríguez y Luis M. Martínez Rivera, se sostiene que el caudal ecológico es una herramienta de gestión que permite conciliar la utilización del agua con fines productivos con la preservación de sus servicios ecosistémicos. Correlaciona las normas mexicanas NMX-AA-159-SCFI-2012 para determinar el caudal ecológico en cuencas hidrológicas y la NOM- 011- CONAGUA- 2015 que determina la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Se cuestiona que, en la primera de ellas, norma de caudal ecológico, las reservas de agua se establecieran en volúmenes fijos sin considerar la variación anual de las condiciones hidrológicas que pueden afectar la integridad hídrica de los ecosistemas.

El artículo “Caudal ecológico como principio para la recuperación de la infraestructura azul en México” de Aylet Vega Aguilar, Fabiola Doraceli Yépez Rincón, Adrián L. Ferriño Fierro y Alfredo Ollero Ojeda, parte de la consideración de que el desarrollo urbano altera los ríos sustituyendo el suelo natural por superficies impermeables y se aplica a considerar las consecuencias de la afectación del caudal ecológico en la destrucción de los ríos urbanos. Se enfoca en el caso de Río Pesquería gravemente perturbado por la expansión de la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM). Con base en los datos presentados, los autores advierten a las autoridades y a la a población de la ZMM que son necesarias medidas inmediatas para salvaguardar el cause ecológico de los ríos urbanos que la cruzan.

En la contribución de Heliodoro Ochoa García titulada “Elementos clave para la restauración de pequeños ríos en México” se cuestiona que la

restauración de ríos se concentre en los problemas de calidad del agua sin considerar los sistemas ribereños y el entorno socioambiental. El autor, valiéndose de un lenguaje económico que para algunos lectores puede ser cuestionable, sugiere que uno de los principales desafíos para avanzar en la restauración de ríos consiste en demostrar que la naturaleza es rentable para la sociedad humana. Apunta que un cúmulo de problemas no resueltos provoca el deterioro de los ecosistemas hídricos y señala que en el tema de la restauración de ríos se presenta un vacío en la política hídrica en México. Frente a ello propone considerar un conjunto de 19 elementos con los cuales abordar la complejidad del problema y considera que serán útiles para que el tema se incorpore con claridad a las políticas del agua y la academia.

La entrega continua con “El futuro de la gestión del agua: Machine Learning y herramientas geoespaciales en la monitorización de ríos urbanos” a cargo de Kevin David Rodríguez González, Fabiola Doracely Yépez Rincón y Luis Carlos Alatorre Cejudo. El artículo expone la aplicación de Machine Learning, “aprendizaje de máquinas” o “aprendizaje automatizado” al caso del río urbano Pesquerías, ya abordado en la segunda contribución incluida en el presente número de nuestro Boletín, el flujo de cuyo cauce en cantidad y calidad ha sido muy afectado por el crecimiento sin control de la ZMM. Para conocer y monitorear el problema se creó una “máscara de agua” en la estación de lluvias y en el estiaje entre 2016 y 2019. Se concluye que, con la metodología implementada, el flujo continuo de ríos someros como el Pesquería es un factor clave para reducir la vulnerabilidad ecosistémica.

Artículos como los incluidos en nuestro número 15 de *La Noria Digital* muestran hasta qué grado, la sociedad contemporánea ha perdido el respeto por la condición natural de los ríos. Pero no siempre fue así, por ejemplo, en el horizonte cultural de Mesoamérica, el tlacuache es conocido como

el dador del fuego a la humanidad, pero es un personaje que reúne otros varios atributos. Una versión moderna de un mito mazateco, cuenta que en una junta de animales se discutía sobre la forma que debe tener el cauce de los ríos predominando la opinión de que fuese rectilínea, pero como no estaban seguros decidieron consultar al viejo sabio don Tlacuache quien respondió: “Señores; les diré la verdad, toda la verdad, señores, que ustedes están equivocadísimos, todos ustedes perdieron la cabeza. ¿cómo va a ser el río recto? No eso no... nunca deberá quedar el río así... No eso no, el río deberá quedar en otra forma, porque si lo dejamos así, nunca podremos pescar; pues no podremos hacer nada porque el río va a tener mucha corriente. Entonces vamos a hacer así: vamos a darle forma al río, vamos a hacerla en curvas y más curvas y con ligeros remolinos a donde pueda uno pescar y dormirse adentro de nuestro bote, y nos dormiremos alegremente sin que nos molestemos.”

(López Austin, 2006).

La moraleja que puede desprenderse de esta narración consiste en entender que los ríos cumplen su función tal y como se han conformado libremente, exactamente al contrario de lo que en la actualidad ha ocurrido con la sistemática alteración de sus cauces y caudales en los ríos urbanos.

Por último, en este número, con el poema “Meditar del arroyo”, iniciamos una sección dedicada a recoger expresiones poéticas en relación con el agua.

Referencias

López Austin, A., 2006. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Antropológicas.

[1] <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

[2] Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (<https://www.gob.mx/imta/articulos/que-son-las-sequias?idiom=es>) Consultado el 29.01.2024)

La disponibilidad del agua para el Bien común: Monitoreo y evaluación del agua en el ambiente para la gestión sostenible de reservas, su gobernanza y la adaptación al cambio climático

Sergio A. Salinas Rodríguez *

Luis M. Martínez Rivera **

La importancia del agua en el ambiente

El agua es fundamental para el desarrollo de la humanidad. El origen de las civilizaciones está vinculado a fuentes de agua para el desarrollo de toda actividad. Los ecosistemas acuáticos son clave para la circulación del agua en el ambiente. La reciben, almacenan y hacen disponible en sincronía con el patrón climático. El agua juega un rol crucial en el entorno y es vital para la preservación de la vida. Su existencia y características generan efectos significativos sobre los ecosistemas, la humanidad y la sostenibilidad global. El agua y el ambiente sano son derechos humanos fundamentales para garantizar la salud y la calidad de vida. Su gestión integral y la conservación de los ecosistemas es esencial para garantizar la salud del ambiente, la supervivencia de las comunidades y su diversidad biológica.

El caudal ecológico se refiere a la cantidad, calidad y régimen de caudales y niveles de agua dulce necesarios para sostener los ecosistemas acuáticos que, a cambio, dan soporte cultural, económico y los medios de vida sostenibles para el bienestar humano (Arthington et al., 2018). Es una herramienta de la gestión reconocida por establecer un balance entre los usos

productivos del agua y los ecosistemas para asegurar su funcionamiento y los servicios ecosistémicos que prestan, como la provisión de agua, alimento y energía (Acreman et al. 2014; Poff et al. 2017).

Las reservas de agua en México

La Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 establece el procedimiento y las especificaciones técnicas para la determinación de caudal ecológico, es un instrumento hilado a la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015 para determinar la disponibilidad media anual del agua y Ley de Aguas Nacionales (LAN). A poco más de 10 años de su publicación, ha generado experiencias de evaluación y formado capacidades en su implementación a través del establecimiento de reservas de agua para “garantizar los flujos mínimos para la protección ecológica, incluyendo la conservación o restauración de ecosistemas vitales” (LAN, Artículo 41; Salinas-Rodríguez et al., 2021).

La asignación del agua al ambiente tardó en llegar, pero lo hizo contundentemente para transformar su administración a través del establecimiento de límites sostenibles de aprovechamiento con rigor científico y sensibilidad sociambiental. En 2018, se es-

* El Colegio de la Frontera Sur – Unidad Villahermosa, Red de Monitoreo de Reservas de Agua

** Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, Red de Monitoreo de Reservas de Agua

La Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 establece el procedimiento y las especificaciones técnicas para la determinación de caudal ecológico, es un instrumento hilado a la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015 para determinar la disponibilidad media anual del agua

tablecieron en un horizonte de 50 años las reservas para 295 cuencas hidrológicas por cerca del 55% del escurrimiento superficial medio anual nacional para la seguridad hídrica de ~45 millones de personas, la conectividad hidrológica en 44,000 km de ríos para beneficio de 82 áreas naturales protegidas (175,000+ km²) y 64 humedales de importancia internacional (47,000+ km²) y 90+ especies dependientes de agua dulce (40+ protegidas; Salinas-Rodríguez et al., 2021)

La determinación se fundamentó en la disponibilidad del agua, su presión de uso y en la importancia ecológica de asignarla al ambiente dada la presencia de espacios naturales y omisiones de conservación reconocidos por el Estado mexicano (Salinas-Rodríguez et al., 2021). La medida no pasó desapercibida en el estado del arte por su aporte innovador, resolutivo, crítico y robusto en la implementación de caudales ecológicos para proteger y restaurar ecosistemas (Opperman et al 2018; Tickner et al 2020; Arthington et al 2023; Picsak et al. 2023)

Desafíos de implementación, monitoreo y evaluación

Las reservas fueron establecidas en un volumen fijo, ¿y qué hay de la variabilidad cli-

mática natural? ¿Cómo garantizar que dicho volumen sea flexible según condiciones hidrológicas anuales p.ej., secas, medias y húmedas? Además, ¿cómo incorporar al cambio climático? La ocurrencia de condiciones hidrológicas anuales forma parte de la variabilidad climática. El problema es que el agua en el país se administra según su disponibilidad y se omite esta variabilidad. Si el volumen que queda disponible tras el establecimiento de una reserva se asigna en su totalidad, es decir, el 100% de los recursos hídricos incluyendo la reserva de agua, uno de cada dos años no habría agua suficiente para todos (Figura 1). A pesar de que desde el origen se consideran volúmenes para diferentes condiciones ordinarias y extraordinarias, no se establecieron las reglas que garanticen el régimen.

Hoy en día se tiene clara la necesidad de desarrollar reglas operativas que garanticen la reserva del mismo modo que para los demás usos, así como para evitar el acaparamiento del agua que quedó disponible tras el levantamiento de las vedas que posibilitaron su establecimiento (SEMARNAT, 2019). El desarrollo de reglamentos que acompañen la implementación de las reservas es meta del Programa Nacional Hídrico 2020-2024 (Presidencia de la República 2020).

El problema es que el agua en el país se administra según su disponibilidad y se omite esta variabilidad. Si el volumen que queda disponible tras el establecimiento de una reserva se asigna en su totalidad, es decir, el 100% de los recursos hídricos incluyendo la reserva de agua, uno de cada dos años no habría agua suficiente para todos

El papel ecológico del régimen: Fundamento de solución

Para dar solución a este desafío es preciso entender el rol ecológico de la variabilidad climática en el patrón de escurrimientos. A corto plazo, p.ej. ciclos anuales, el régimen de escurrimientos es imprescindible en la provisión de fuentes de energía, la calidad del agua, el hábitat para la biodiversidad y sus interacciones (Poff et al., 1997). Provee diversidad de hábitat y en consecuencia de los organismos, sincroniza estrategias de vida, mantiene funcionando la conectivi-

dad del sistema y evita condiciones favorables para el establecimiento de especies exóticas e invasoras (Bunn y Arthington, 2002) (Figura 2). Estos principios se replican igualmente a largo plazo a través de diferentes condiciones hidrológicas anuales (Mathews y Richter, 2007). **Alterar las características de variabilidad del régimen de caudales implica degradar en alguna proporción las condiciones fisicoquímicas, bióticas, abióticas o ambientales, p.ej. condiciones hidrológicas anuales y, por consecuencia, la integridad ecológica del sistema.**

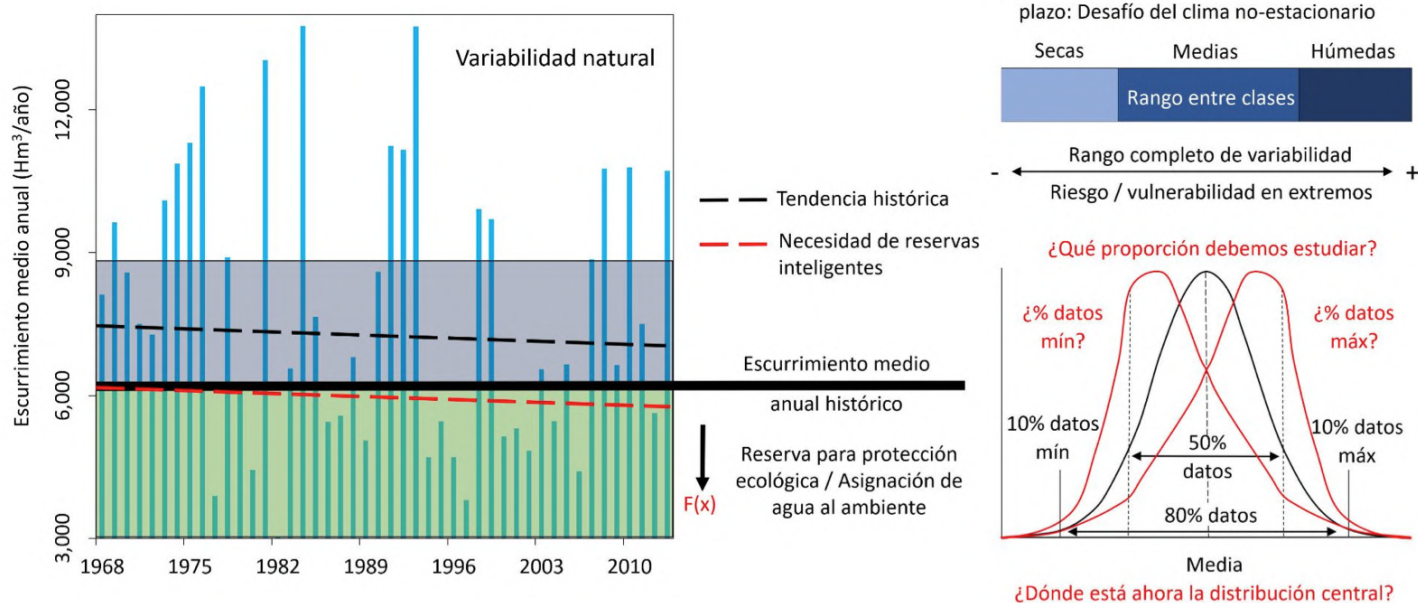


Figura 1. La variabilidad del escurrimiento medio anual y el problema de gestión a largo plazo sin reglas complementarias para operativizar las reservas de agua según diferentes condiciones hidrológicas. Fuente: Elaboración propia.

Las reservas de agua para el ambiente representan la seguridad hídrica en el largo plazo para la vida y para el desarrollo sostenible asociado. Los retos son enormes, pero se deben fortalecer las políticas públicas con conocimiento científico y local que respalden los reglamentos que hagan operativas las reservas

A partir de este entendimiento surgen hipótesis de trabajo cuya lógica consiste en identificar indicadores y métricas para la evaluación del régimen bajo diferentes condiciones hidrológicas que respondan a

cambios inducidos por alteraciones antrópicas. Los objetos de conservación pueden ser procesos, servicios o funciones ecológicos o sociales provistos por el régimen, o bien, especies, hábitats o ecosistemas que

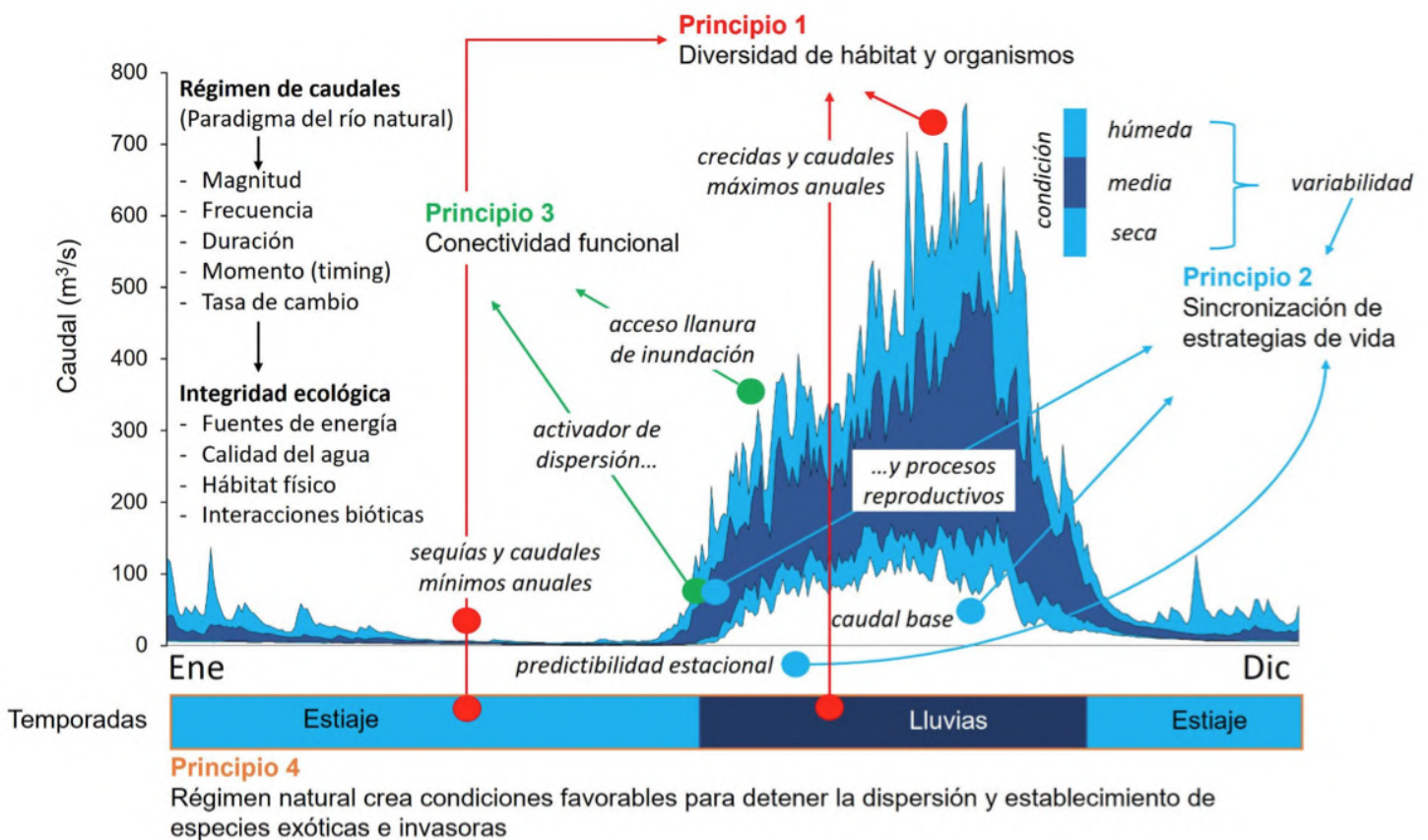


Figura 2. Papel del régimen natural de caudales sobre la integridad ecológica y los principios ecohidrológicos que gobiernan los ecosistemas acuáticos. Fuente: Elaboración propia con base en Poff et al (1997), Bunn y Arthington (2002) y Mathews y Richter (2007).

dependan de éste (Salinas-Rodríguez et al. 2021). Estos indicadores se evalúan a partir del monitoreo de variables hidromorfológicas, fisicoquímicas, biológicas, ecológicas y sociales para sustentar la integridad ecológica del sistema (Figura 3). Estos aspectos son actualmente abordados en el Proyecto Nacional de Investigación e Incidencia *Ecohidrología para la sustentabilidad y gobernanza del agua y cuencas para el Bien común*.

El proyecto tiene el objetivo de construir las bases de una gobernanza socioambiental resiliente orientada al Bien común donde se desarrollan diagnósticos ecohidrológicos, discuten y acuerdan los objetos de conservación, indicadores y estrategias de monitoreo participativo de forma colaborativa entre académicos, las comunidades y autoridades locales.

A escala nacional, el proyecto contribuye con la evaluación de tendencias en las variables que identifican a las reservas po-

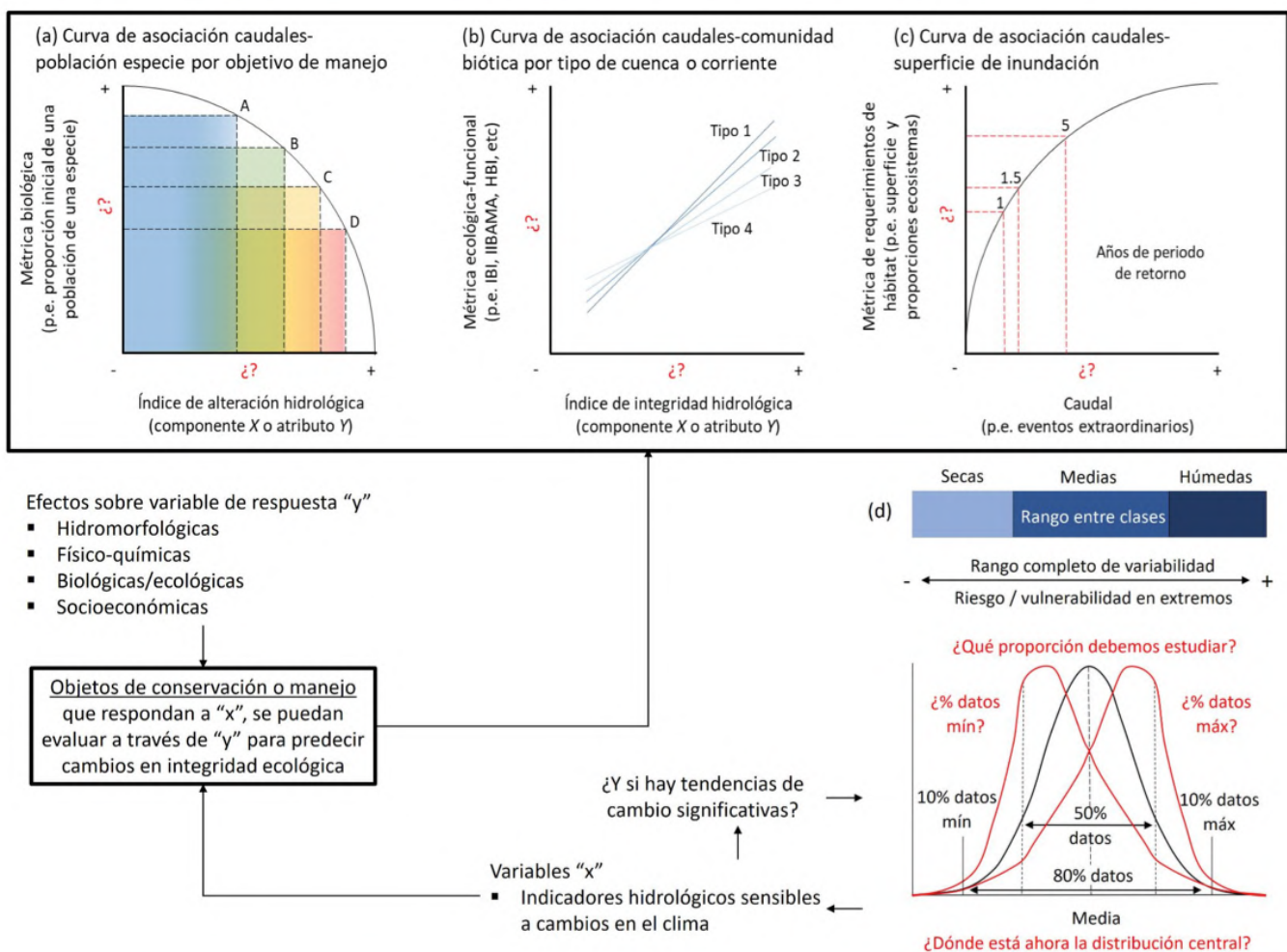


Figura 3. Proceso para la formulación de hipótesis de trabajo para evaluar el efecto que tiene el régimen de caudales sobre diferentes objetos de conservación o manejo de los ecosistemas acuáticos según (a) el estado de una población respecto al objetivo ambiental o de manejo (estado ecológico deseado), (b) tipos de cuenca (endorréica, exorréica) o corriente (perenne, intermitente o efímera) y (c) superficies de inundación. Las variables para la construcción de indicadores hidrológicos se seleccionan en función del grado de sensibilidad al cambio climático, (d) número de eventos y días consecutivos de pico máximo anuales, caudales extremadamente bajos o de sequía con tendencias significativas de cambio. Fuente. Elaboración propia.

tenciales y que condicionan la evaluación de caudales ecológicos, aspecto fundamental porque es meta del presente gobierno establecer nuevas reservas hasta cubrir el 60% de las cuencas del país (Presidencia de la República 2020). Además, la experiencia generada y los resultados a la fecha se comparten en los grupos de trabajo para la modificación de las normas para la evaluación de la disponibilidad del agua (NOM-011-CONAGUA-2015) y los caudales ecológicos (NMX-AA-159-SCFI-2012) liderados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Las reservas de agua para el ambiente representan la seguridad hídrica en el largo plazo para la vida y para el desarrollo sostenible asociado. Los retos son enormes, pero se deben fortalecer las políticas públicas con conocimiento científico y local que respalden los reglamentos que hagan operativas las reservas.

Referencias bibliográficas

- Acreman M.C., Overton I., King J., Wood P.J., Cowx I., Dunbar M.J., Kendy E., Young W. 2014. The Changing Role of Ecohydrological Science in Guiding Environmental Flows. *Hydrological Sciences Journal*, 59(3-4):433-450. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.886019>.
- Arthington A.H., Bhaduri A., Bunn S.E., Jackson S.E., Tharme R.E., Tickner D., Young B., Acreman M., Baker N., Capon S., Horne A.C., Kendy E., McClain M.E., Poff N.L., Richter B.D., Ward S. 2018. The Brisbane Declaration and Global Action Agenda on Environmental Flows (2018). *Frontiers in Environmental Science*, 6:45. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00045>.
- Arthington A., Tickner D., McClain M., Acreman M., Anderson E., Babu S., Dickens C., Horne A., Kaushal N., Monk W., O'Brien G., Olden J., Opperman J., Owusu A., Poff L., Richter B., Salinas-Rodríguez S., Shamboko-Mbale B., Tharme R., Yarnell S. 2023. Accelerating environmental flows implementation to bend the curve of global freshwater biodiversity loss. *Environmental Reviews*. <https://doi.org/10.1139/er-2022-0126>.
- Bunn S.E., Arthington A.H. 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*, 30(4):492-507. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2737-0>.
- Mathews R., Richter B.D. 2007. Application of the indicators of hydrologic alteration software in environmental flow setting. *Journal of the American Water Resources Association*, 43(6):1400-1413. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2007.00099.x>.
- Opperman J.J., Kendy E., Tharme R.E., Warner A.T., Barrios E., Richter B.D. 2018. A Three-Level Framework for Assessing and Implementing Environmental Flows. *Frontiers in Environmental Science*, 6:76. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00076>.
- Piczak M.L., Perry D., Cooke S.J., Harrison I., Benitez S., Koning A., Peng L., Limbu P., Smokorowski K., Salinas-Rodríguez S., Koehn J.D., Creed I.F. 2023. Protecting and restoring habitats to benefit freshwater biodiversity. *Environmental Reviews*. <https://doi.org/10.1139/er-2023-0034>.
- Presidencia de la República. 2020. Decreto por el que se aprueba el Programa Nacional Hídrico 2020-2024. *Diario Oficial de la Federación* (30/12/2020). Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609188&fecha=30/12/2020#gsc.tab=0, fecha de consulta: 13 de diciembre de 2023.
- Poff N.L., Allan D., Bain M.B., Karr J.R., Prestegard K.L., Richter B.D., Sparks R.E., Stromberg J.C. 1997. The natural flow regime: a new paradigm for riverine conservation and restoration. *BioScience*, 47(11):769-784. <https://doi.org/10.2307/1313099>.

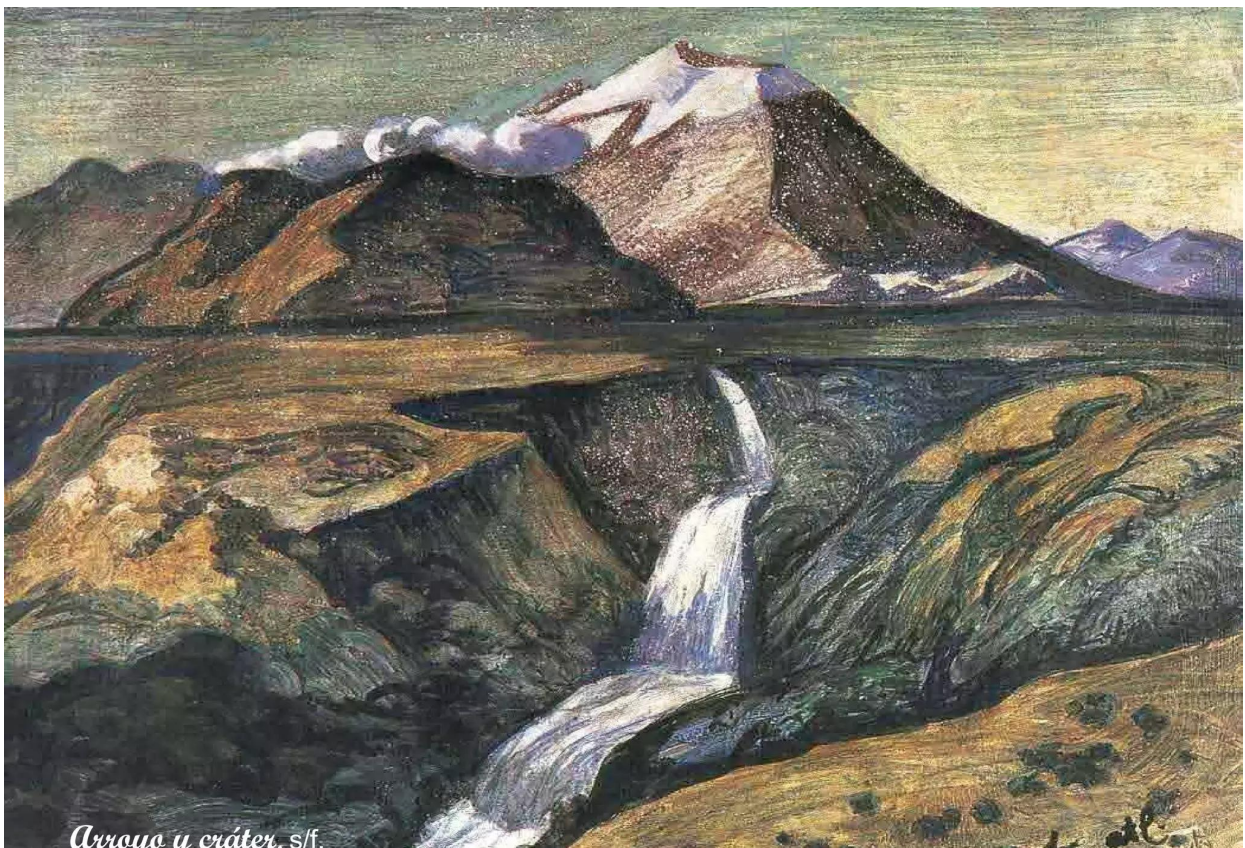
Poff N.L., Tharme R.E., Arthington A.H. 2017. Evolution of environmental flow assessments science, principles, and methodologies. In Horne A.C., Webb J.A., Stewardson M.J., Richter B., Acreman M. (eds.), Water for the environment. From policy and science to implementation and management. San Diego, CA: Academic Press, 203–236. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803907-6.00011-5>.

Salinas-Rodríguez S.A., Barba-Macías E., Infante Mata D., Nava-López M.Z., Neri-Flores I., Domínguez Varela R., González Mora I.D. 2021. What do environmental flows mean for long-term freshwater ecosystems' protection? Assessment of the Mexican Water Reserves for the Environment Program. Sustainability, 13(3):1240. <https://doi.org/10.3390/su13031240>.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2019. Lineamientos

para incluir volúmenes no comprometidos de aguas nacionales superficiales en los 10 decretos de reservas de agua, publicados el 6 de junio de 2018 a través de la Programación Hídrica. Diario Oficial de la Federación (27/junio/2019). Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5564306&fecha=27/06/2019#gsc.tab=0, fecha de consulta: 26 de junio de 2023.

Tickner D., Opperman J.J., Abell R., Acreman M., Arthington A.H., Bunn S.E., Cooke S.J., Dalton J., Darwall W., Edwards G., Harrison I., Hughes K., Jones T., Leclère D., Lynch A.J., Leonard P., McClain M.E., Muruven D., Olden J.D., Ormerod S.J., Robinson J., Tharme R.E., Thieme M., Tockner K., Wright M., Young. 2020. Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: An emergency recovery plan. BioScience, 70(4):330–342. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa002>.



Arroyo y cráter, s/f.

Arroyo y Cráter. Dr. Atl.

Caudal ecológico como principio para la recuperación de la infraestructura azul en México

Aylet Vega Aguilar *

Fabiola D. Yépez Rincón *

Adrián L. Ferriño Fierro *

Alfredo Ollero Ojeda **

Los ríos brindan salud ambiental, riqueza económica y facilitan el bienestar humano (Grill et al., 2019). No obstante, son uno de los entornos más amenazados en todo el mundo, particularmente en los países en desarrollo como México, donde el crecimiento de la población, los cambios en las actividades antropogénicas y, por lo tanto, el cambio del uso de suelo está aumentando, reemplazando el suelo natural y la cubierta vegetal con superficies impermeables (Ruiz-Picos et al., 2017). **Los ríos urbanos, son aquellos escurrimientos cuya zona de captación, cauce y régimen de sedimentos han sido fuertemente degradados al cambiarlos por superficies no permeables que son características de las ciudades** (Mireles, 2021).

El crecimiento urbano descontrolado pone en peligro el potencial ecológico de los ríos urbanos, aumentando las incertidumbres hídricas en las ciudades. **Los ríos dejan de ser entornos ecológicos naturales y se convierten en áreas de transición urbano-rural, caracterizados por la presencia de asentamientos informales en la periferia**, que al carecer de regulación se

convierten en áreas de riesgo por inundaciones y contaminación. Esto puede explicarse debido a que son áreas que aún representan condiciones de vida rural, para satisfacer las necesidades básicas de agua y eliminación de desechos, y que, además, ofrecen el potencial para la agricultura de subsistencia de los habitantes marginados de la ciudad (Beißler & Hack, 2019).

En México se ha observado un crecimiento poblacional exponencial posterior a 1930 (Figura 1), donde la mayoría de los habitantes se concentraron fundamentalmente en zonas urbanas, formando las áreas metropolitanas. Dentro de las áreas metropolitanas de mayor tamaño y crecimiento poblacional se encuentra el Área Metropolitana de Monterrey (AMM), ubicada en el estado de Nuevo León. En este estado para los años treinta la población urbana representaba el 41% de la población total, mientras que en el último censo de 2020 representaba el 79 % de la población con más de 4.5 millones de habitantes. Muchos retos se presentan día a día para el desarrollo adecuado de esta zona, pues el excesivo crecimiento poblacional conlleva a una

* Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León, México

** Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, España

Los ríos brindan salud ambiental, riqueza económica y facilitan el bienestar humano. No obstante, son uno de los entornos más amenazados en todo el mundo, particularmente en los países en desarrollo como México, donde el crecimiento de la población, los cambios en las actividades antrópicas y, por lo tanto, el cambio del uso de suelo está aumentando, reemplazando el suelo natural y la cubierta vegetal con superficies impermeables

expansión desordenada, a la desigualdad socioeconómica y a la degradación del medio ambiente (Huerta, 2022).

El manejo del agua dentro del AMM no ha sido el más adecuado, los cambios de uso de suelo y los cambios interanuales del clima, así como otros fenómenos climáticos que afectan el Noreste del país (variabilidad climática y cambio climático), afectan el patrón de escurrimiento natural y la pérdida potencial de servicios ecológicos de los ríos urbanos. Dentro de la AMM la subcuenca urbana del río Pesquería es una de las más afectadas por los retos e incerti-

dumbres que implican el desarrollo y crecimiento de la zona. Esta cuenca está compuesta por 6 municipios (García, Apodaca, Monterrey, Pesquería, San Nicolás de los Garzas y General Escobedo) en donde se han concentrado en los últimos 30 años más del 50% (56-57 %) del total de la población de Nuevo León. Por lo tanto, estamos ante una cuenca hidrográfica sumamente poblada y urbanizada.

El río Pesquería se localiza al Norte del país y pertenece a la Región Hidrológica número 24 Bravo-Conchos (Figura 2). Esta región se caracteriza por presentar escasez de

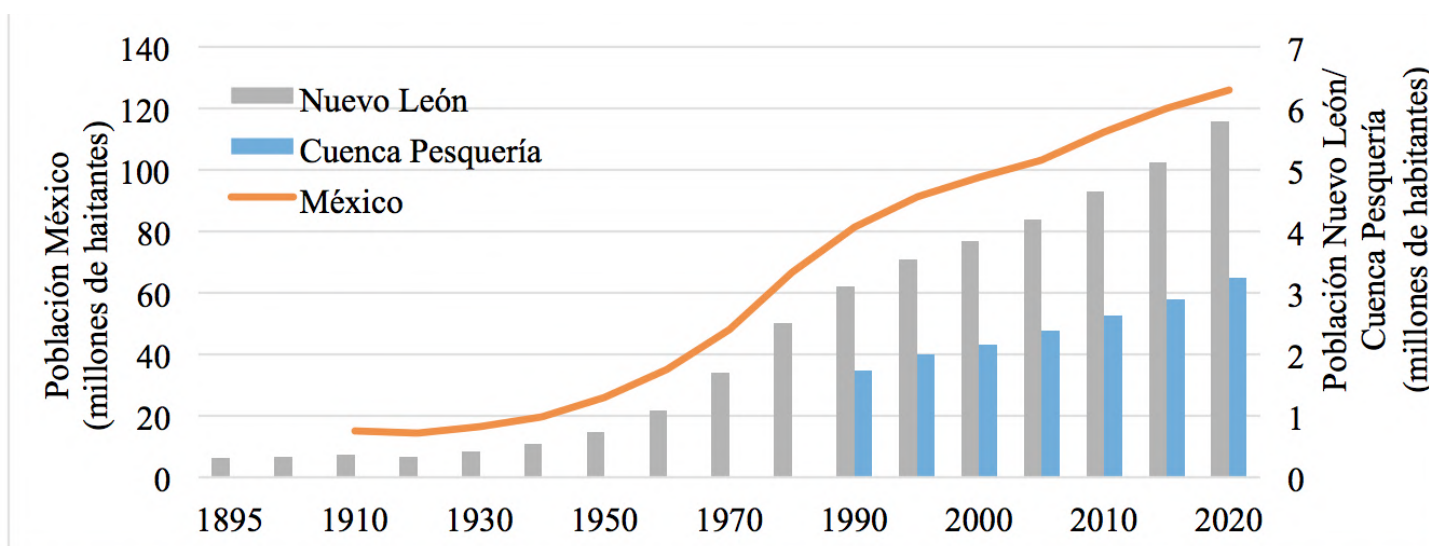


Figura 1. Crecimiento poblacional en México, Nuevo León y municipios de la cuenca Pesquería. Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv>.

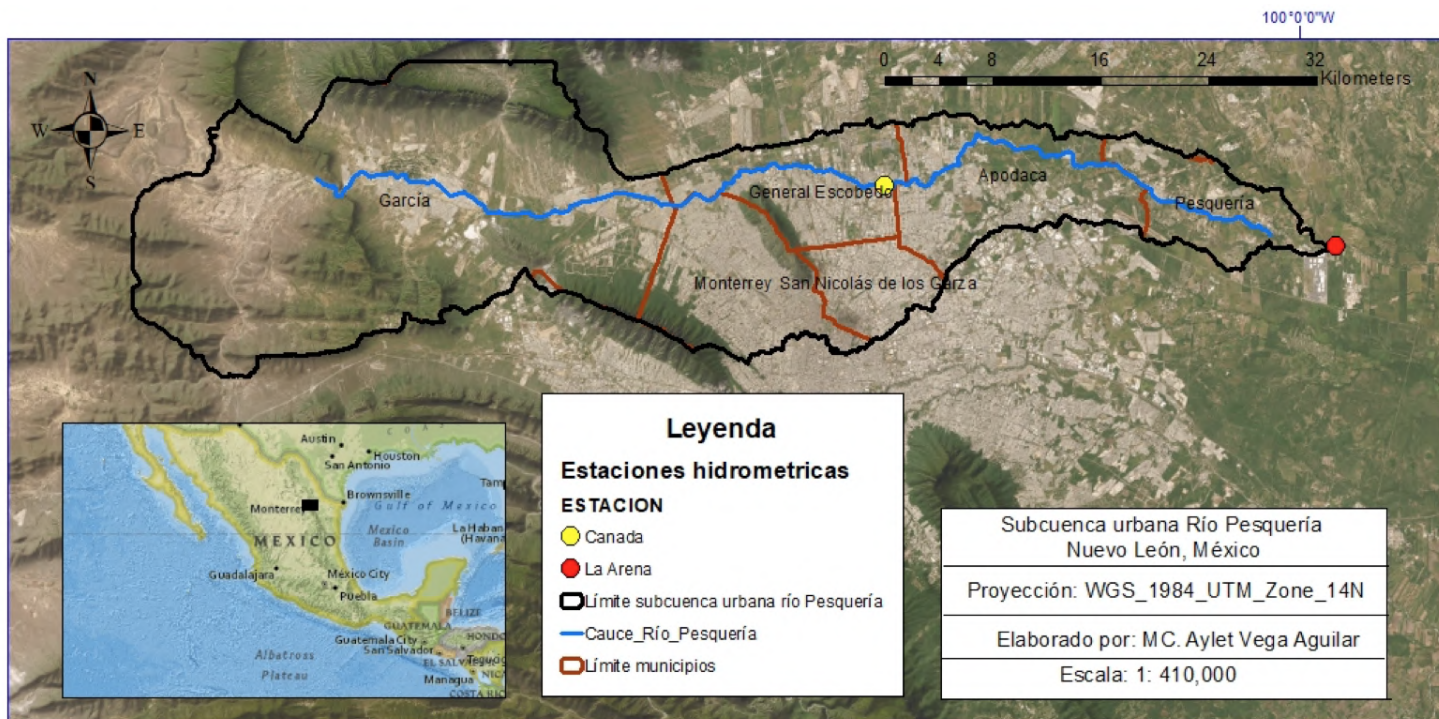


Figura 2. Subcuenca urbana del río Pesquería, Nuevo León. Ubicación de las estaciones hidrométricas de la cuenca. Fuente: Elaboración propia.

agua en las zonas de mayor desarrollo económico y dinámica demográfica, lo que conduce a que, en la medida en la que el consumo aumenta, la disponibilidad de agua *per cápita* tienda a disminuir. Se identifican como usos consuntivos en la región; público urbano, industrial y agrícola. La situación del agua se ha tornado sumamente compleja y problemática, identificándose entre los principales problemas de la región, la escasez hídrica. La zona presenta deterioro de la calidad del agua, desequilibrio hidrológico y sobreexplotación (Mireles, 2021).

El río Pesquería ha estado sujeto durante mucho tiempo a considerables presiones antrópicas. Por ello, ha sido identificado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) de México como un recurso prioritario para ser evaluado y restaurado. De acuerdo con el programa Regiones Hidrológicas Prioritarias, la subcuenca urbana del río Pesquería fue clasificada como un caso prioritario para la evaluación ecológica (región amenazada), dada la alta biodiver-

sidad y el alto nivel de degradación ambiental que ha causado la actividad antrópica en la región (CONABIO, 2023).

La CONAGUA se dio a la tarea de elaborar la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas. Se define al caudal ecológico como: la cantidad, calidad y variación del caudal reservado para preservar servicios ambientales, componentes, funciones, procesos y resiliencia de ecosistemas acuáticos y terrestres, manteniendo el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en la cuenca (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2012). El caudal ecológico representa un instrumento de gestión que permite acordar un manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos, como un proceso que promueve el desarrollo y el manejo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados en una cuenca, maximizando el bienestar económico y social sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales (DOF, 2012).

Dentro de la AMM la subcuenca urbana del río Pesquería es una de las más afectadas por los retos e incertidumbres que implican el desarrollo y crecimiento de la zona. Esta cuenca está compuesta por 6 municipios (García, Apodaca, Monterrey, Pesquería, San Nicolás de los Garzas y General Escobedo) en donde se han concentrado en los últimos 30 años más del 50% (56-57 %) del total de la población de Nuevo León

La mayor parte del año el río Pesquería se considera como una corriente intermitente, sobre todo a partir de que ingresa al AMM. **De acuerdo con la clasificación de la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 el río Pesquería tiene importancia ecológica Alta aunque presenta alteraciones ecohidrológicas y del régimen natural, con presencia de al menos una especie bajo estado de protección. Aunado a esto, la clasificación sobre la presión del uso del agua es Muy Alta, debido a la influencia del déficit de agua superficial de la zona. Por lo tanto, la cuenca del río Pesquería se considera un objetivo ambiental Deficiente (D), donde la estrategia de conservación es un llamado a la “Recuperación” (DOF, 2012).** Los indicadores de calidad y biológicos no reflejan condiciones naturales y se presentan severas alteraciones de la estructura y función del ecosistema. La zona presenta tramos secos, cauces invadidos por asentamientos humanos irregulares y actividades ilegales como porquerizas y basureros clandestinos que provocan impactos en la geomorfología del cauce; así como una clara evidencia de descarga ilegal de aguas residuales (Figura 3). Todas estas acciones provocan obstrucción, modificación tanto del cauce como de la estructura del propio río.

La subcuenca urbana del río Pesquería cuenta con datos históricos registrados de dos estaciones hidrométricas, las cuales presentan interrupciones en las mediciones a lo largo de los años: *El Canadá*, con datos de 1975 a 2008 y *La Arena* de 1962 a 2001. Son seleccionados los años con menor influencia antrópica, es decir, periodos donde se muestren las condiciones más naturales posible del sistema fluvial. La estación *El Canadá* se encuentra en el municipio Escobedo, en la parte centro de la cuenca y de la ciudad. La estación *La Arena* se encuentra ubicada en la parte baja de la cuenca, y a las afueras de la AMM. Una vez analizados los registros, se obtiene un escurrimiento medio anual de 0,34 m³/s para la estación *El Canadá* y de 3,52 m³/s para la estación *La Arena*.

Desafortunadamente, en la actualidad, estas estaciones se encuentran en desuso, limitando el monitoreo reciente de las condiciones del caudal. Por lo anterior no se puede comprobar que se de cumplimiento del caudal mínimo necesario para que se mantengan las funciones elementales del sistema fluvial.

Con base en los datos históricos registrados en la estación *El Canadá* eran más frecuentes las venidas entre los 10 y 20 m³/s,



A



B



C

Figura 3. Problemáticas en el río Pesquería entre el límite de los municipios de Monterrey y General Escobedo. (A) Acumulación de basura y ausencia de flujo, (B) Contaminación de las aguas, y (C) Asentamientos irregulares en la margen. Fuente: Elaboración propia.

El resultado de la presente investigación es un llamado urgente a las autoridades que administran la cuenca hidrológica del río Pesquería, y una advertencia general para la población del AMM, de que se requieren medidas inmediatas para salvaguardar el caudal ecológico de los ríos urbanos

con avenidas extraordinarias que superan los 40 m³/s. En la estación *La Arena*, se pudo observar que eran frecuentes las avenidas próximas a los 100 m³/s, con avenidas extraordinarias que excedieron los 200 m³/s. En algunas ocasiones se presentaron, dentro del mismo año, varias avenidas que pueden ser explicadas como resultado del periodo de eventos meteorológicos tales como huracanes o tormentas tropicales. Por ejemplo, en el año 1967 se asocian con el huracán Beulah y en 1988 con el huracán Gilberto. En septiembre de 1986 se presentó el mayor caudal registrado en la estación *El Canadá* de 109,35 m³/s; mientras que el mayor registro de la estación *La Arena* lo supera 10 veces, con un caudal de 1 405,89 m³/s en septiembre de 1967.

El principal reto que se enfrenta para determinar el caudal ecológico en los diferentes ríos de México, es el de no contar con una base de datos robusta y duradera en el tiempo (que cumpla con veinte años o más). Los resultados del río Pesquería muestran variaciones por tramos en cuanto a la cantidad del agua reservada, indicando la necesidad urgente de visibilizar el riesgo que corren los servicios ambientales, las funciones y procesos del ecosistema acuático. Resaltan

las diferencias en cuanto a la localización, las condiciones naturales y, sobre todo, la presión de la urbanización y las alteraciones debido al cambio de uso del suelo so-

bre el cauce del mencionado río. Sin embargo, se considera bajo estas condiciones que el volumen que debe ser reservado en términos de conservación ecológica a efecto de balance de disponibilidad es aproximadamente el 30% del escurrimiento medio anual para cada estación.

El resultado de la presente investigación es un llamado urgente a las autoridades que administran la cuenca hidrológica del río Pesquería, y una advertencia general para la población del AMM, de que se requieren medidas inmediatas para salvaguardar el caudal ecológico de los ríos urbanos.

Referencias Bibliográficas

Beißler, M. & Hack, J. (2019). A Combined Field and Remote-Sensing Based Methodology to Assess the Ecosystem Service Potential of Urban Rivers in Developing Countries. *Remote Sensing*, 11(14), 1697.

Diario Oficial de la Federación. (2012). Norma Mexicana que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas (NMX-AA-159-SCFI-2012). <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166834/NMX-AA-159-SCFI-2012.pdf>

Grill, G., Lehner, B., Thieme, M., Geenen, B., Tickner, D., Antonelli, F., Babu, S., Borrelli, P., Cheng, L., Crochetiere, H., Macedo, H., Fil-

gueiras, R., Goichot, M., Higgins, J., Hogan, Z., Lip, B., McClain, M., Meng, J., Mulligan, M., Nilsson, C., Olden, J., Opperman, J., Pe-try, P., Liermann, C., Sáenz, L., Salinas-Rodríguez S., Schelle, P., Schmitt, R., Snider, J., Tan, F., Tockner, K., Valdujo, P. & Soesber- gen, A. (2019). Mapping the world's free- flowing rivers. *Nature* 569(7755), 215-221.

Huerta, R. H. (2022). Integración de redes neuronales convolucionales y percepción remota en la modelación de la conectivi- dad y accesibilidad de áreas verdes urba- nas. Tesis de Doctor. Universidad Autóno- ma de Nuevo León.

Mireles, D. L. (2021). Elaboración de un mo- delo multicriterio con base SIG para el ma- nejo integral de ríos urbanos utilizando VANTS y tecnología espectral. Tesis de Máster. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Ruiz-Picos, R., Kohlmann, B., Sedeño-Díaz, J. & López-López, E. (2017). Assessing ecolo- gical impairments in Neotropical rivers of Mexico calibration and validation of the Biomonitoring Working Party Index. *Inter- national Journal of Environmental Science and Technology*, 14, 1835-1852.



Elementos clave para la restauración de pequeños ríos en México

Heliodoro Ochoa-García *

Enfoque de la restauración de ríos en México

¿Cómo se puede abordar la restauración de pequeños ríos en México cuando no se incluyen en las políticas públicas y en la investigación? Esta pregunta surge al observar que la restauración de ríos y la producción de conocimiento sobre el tema, se enmarcan desde una perspectiva particular: **los proyectos más emblemáticos de investigación e intervención de ríos están enfocados en reparar daños causados por la humanidad y se localizan donde persisten conflictos sociales debido a que son ríos altamente contaminados, están alrededor de las ciudades más grandes o en lugares muy dañados por industrias y proyectos de represas**, por ejemplo en Ciudad de México, Guadalajara, Puebla y Sonora (Gobierno del Estado de Jalisco, 2022; Ávila Orta et al., 2021). Ese tipo de proyectos apuntan a la recuperación de ecosistemas de cuencas, al ordenamiento territorial y a recuperar la salud ambiental del entorno; desafortunadamente, las inversiones, políticas e intervenciones –por medio de infraestructura gris, mejoramiento de regulaciones y tener ciudadanos dispuestos a pagar– han sido ineficaces en el logro de sus objetivos (McCulligh, 2022;

González-Villareal, F. et al., 2022; García Alba Garcíadiego, F. 2022; Soto-Montes de Oca, G., & Ramírez-Fuentes, A. 2019). Este tipo de enfoques para la restauración o rehabilitación de ríos han buscado mejorar las condiciones ambientales, pero no está claro por qué esos proyectos o alternativas no integran en la investigación, monitoreo e intervención de ríos aspectos fundamentales sobre la dinámica hidrológica y geomórfica de los ríos y sus cuencas. En este sentido, **resulta inconsistente que las iniciativas de restauración o rehabilitación de cuencas hidrográficas o de ecosistemas fluviales se centre principalmente en la calidad del agua del efluente principal del río (basado en el control y tratamiento de descargas), sin considerar sus ecosistemas ribereños y las características del entorno socio natural.** En los países en desarrollo es común evaluar el tipo y cantidad de proyectos, categoría (tema de restauración), distribución geográfica, costos de inversión, desempeño y beneficios (Kondolf, G. M., et al., 2007; Follstad Shah, J. J., et al., 2007), mientras que **en México la falta de transparencia y la información fragmentada pueden limitar el análisis, la evaluación y los estudios comparativos sobre el estado de los ríos y las iniciativas de restauración.**

* ITESO, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Universidad Jesuita de Guadalajara

Las inversiones, políticas e intervenciones –por medio de infraestructura gris, mejoramiento de regulaciones y tener ciudadanos dispuestos a pagar– han sido ineficaces en el logro de sus objetivos

Elementos clave para la restauración integral de ríos

Al haber tantas variables y dinámicas en juego para implementar en la restauración de ríos, no existe una fórmula a seguir, pero sí pueden definirse elementos clave a observar a nivel general o con respecto a un problema de interés particular. Para el contexto mexicano, Zambrano, L. (2003) aconseja considerar: a) el régimen hidrológico, b) la calidad del agua, c) la estructura de la cadena trófica, y d) el transporte de sedimentos y la erosión. En cuanto a los problemas que predominan en el medio rural, como son el sobrepastoreo, pérdida de vegetación ribereña y ampliación de canales; otros autores recomiendan la exclusión de ganado, instalación de cercas, eliminación de plantas no nativas, reintroducción de especies nativas, creación de una zona de amortiguamiento ribereña, entre otros (Kondolf, G. M. 1993; Magilligan, F. J., & McDowell, P. F. 1997; Follstad Shah, J. J. 2007; Stovall, S. 2017). Con base en esto, a continuación, se propone un conjunto de 19 elementos o variables reportados en la literatura sobre restauración de ríos y que pueden ser adecuados para diseñar, monitorear o evaluar la restauración de ríos en el contexto mexicano (Tabla 1).

Si se tomaran como referencia los elementos de la Tabla 1, sería difícil determinar cuántos ríos están siendo o han sido restaurados integralmente en México, pues una intervención integral conduce a mejorar aspectos morfológicos del cauce, la calidad y el flujo sostenido de caudal, la salud de hábitats acuáticos y biodiversidad, la conectividad socioecológica - cultural y productiva- con el río y la estética del paisaje; lo cual, también aumenta las posibilidades de resiliencia ante el cambio climático.

Retos a superar

Para situar el posible alcance de alternativas se debe iniciar por reconocer que los problemas relacionados con el agua en México persisten y se reflejan en un deterioro general y sobreexplotación del agua, en la corrupción en el sector, fallas de gobernanza en organismos operadores, rezago de infraestructura y una política hídrica obsoleta (Conagua, 2011; McCulligh, C. 2022). Respecto a la restauración de ríos en sí, existe un vacío en la política hídrica en México. Desde hace 20 años los programas gubernamentales orientados a la conservación de cuencas, suelos y vegetación suelen ser gestionados por agencias ambientales, separadas del

Elementos a considerar en la restauración de ríos
<p>Dinámicas socionaturales regionales</p> <p>Análisis a escala de cuenca: procesos naturales y sociales</p>
<p>Régimen hidrológico</p> <p>Caracterización de la corriente y mediciones: sección transversal del canal, gradiente, patrones de meandros, secuencias de rápidos y charcos, nivel freático, diques, llanuras aluviales, sedimentos, conteo de guijarros</p> <p>Evaluación del canal y propuesta de (re)diseño hidrológico</p> <p>Fuentes y transporte de sedimentos y erosión</p> <p>Calidad del agua y monitoreo</p>
<p>Gradientes ambientales</p> <p>Ecosistemas ribereños (áreas influenciadas por la corriente), medición de la diversidad y crecimiento de la vegetación</p> <p>Hábitat y conectividad fluvial</p> <p>Estructura de la cadena trófica y nutrientes</p> <p>Ecología acuática y biodiversidad</p>
<p>Procesos participativos: problema, metas, indicadores y evaluación definidos colectivamente; resultados esperados por los participantes</p> <p>Relaciones río-personas, medios de subsistencia, valores sociales para la restauración</p> <p>Evaluación de riesgos: inundaciones, contaminación, salud humana y/o del ecosistema</p> <p>Estética de los cauces fluviales y características esperadas del proceso de restauración</p>
<p>Estrategia basada en problemas. Pérdida/Recuperación de vegetación ribereña:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Eliminación o control de plantas invasoras (no nativas), reintroducción de especies locales, creación de una zona de amortiguamiento ribereño -Estrategias de replantación y caracterización de especies vegetales siguiendo las formas del río, tipo de caudal (rápido, pozas) y sustrato de suelo: dispersión de semillas, crecimiento de raíces, resistencia a daños y autorrecuperación, adaptación a inundación y sequía -Nivelación del suelo y línea de protección/transición con pasto pendiente abajo de corrales
<p>Estrategia basada en problemas. Sobrepastoreo/Eliminar pastoreo en el río:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Poner cercas y eliminar la presencia de ganado en cualquier parte del río, arroyo intermitente o cuerpos de agua -Caracterizar el tipo y cantidad de ganado, vigilar de manera permanente las fuentes potenciales de contaminación y escurrimientos (considerar pendiente de terreno y distancia a cuerpos de agua) -Hacer un manejo adecuado del estiércol de ganado y otros desechos/nutrientes; Evitar la escorrentía contaminada y encharcamientos en suelos porosos, o donde existan condiciones de nivel freático alto

Tabla 1. Elementos a considerar en la restauración de los ríos. Elaboración propia basado en: Kondolf, 1993; Magilligan y McDowell, 1997; Naiman et al., 2005; Palmer et al., 2005; Follstad Shah et al, 2007; Stovall, 2017.

Demostrar y evaluar cómo la naturaleza es rentable para la sociedad humana es probablemente uno de los principales desafíos para el progreso futuro de la restauración y la gestión de los ríos

sector agua (Va negas López, M. 2016). La falta de coordinación institucional resta credibilidad a los gobiernos y autoridades ante la sociedad, genera rezagos y tiene implicaciones en el deterioro de los ecosistemas hídricos (López, C. A., et al., 2017). Mientras tanto, alrededor de los ríos se acentúa la pérdida de vegetación, la degradación del suelo, los efectos negativos del cambio climático, los desastres hidrometeorológicos y los daños a la salud pública se vuelven cada vez más difíciles y complejos desde la escala local a la global (Vörösmarty, C. et al., 2010; Valdivia Ornelas, L., & Castillo Aja, M. del R. 2014). Ante la pregunta sobre ¿Qué poder tendrían esos instrumentos [descritos en la Tabla 1] sobre el territorio donde se localiza el problema, transformándolo o conservándolo? Se puede responder que **la restauración de pequeños ríos y arroyos debe incorporarse de manera clara y específica en las políticas de agua y en la generación de conocimiento desde la academia y la sociedad**. Un importante reto a superar es que la gestión del agua y los cauces fluviales –junto con los bosques y los suelos– está centralizada a nivel federal, por lo cual, las iniciativas sociales que surgen desde abajo deben ser muy estratégicas. Además, en la administración del agua, los distritos agrícolas y las ciudades son los

usuarios más poderosos del agua, quienes captan la mayoría del presupuesto público y la atención política para atender sus necesidades (Martínez - Austria, P. F., & Vargas - Hidalgo, A. 2017).

Según Dufour, S. y Piégay, H. (2009), hay un cambio en los enfoques de restauración de ríos que busca comprender mejor la complejidad regional y los objetivos de beneficio humano para ajustar las acciones de restauración. “La relación entre el proceso y los servicios asociados no siempre es evidente. Demostrar y evaluar cómo la naturaleza es rentable para la sociedad humana es probablemente uno de los principales desafíos para el progreso futuro de la restauración y la gestión de los ríos. Este es un asunto crítico para poder escalar de la restauración de un sitio a la restauración del paisaje. Para ello, las condiciones esperadas por la sociedad deben definirse e integrarse plenamente en una etapa temprana del proceso de restauración o gestión” (Dufour, S., & Piégay, H. 2009:575)

Luego de décadas de deterioro del agua y de los medios de vida, **hoy las agendas sociales, políticas y científicas priorizan la restauración desde la perspectiva de la justicia hídrica –reparación de daños a las comunidades, Bien común y defensa**

del territorio–, cuidando las fuentes de agua, “liberando ríos” al evitar o reestructurar represas y evitar trasvases entre cuencas; establecer reservas de agua, reasignar el agua en favor del interés público y equilibrar los flujos de agua en todas las etapas de su ciclo socionatural.

Algunos de estos elementos están incorporados en la propuesta más actualizada y participativa para una nueva ley nacional de aguas que hace falta implementar (Moctezuma Barragán, P. (Ed.) 2021). Por otro lado, las iniciativas de manejo sustentable o recuperación de vegetación nativa se encuentran en iniciativas agroecológicas y jardines botánicos donde se preserva la biodiversidad y el germoplasma local aspirando a la soberanía alimentaria y manteniendo la conectividad de los ecosistemas. Avanzar hacia la sustentabilidad, exige entonces que los pequeños ríos sean gestionados a escala local para cuidar y/o restaurar su equilibrio integral, mientras se promueve que los actores locales ganen atribuciones para atender un conjunto de retos interrelacionados como los que aquí se proponen.

Agradecimientos: ITESO Universidad Jesuítas de Guadalajara, Programa Fulbright Comexus 2022 - 2023 y Escuela de Salud Pública y River-Lab de la Universidad de California Berkeley.

Referencias

Ávila Orta, C. A., Hernández-Rodríguez, M. de L., & Lozano Morales, S. A. (Eds.). (2021). Río Atoyac: Hacia una gestión integral de una problemática multifactorial. Retrieved from [https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/675/1/Cuaderno de divulgación Rio atoyac.pdf](https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/675/1/Cuaderno%20de%20divulgación%20Rio%20atoyac.pdf)

CONACYT. (2021). Ciencias y Humanidades. 1(1). Ciudad de México: CONACYT.

Conagua. (2011). Agenda del agua 2030.

Mexico DF: Semarnat, Conagua.

Dufour, S., & Piégay, H. (2009). From the myth of a lost paradise to targeted river restoration: forget natural references and focus on human benefits. *River Research and Applications*, 25(5), 568–581. <https://doi.org/10.1002/RRA.1239>

Follstad Shah, J. J., Dahm, C. N., Gloss, S. P., & Bernhardt, E. S. (2007). River and riparian restoration in the southwest: Results of the National River Restoration Science Synthesis project. *Restoration Ecology*, 15(3), 550–562. <https://doi.org/10.1111/J.1526-100X.2007.00250.X>

García Alba Garciadiego, F. (2022). Community participation in Mexico City’s water management. Learning from the failure of the Magdalena River restoration project. *Urban Water Journal*, 1–14. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2022.2059382>

Gobierno del Estado de Jalisco (2022). Revivamos el Río Santiago. Secretaría de Gestión Integral del Agua. Available at: <https://riosantiago.jalisco.gob.mx/patrimonio-natural> [this site is the official source for information, problem framing, and action plan for the Santiago River]

González Villareal F.J., Vázquez Herrera E., Aguilar Amilpa, E., Arriaga Medina, J.A. (2022). Perspectivas del agua en México, propuestas hacia la seguridad hídrica. Ciudad de México: UNAM-Red del Agua UNAM, CERSHI-UNESCO, Agua Capital.

Kondolf, G. M. (1993). Lag in Stream Channel Adjustment to Livestock Exclosure, White Mountains, California. *Restoration Ecology*, 1(4), 226–230. <https://doi.org/10.1111/J.1526-100X.1993.TB00031.X>

Kondolf, G. M., S. Anderson, R. Lave, L. Pagan, A. Merelender, and E. S. Bernhardt. 2007. Two decades of river restoration in California: what we can learn? *Restoration Ecology* 15:516–523.

López, C. A., Zambrabo, L., Ruiz Ortega, R., Guzmán, M. A., Pérez Esepejo, R., Sandoval, R., ... Caldera, A. (2017). El agua en México. Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica (C. Denzin, F. Taboada, & R. Pacheco-Vega, eds.). Ciudad de México: Friedrich-Ebert-Stiftung.

Magilligan, F. J., & McDowell, P. F. (1997). Stream channel adjustments following elimination of cattle grazing. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 33(4), 867–878.

<https://doi.org/10.1111/J.1752-1688.1997.TB04111.X>

Martínez-Austria, P. F., & Vargas-Hidalgo, A. (2017). Sistema de asignaciones, concesiones y política hídrica en México. Efectos en el derecho humano al agua. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 8(5), 117–125.

<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-05-08>

McCulligh, C. (2022). Wastewater and wishful thinking: Treatment plants to “revive” the Santiago River in Mexico. *Environment and Planning E: Nature and Space*, 0(0).

<https://doi.org/10.1177/25148486221125230>

Moctezuma Barragán, P. (Ed.). (2021). Propuesta de proyecto de dictamen y articulado Ley General de Aguas. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Naiman, R. J., Décamps, H., McClain, M. E., & Likens, G. E. (2005). Riparia: Ecology, conservation, and management of streamside communities. *Riparia: Ecology, Conservation, and Management of Streamside Communities*, 1–430.

Palmer, M. A., Bernhardt, E. S., Allan, J. D., Lake, P. S., Alexander, G., Brooks, S., ... Sudduth, E. (2005). Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, 42(2), 208–217.

<https://doi.org/10.1111/J.1365-2664.2005.01004.X>

Pohl, C., & Hirsch Hadorn, G. (2007). Principles for designing transdisciplinary research. Proposed by the Swiss Academies of Arts and Sciences. Munich, Germany: Oekom.

Soto-Montes de Oca, G., & Ramirez-Fuentes, A. (2019). Value of river restoration when living near and far. The Atoyac Basin in Puebla, Mexico / Valor de la restauración de ríos cuando se vive cerca y lejos. *La Cuenca de Atoyac en Puebla, México. Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(1), 177–206.

<https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2019-01-07>

Stovall, S. (2017). Vegetation Restoration on the Pecos River in East Central New Mexico: Lessons Learned. *Rangelands*, 39(1), 28–31.

<https://doi.org/10.1016/J.RALA.2016.11.004>

Valdivia Ornelas, L., & Castillo Aja, M. del R. (2014). Los Peligros Naturales en Jalisco. Estudio histórico de sus impactos territoriales. Guadalajara, México: CUCSH - Universidad de Guadalajara.

Vanegas López, M. (2016). Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias. Informe final dentro del proyecto GEF 00089333 “Aumentar las capacidades de México para manejar especies exót. México: CONAFOR, CONABIO, GEF-PNUD.

Vörösmarty, C., McIntyre, P., Gessner, M., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., ... Davies, P. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467(7315), 555–561. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nature09440>

Zambrano, L. (2003). La restauración de ríos y lagos. *Ciencias UNAM*, 72, 36–43. Retrieved from <https://www.revistacienciasunam.com/images/stories/Articles/72/CNS07205.pdf>



El Futuro de la Gestión del Agua: Machine Learning y Herramientas Geoespaciales en la Monitorización de Ríos Urbanos

Kevin David Rodríguez González *
Fabiola Doracely Yépez Rincón *
Luis Carlos Alatorre Cejudo *

Los ríos en entornos urbanos desempeñan un papel fundamental en las áreas metropolitanas de todo el mundo al proveer recursos hídricos, servicios ecosistémicos y hábitats para la vida silvestre. Sin embargo, la rápida urbanización experimentada en las últimas décadas ha generado una serie de desafíos ambientales que impactan negativamente a estos ríos. Uno de los problemas más preocupantes en cuanto a la

conservación del agua, se debe a las descargas industriales y domésticas, lo cual resulta en la presencia de sustancias químicas, metales pesados y otros contaminantes en el agua. Esta contaminación no solo afecta la calidad del agua, sino que también tiene consecuencias negativas para los organismos acuáticos y la salud humana (Herrera S, 2020).



Figura 1. La acumulación de residuos sólidos urbanos (izquierda) y el estrangulamiento de ríos son causa directa de la pérdida del caudal (derecha).

* Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil

Uno de los problemas más preocupantes en cuanto a la conservación del agua, se debe a las descargas industriales y domésticas, lo cual resulta en la presencia de sustancias químicas, metales pesados y otros contaminantes en el agua. Esta contaminación no solo afecta la calidad del agua, sino que también tiene consecuencias negativas para los organismos acuáticos y la salud humana

En el Área Metropolitana de Monterrey (AMM), el crecimiento urbano no planificado y la deforestación han provocado el deterioro de las terrazas aluviales y el desgaste de las orillas de los ríos. Este proceso erosivo ocasiona pérdida de tierra, daños a infraestructuras construidas y también provoca problemas relacionados con el sedimento acumulado en los cauces fluviales, así como una disminución en los hábitats naturales (Álvez A, Espinosa P, Castillo R, Iglesias K, Seguel C. 2022). **La mala calidad del agua, la pérdida de biodiversidad, además de la mala gestión de residuos sólidos son problemáticas poco estudiadas y que requieren acciones integrales para resolverse** (Figura 1).

En este trabajo se presenta el caso del río Pesquería, uno de los tres ríos urbanos del AMM, el cual tiene décadas sufriendo invasión del cauce debido al rápido desarrollo de la ciudad, falta de planeación urbana y al mal manejo de los residuos sólidos urbanos que afectan la calidad y cantidad del flujo de agua. **Una manera de dar seguimiento a la evolución de estas problemáticas, para prevenir que continúen creciendo es el uso de información geoespacial, por medio de satélites de observación de la Tierra.** Sin embargo, en el caso de este tipo de ríos que son someros (con profundidades menores a un metro) y muy angostos (con anchos menores a diez metros), es necesario el uso de imágenes de alta resolución espacial. Al aumentar la

resolución de la información espacial, también aumentan las demandas de procesamiento, cómputo y almacenamiento.

Lo anterior trae como consecuencia el limitar el procesamiento extensivo por secciones y/o hacer uso de nuevas tecnologías geoespaciales y plataformas con acceso a múltiples bases de datos y colecciones de imágenes de satélite con distintas características que cumplan con las necesidades planteadas. Tal es el caso de software de acceso libre como Google Earth Engine (GEE) (Pangihutan M, Barita J, Frenly A, Duva G, Handoco E, Basten W. 2022) que permite el monitoreo adecuado y preciso de todo el cauce urbano del río Pesquería.

Machine Learning y Herramientas Geoespaciales

El aprendizaje automatizado o bien conocido como Machine Learning es un subconjunto de la inteligencia artificial (Jalife S. 2022) la cual facilita que una máquina aprenda automáticamente de los datos, mejore sus rendimientos a partir de sus experiencias y prediga cosas sin ser explícitamente programada. Aunque, este tipo de tecnologías ya han sido aplicadas al monitoreo de los ríos urbanos en otras partes del mundo como en Beijing y Seúl (Fu G, Jin Y, Sun S, Yuan Z, Butler D. 2022.) (Zhu M, Wang J, Yang X, Zhang Y, Zhang L, Ren H, Wu B, Ye L. 2022).

En este trabajo se presenta el caso del río Pesquería, uno de los tres ríos urbanos del AMM, el cual tiene décadas sufriendo invasión del cauce debido al rápido desarrollo de la ciudad, falta de planeación urbana y al mal manejo de los residuos sólidos urbanos que afectan la calidad y cantidad del flujo de agua

Esta investigación en particular ha presentado como reto la extracción de las superficies de agua por medio de cálculos de índices espectrales. Lo anterior se debe a que el río Pesquería tiene flujos intermitentes y de poco caudal que limita la posibilidad de que el sensor satelital capture la radiancia del agua. Por lo cual, se generó una metodología que permitió crear una “máscara” de agua a lo largo del río Pesquería entre las diferentes temporadas de estiaje y lluvias para el periodo 2016-2019. Lo anterior fue posible utilizando clasificaciones de cobertura de suelo realizadas utilizando los algoritmos de Machine Learning (p.e. Random Forest) en GEE. Para realizar la clasificación de cobertura de suelo se emplearon imágenes satelitales del Norway's International Climate and Forests Initiative Satellite Data Program (NICFI), las cuales tienen una resolución de 4.7m dentro del rango pancromático (Figura 2a). Se programaron y obtuvieron las siguientes cinco clases de cobertura de suelo (Figura 2b): Agua (1), Vegetación (2), Agrícola (3), Urbano (4) y Suelo (5), obteniendo como resultado precisiones promedio del 90% para las cuatro secciones del río Pesquería. Como se aprecian en la Figura 2c, la clasificación final demuestra la intermitencia del flujo.

Posterior a la clasificación se extraen los polígonos con las superficies de agua, logrando corroborar la falta de un continuo en el flujo del río. Debido a que esto se realizó para distintos periodos de tiempo, algunos de los “huecos” en ese continuo

fueron rellenados representando un mayor caudal, mientras que otros se mantuvieron por más tiempo.

Conclusiones

Los ríos urbanos como el río Pesquería en el Área Metropolitana de Monterrey enfrentan desafíos ambientales significativos. **La relación entre la Geomática, la inteligencia artificial, y softwares de libre acceso como Google Earth Engine, entre otras plataformas de gran disponibilidad de datos, ofrecen herramientas poderosas para monitorear, gestionar y mejorar las condiciones de los ríos.** Al implementar estas tecnologías de manera efectiva, se puede avanzar en los estudios de monitoreos de aguas superficiales y proyectarlos hacia la restauración y preservación de estos ecosistemas vitales tanto a nivel local como regional, garantizando un futuro más sostenible y saludable para todos los seres vivos.

Gracias a la metodología implementada ahora se puede entender que la dinámica del flujo continuo de este tipo de ríos urbanos puede convertirse en un factor clave para restaurar de manera efectiva y reducir su alta vulnerabilidad ecosistémica. Se espera que este tipo de metodologías emergentes que se respaldan en la inteligencia artificial y el uso de tecnologías de observación de la Tierra sean un parteaguas que ayude a dar seguimiento puntual a los ríos urbanos en situación de alta vulnerabilidad.

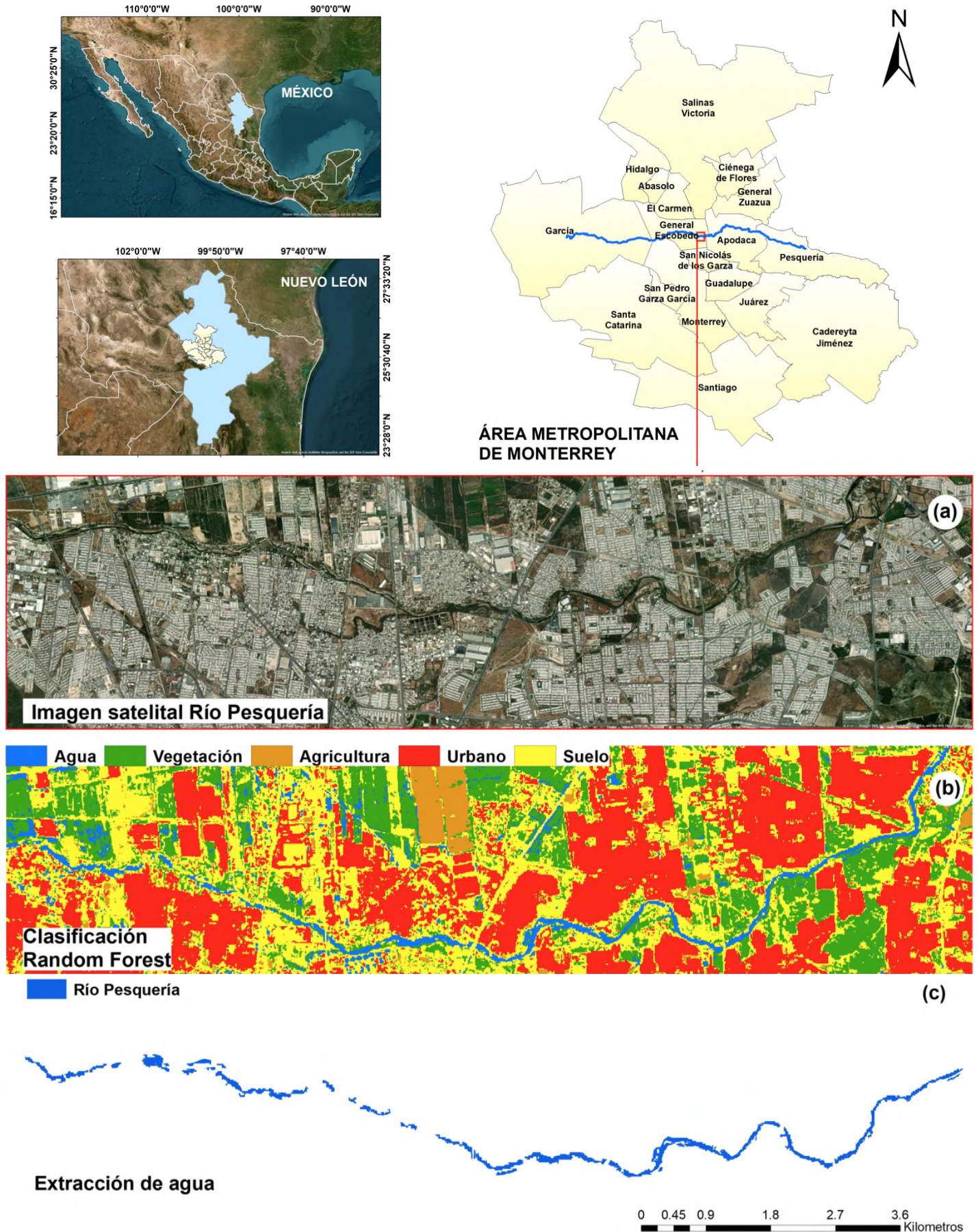


Figura 2. La extensión del área de estudio sobre los municipios del Área Metropolitana de Monterrey, donde en (a) se muestra la imagen en color verdadero, (b) la clasificación de Random Forest, y (c) el resultado de la máscara de agua extraída del río Pesquería.

El aprendizaje automatizado o bien conocido como Machine Learning es un subconjunto de la inteligencia artificial la cual facilita que una maquina aprenda automáticamente de los datos, mejore sus rendimientos a partir de sus experiencias y prediga cosas sin ser explícitamente programada

Referencias Bibliográficas

Herrera S, 2020. "Los ríos urbanos en el ecosistema ciudad". Clavigero N°9. Jawalekar S.B, Shelare S.D, Development and performance analysis of low cost combined harvester for rabcrops, Agricultural Engineering International:CIGR Journal 22 (1) 197–201.

Álvez A, Espinosa P, Castillo R, Iglesias K, Seguel C. 2022. "An Urgent Dialogue between Urban Design and Regulatory Framework for Urban Rivers: The Case of the Andalién River in Chile". Water 14(21), 3444.

Pangihutan M, Barita J, Frenly A, Duva G, Handoco E, Basten W. 2022. "TSS Analysis (Total suspended soil) usin GEE (Google Earth Engine) Cloud Technology in Belawan waters". Journal of Applied Geospacial Information Vol6. N°2.

Jalife S. 2022. "Qué es la inteligencia artificial". Centro México Digital., Ciudad de México- México. Disponible el 22/03/2023.

Fu G, Jin Y, Sun S, Yuan Z, Butler D. 2022. "The role of deep Learning in urban water management: a Critical review". Water Research 223. 118973.

Zhu M, Wang J, Yang X, Zhang Y, Zhang L, Ren H, Wu B, Ye L. 2022. "A review of application of Machine Learning in water quality evaluation". Eco-Environment & Health 1 107–116.



Meditar del arroyo

Jorge Martínez Ruiz

¿Qué oculta el canto del arroyo?

¿Qué dice el agua cuando después del estiaje vuelve a correr por el viejo cauce del río?

¿Qué dicen en su memoria quienes escuchan el repiqueteo saltarín del agua entre las piedras?

¿Qué comprende la mariposa cuando revolotea en el remanso entre los reflejos tornasoles de sus alas?

¿Qué piensa la zarigüeya cargada de hijos al mojarse las patitas en el fresco fluir del estiaje vencido?

¿Qué siente el fruto silvestre al caer maduro en la corriente que lo arrastra?

¿Qué escribe en la mente del niño el juego de sus manos quebrando la imagen de su rostro en él acuoso espejo?

Es la pregunta la que responde

Es el arroyo el que oculta y muestra el misterio

Es el arroyo interpelado, el que entreabre la puerta

No importa si el arroyo está seco o abundoso de torrente

No importa si el camino del agua se hace piedra o labra el surco y traza la sierpe de su cauce

No importa si habla en la tormenta o calla con el bosque en el estiaje

El arroyo sosiega al caminante mientras a su vera lo acompaña rumbo a la fuente de que brota

Asciende y suda el caminante y algo de su ser percibe, ya si al manantial escucha o si mira tan solo el buen labrado de las piedras, enormes o pequeñas, cantos de tiempo, cantos rodados que en la seca suenan silenciosos y en el verano tañé la lluvia y tiñe en húmeda pátina espejos múltiples de follaje y nubes

El contrapunto del hombre y el arroyo a cada uno, en el encuentro, otorga plenitud

El arroyo no necesita saberlo, el hombre lo ignora

Y el poema que escribo esculpe su existencia, sin que al agua importe y el poeta apruebe

Orientación para los artículos a ser publicados en La Noria *Digital*

1. Características de los artículos

1.1 Deberán referirse preferentemente a experiencias o investigaciones de las y los autores y colectivos sobre la problemática del ciclo socio-natural del agua y redactarse con rigor en lenguaje sencillo y claro.

1.2 Se esperan textos de un mínimo de cuatro cuartillas (aprox. 8,000 caracteres con espacio) y un máximo de ocho (aprox. 16,000), que se orienten a la disseminación de conocimientos, información y prácticas.

1.3 Abordarán alguno de los siguientes campos temáticos: 1) aplicación del modelo Pronaces Agua de investigación e incidencia; 2) aspectos de planeación y técnica en torno al ciclo socio-natural del agua; 3) prácticas comunitarias de defensa y protección del derecho humano al agua; 4) democracia informática.

1.4 El comité editorial podrá intervenir en la corrección de estilo de los artículos y eventualmente ajustar la extensión de los artículos según las necesidades del boletín.

2. Presentación

2.1 El título deberá expresar claramente el contenido del trabajo.

2.2 Se usará la fuente Arial de 12 puntos con interlineado de 1.5.

2.3 Los vocablos en idioma distinto al español deberán escribirse en cursivas.

2.4 Imágenes (figuras, diagramas, fotografías, mapas, tablas, etcétera) deberán numerarse progresivamente y ubicarse en el lugar pertinente, no al final del artículo. El título de la imagen se colocará arriba y la fuente abajo. Además de incorporarse en el cuerpo del escrito deberán remitirse en archivos de imagen independientes, en formato .jpg, .png o .tiff, con una resolución mínima de 300 puntos por pulgada.

2.5 Las citas y referencias bibliográficas se harán siguiendo el sistema APA (se puede consultar una guía general en la página <https://bit.ly/3u06940> y unas guías específicas en <https://bit.ly/3UFodf0> y <https://bit.ly/3HeKqvh>).

2.6 Se sugiere solo incluir citas textuales cortas, menos de 40 palabras, incorporadas al texto entre comillas dobles, y evitar citas textuales largas.

2.7 Los autores deberán seleccionar cinco párrafos clave de su texto y resaltarlos en negritas.

3. Datos del autor

3.1 Nombre completo.

3.2 Formación práctica o académica.

3.3 Organización, colectivo o institución a la que pertenece.

3.4 Teléfono.

3.5 Correo electrónico.



LA NORIA

Digital

En la actualidad, la sequía, más allá de sus causas naturales, implica una combinación compleja de problemáticas principalmente de orden social, político, económico y tecnológico. Entre otros muchos aspectos, para encarar la sequía y sus efectos, es indispensable la restauración y recuperación de los sistemas riparios.

En esta entrega de *La Noria Digital*, como un primer acercamiento, hemos reunido cuatro artículos derivados del 2º Congreso del agua para el bien común. *Procesos, relaciones y soluciones frente a la incertidumbre*, relacionados con la preservación del caudal ecológico como instrumento de gestión sustentable de cuencas y ríos.