

Entorno

REVISTA DE CONOCIMIENTO E INNOVACIÓN

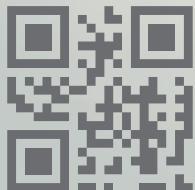
UDLAP

SEQUÍA Y CALIDAD
DEL AGUA DE
RIEGO: EL CASO
DE LA PRESA DE
VALSEQUILLO
EN PUEBLA

Agua y cambio climático

Cómo prevenir y enfrentar los RIESGOS HIDROMETEOROLÓGICOS

udlap.mx



» ISSN 2594-0147

#20

» Indizada en Latindex

DISTRIBUCIÓN GRATUITA MAY-AGO 2023

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS PUEBLA



UDLAP[®] Maestrías mixtas

SISTEMA HYBRID UDLAP

Decide dónde cursar
cada una de tus clases



Para mayores informes

CONTENIDO

1

4. ECOHIDROLOGÍA

una breve introducción

► Ecohydrology: a brief introduction

Por: María de los Ángeles Areli Piña Ramírez · Carlos Patiño Gómez



14. AN ESTIMATION OF THE EXPOSURE TO ANTIMICROBIALS

triclosan and triclocarban through daily habits

► Una estimación de la exposición a los antimicrobianos triclosán y triclocarbán a través de los hábitos diarios

Por: Regina Mijares Fajardo · David Eduardo Guevara Polo



EDITORIAL

ENTORNO UDLAP, Año 7, núm. 20, mayo-agosto 2023, es una publicación cuatrimestral editada por la Fundación Universidad de las Américas, Puebla. Ex hacienda Santa Catarina Mártir s/n, San Andrés Cholula, Puebla, C. P. 72810. Tel. (222) 229 2109. Sitio web de la revista: <https://entorno.udlap.mx>, correo electrónico: revista.entornoudlap@udlap.mx. Editor responsable: Martín Alejandro Serrano Meneses. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo núm. 04-2016-091418231700-102, ISSN: 2594-0155, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Distribución gratuita. Impresa en los talleres de Reproducciones Gráficas Avanzadas, S. A. de C. V., 21 Sur 2308, col. Volcanes, Puebla, Pue., C. P. 72410. Este número se terminó de imprimir el 25 de septiembre de 2023, con un tiraje de 500 ejemplares.

Esta revista se publica bajo licencia de Creative Commons Atribución-No comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional. CC BY-NC-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>



Los artículos publicados en *Entorno UDLAP* se someten a revisión por pares en el sistema de «doble ciego», es decir que los árbitros no conocen el nombre de los autores del texto que revisan, ni los autores los nombres de quienes lo revisan. La responsabilidad del contenido de los artículos corresponde exclusivamente a los autores, y no necesariamente refleja la postura de los editores, miembros del consejo y comité editoriales o de la Universidad de las Américas Puebla.

El agua es un elemento transversal en todos los aspectos de la vida, por lo tanto, es fundamental abordar su manejo en diversos sectores. La Cátedra UNESCO en Riesgos Hidrometeorológicos de la UDLAP busca promover un sistema integrado de investigación, capacitación, información y documentación sobre hidrología, hidrometeorología, gestión de riesgos, gestión del agua, cambio climático, igualdad de género, economía y ciencias sociales. Este número temático incluye estudios por demás interesantes y esenciales para la comprensión cabal del tema, desarrollados por estudiantes del Doctorado en Ciencias del Agua de la UDLAP.

Hablar de ecohidrología es discutir el futuro de la sustentabilidad y la sostenibilidad. El artículo «Ecohidrología: una breve introducción» explora la estrecha relación que guarda la ecología, como una rama de las ciencias biológicas, con la hidrología, como una ciencia natural. Este trabajo pretende mostrar al lector cómo el manejo de los recursos hídricos y bióticos es de vital importancia en las cuencas y cómo se ha diseminado esta ciencia.

El estudio «An estimation of the exposure to antimicrobials triclosan and triclocarban through daily habits» aborda de una manera muy clara el empleo de bactericidas de uso generalizado en productos cotidianos, como lo son el triclosán y el triclocarbán. El objetivo de este trabajo es calcular el riesgo de exposición dada la dosis de referencia de ambos contaminantes, considerando diferentes hábitos diarios.

La seguridad hídrica no sólo obedece a la cantidad sino también a la calidad del agua. El artículo «Sequía y calidad del agua de riego, el caso de la presa de Valsequillo» revisa cómo la sequía del año 2022 propició que se tuvieran que enviar mayores volúmenes de agua a comunidades agrícolas, afectando la recuperación de la presa con algunas lluvias subsecuentes y poniendo en riesgo el envío de los volúmenes adecuados para el Distrito de Riego 030 en el año 2023.

En el ámbito de los eventos hidrometeorológicos extremos, es fundamental contar con bases de datos regionales y globales que permitan realizar análisis y simulaciones pertinentes para evaluar el riesgo ante dichos fenómenos. En el artículo «Bases de datos regionales y globales para el análisis de la exposición ante inundaciones», se mencionan los estudios preliminares necesarios para el manejo de las inundaciones a nivel cuenca hidrológica, y que contribuyen a generar la base técnica de las acciones de la gestión integral del riesgo por inundación.

Por todo lo anteriormente expuesto, es imperativo tomar acciones de inmediato para mejorar la gestión hídrica en el manejo tanto de la cantidad como de la calidad del agua. Todo ello enfocado en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas, y con ello preservar los recursos naturales para futuras generaciones.

Dr. Carlos Patiño Gómez

Director de la Cátedra UNESCO UDLAP en Riesgos Hidrometeorológicos

► Ecohydrology: a brief introduction

4

UDLAP®

ECO HIDRO LOGÍA:

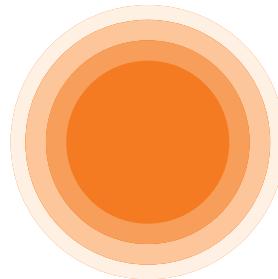
una breve introducción

Por:  María de los Ángeles Areli Piña Ramírez · Carlos Patiño Gómez



Piña Ramírez, M. A. y Patiño Gómez, C. (2023) Ecohidrología: una breve introducción. *Entorno UDLAP*, 20

Recibido: 13 de febrero de 2023 ✓ Aceptado: 6 de junio de 2023



◆◆ RESUMEN

Hablar de ecohidrología es discutir el futuro de la sustentabilidad, tema que nunca debió ser un tópico del porvenir, sino un presente constante. La ecohidrología, como la misma palabra describe, es la integración de los conocimientos de las ciencias ecológicas e hidrológicas. Sin embargo, los procesos de interacción entre ambas no son tan sencillos como la unión de dos palabras. En consecuencia, este trabajo pretende mostrar al lector cómo el manejo de los recursos hídricos y bióticos es de vital importancia en las cuencas, y de qué manera se ha diseminado esta ciencia. Por ello, se mencionan las Cátedras UNESCO enfocadas en la ecohidrología, ahondando en sus preocupaciones y áreas de oportunidad. Por último, se sugiere al lector reflexionar acerca de sus acciones a partir de lo expuesto en este escrito.

◆◆ PALABRAS CLAVE:

Ecohidrología · Cátedras UNESCO · Gestión hídrica · Sustentabilidad · Ecosistemas

◆◆ ABSTRACT

Talking about ecohydrology means discussing the future of sustainability, which should have never been a forthcoming topic but a constant one. Ecohydrology, as the word itself describes, is the integration of knowledge from ecological and hydrological sciences. However, the interaction processes between both are not as simple as the union of two words. Consequently, this paper intends to show how water management and biotic resources involve critical watershed topics and how this science has been disseminated. For this reason, UNESCO Chairs focused on ecohydrology are mentioned, commenting on their concerns and areas of opportunity. Finally, we invite the readers to make a retrospective on their actions minding the information in this article.

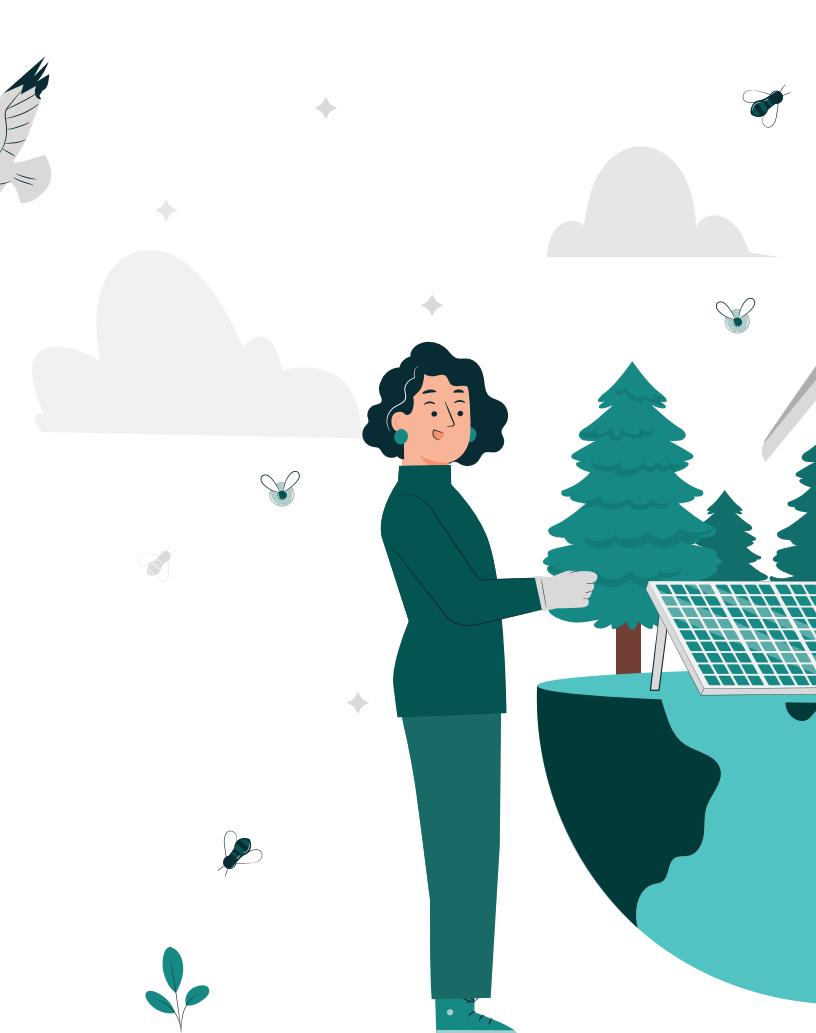
◆◆ KEYWORDS:

Ecohydrology · UNESCO Chairs · Water Management · Sustainability · Ecosystems

◆ INTRODUCCIÓN

Para los autores de este artículo, hablar de ecohidrología es discutir el futuro de la sustentabilidad, el cual nunca debió ser un tema del porvenir, sino una preocupación constante. La ecohidrología, como la misma palabra describe, es la integración de los conocimientos de las ciencias ecológicas e hidrológicas. Sin embargo, los procesos de interacción entre ellas no son tan sencillos como la unión de dos palabras. Al respecto, Martínez-Valdés y Villalejo-García (2019) señalan que esta nueva colaboración de estudios funciona como un factor de cambio de procesos descriptivos y restrictivos hacia soluciones funcionales y creativas de conservación del ecosistema y el agua como un conjunto. Es decir, como una ciencia interdisciplinaria que apunta a la transdisciplinariedad para resolver los problemas del agua en las cuencas y buscar su manejo sostenible.

El tema de la ecohidrología formó parte fundamental del Programa Hidrológico Internacional (PHI) en su fase VIII: garantizar el suministro de agua, en el periodo 2014-2021 (UNESCO, 2015c). Asimismo, para la fase IX (2022-2029) se renovó la visión de seguir trabajando en innovaciones ecohidrológicas combinándolas con la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) (UNESCO, 2023b). No obstante, las publicaciones de la UNESCO sobre esta área del conocimiento datan de 1997, con los títulos *Procesos ecohidrológicos en pequeñas cuencas* y *Ecohidrología: un nuevo paradigma para el uso sostenible de los recursos acuáticos* (UNESCO, 2015c). Entre las áreas focales que menciona la UNESCO (2015c) están la ecohidrología urbana, la identificación de riesgos de cuencas y su conformación ecológica, normatividad ecohidrológica y soluciones ingenieriles para mejorar la resilien-



cia. Adicionalmente, también se resalta la importancia de la gestión integral de los recursos hídricos y el buen empleo de servicios ecosistémicos en el manejo ecohidrológico (Zalewski y Robarts, 2003).

Giuseppe Arduino, jefe de la sección de Ecohidrología del Programa Hidrológico Inter-gubernamental del periodo 2013-2017 de la UNESCO, recalca que lo más importante para mantener la integridad de un ecosistema es conducir siempre a su equilibrio y estar conscientes de que los problemas interconectados de agua, naturaleza y personas son críticos (Arduino, 2015). Por ello, es importante también integrar las ciencias sociales a la ecohidrología y plantear a los involucrados las contribuciones



LO MÁS IMPORTANTE PARA MANTENER LA INTEGRIDAD DE UN ECOSISTEMA ES CONDUCIR SIEMPRE A SU EQUILIBRIO Y ESTAR CONSCIENTES DE QUE LOS PROBLEMAS INTERCONECTADOS DE AGUA, NATURALEZA Y PERSONAS SON CRÍTICOS.

que pueden hacer según su responsabilidad social (Gobierno, empresas, ciudadanos).

Las mayores preocupaciones que enfrenta la ecohidrología en las cuencas hidrográficas son la contaminación, el manejo del agua superficial y subterránea, los cambios de uso de suelo y pérdidas de vegetación, las sequías e inundaciones, el daño de hábitats, y con ello la destrucción de los ecosistemas, además de la invasión de especies. Por estos motivos, se han implementado en sitios de demostración acciones de remediación, estudios comparativos y análisis jurídicos y normativos (Arduino, 2015). En este sentido, es plausible indicar que la ecohidrología tiene un enfoque integrador que proyecta la restauración de ecosistemas terrestres

y acuáticos que conforman una cuenca por medio de la captura de contaminantes, detección y manejo de nutrientes, y de garantizar la salud de los hábitats (Sutapa *et al.*, 2021).

Se habla de ecohidrología y cuencas dado que la cuenca es la unidad mínima de gestión dentro de la hidrología. Respecto a esto, Harper *et al.* (2008) recalcan que la noción ecohidrológica funciona cuando se sostiene la cuenca como escala espacial, aunque, incluso en el ejercicio, se utilicen otras escalas. En consecuencia, este trabajo pretende mostrar al lector cómo el manejo de los recursos hídricos y bióticos es de vital importancia en las cuencas, lo cual implica monitorear sus fuentes de agua superficial y subterránea, ya que su economía

depende enormemente de sus reservas. De ahí la insistencia en prevenir modificaciones de uso de suelo, deforestación, incendios, contaminación y otros cambios que tienen fuertes consecuencias en la disponibilidad del agua, y así evitar impactos en la sostenibilidad y el desarrollo económico (Tundisi y Tundisi, 2016).

Cátedras UNESCO y otros programas

Una cátedra UNESCO es una agrupación de personas que se unen con la intención de promover el conocimiento en un área de interés común. Esto se hace mediante el asociamiento de una institución de educación superior o de investigación con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2022). Las cátedras deben contar con una persona titular, el director, y un equipo de profesores, investigadores y estudiantes de la institución sede, o de otras organizaciones nacionales o internacionales, que se involucran en las labores y actividades programadas (UNESCO, 2022).

LAS MAYORES PREOCUPACIONES QUE ENFRENTA LA ECOHIDROLOGÍA EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SON LA CONTAMINACIÓN, EL MANEJO DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA, LOS CAMBIOS DE USO DE SUELO Y PÉRDIDAS DE VEGETACIÓN, LAS SEQUÍAS E INUNDACIONES, EL DAÑO DE HÁBITATS, Y CON ELLO LA DESTRUCCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS, ADEMÁS DE LA INVASIÓN DE ESPECIES.

Las 49 cátedras UNESCO relacionadas con el agua se dividen en los temas mostrados en la figura 1; once de ellas están establecidas en América Latina y el Caribe (Chile, Guatemala, Ecuador, México, Curazao, Argentina, Brasil,

Figura 1. Categorías de las cátedras UNESCO relacionadas con el agua.

| Cátedras | Temas |
|----------|--|
| 7 | Desastres relacionados con el agua y cambios hidrológicos |
| 3 | Agua subterránea en un entorno cambiante |
| 11 | Atención a la escasez y la calidad del agua |
| 2 | Agua y asentamientos humanos en el futuro |
| 14 | Ecohidrología, armonía ingenieril para un mundo sostenible |
| 4 | Educación hídrica, la clave para su seguridad |
| 5 | Agua y género |
| 3 | Agua y cultura |

Fuente: elaboración propia con información de la UNESCO (2015b).

República Dominicana y Uruguay). Dentro del tema «Ecohidrología, armonía ingenieril para un mundo sostenible», existen catorce cátedras UNESCO (tabla 1), las cuales se encuentran mayormente establecidas en Europa, pero esfuerzos relacionados con esta rama del conocimiento también existen en América Latina. Como ejemplo se tienen la Plataforma de Investigación en Ecohidrología y Ecohidráulica en Chile (EcoHyd, s. f.) y el Programa Regional de Ecohidrología para América Latina y el Caribe. Asimismo, en Asia se cuenta con el Centro de Ecohidrología para Asia y el Pacífico (establecido en 2019 en Indonesia), y en África está el Centro Regional Africano de Ecohidrología (establecido en 2018 en Etiopía) (UNESCO, 2017).

Por otro lado, hasta el día de hoy, en México hay dos cátedras UNESCO relacionadas con el agua: la Cátedra UNESCO-IMTA El Agua en la Sociedad del Conocimiento, establecida en 2008, y la Cátedra UNESCO-UDLAP en Riesgos Hidrometeorológicos, establecida en 2016 (UNESCO, 2023a). Con relación a la cátedra que se encuentra en la Universidad de las Américas Puebla, aunque su enfoque no es directamente la ecohidrología, investigaciones pertinentes a esta ciencia se realizan a través del doctorado en Ciencias del Agua. Con esto se puede observar que el ahínco por difundir trabajos ecohidrológicos está incrementando y seguramente pronto habrá más expertos e interesados para su consolidación.

Áreas de aplicación y objetivos

Las áreas de aplicación de la ecohidrología van desde transporte de sedimentos, cantidad y calidad del agua, hasta identificación de riesgos por inundaciones y sequías (Sutapa *et al.*, 2021). Asimismo, su estudio también contempla temas de gobernanza y seguridad hídrica para garantizar el derecho humano al agua y el funcionamiento de los ecosistemas (Tundisi y Tundisi, 2016).

Las investigaciones que se cubren por medio de esta ciencia son relativas a la determinación de los caudales ecológicos, estudios de eutroficación y circulación de contaminantes (Wagner *et al.*, 2004). De igual manera, la ecohidrología indaga en temas de monitoreo de aguas superficiales, optimización de servicios ecosistémicos, entre algunos otros contenidos relacionados con los procesos bióticos y su respuesta en estuarios, además de la sustentabilidad del agua y la biota (Wolanski *et al.*, 2004).

También se ha explorado la regulación de nutrientes, sedimentos y los ciclos del agua, dándole importancia a los ecosistemas naturales (El-Sadek *et al.*, 2008).

Es importante señalar que todos los temas mencionados están estrechamente relacionados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ods), ya que es necesario que los efectos antagonistas hacia los ecosistemas ejercidos por la actividad antropogénica se reduzcan, implementando economías circulares y reduciendo el consumo irresponsable (Arduino y Zalewski, 2021). En más detalle y conectando los objetivos relacionados con el fortalecimiento para las cuencas con la aplicación de planes estratégicos ecohidrológicos, Tundisi y Tundisi (2016) proponen:

Fortalecimiento de las relaciones institucionales en los diferentes niveles: federal, estatal, municipal, comités de cuenca y organismos.

Implementación de instrumentos institucionales para la participación pública en la gestión integrada de cuencas hidrográficas.

Desarrollo de instrumentos y herramientas técnicas requeridas para bases de datos y monitoreo de parámetros hidráulicos, hidrológicos y de calidad del agua.

Movilización social y educación ambiental teniendo en cuenta las características regionales y los valores históricos.

Rehabilitación ambiental de la cuenca, como tratamiento de aguas residuales y reforestación de cuencas con especies nativas.

Promoción de los usos múltiples del agua y su uso racional.

Conservación del agua, el suelo y la biodiversidad.

Por último, conviene subrayar que, como meta, aún falta generar más información cuantitativa sobre las necesidades de caudal ecológico de las diferentes especies que habitan en los ecosistemas. Además, se debe poner mayor atención en los costos socioeconómicos causados por la desaparición y degradación de los hábitats (Shrivastava, 2006).

Ecohidrología y gestión hídrica

Hablar de la gestión de los recursos hídricos involucra tareas de gestión entre múltiples organismos y agencias gubernamentales, no gubernamentales y la ciudadanía. Estas tareas



AUNQUE LA CÁTEDRA
UNESCO-UDLAP NO SE
ENFOCA DIRECTAMENTE
EN LA ECOHIDROLOGÍA,
SE REALIZAN
INVESTIGACIONES
PERTINENTES A ESTA
CIENCIA A TRAVÉS
DEL DOCTORADO EN
CIENCIAS DEL AGUA.

Tabla 1. Cátedras UNESCO sobre ecohidrología.

| Nombre de la cátedra | Año de establecimiento | País | Institución sede |
|--|------------------------|--------------------------|--|
| Cátedra UNESCO Interdisciplinaria en Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos | 1998 | Marruecos | Escuela Hassania de Obras Públicas |
| Cátedra UNESCO en Gestión del Agua | 2008 | República Centroafricana | Universidad de Bangui |
| Cátedra UNESCO de Gestión de Recursos Hídricos y Ecohidrología | 2010 | Rusia | Instituto del Agua de la Academia de Ciencias de Rusia |
| Cátedra UNESCO de Ingeniería Ambiental | 2010 | Chile y España | Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y Universidad de Cantabria |
| Cátedra UNESCO en Ecohidrología e Hidroinformática | 2011 | China | Universidad Capital Normal |
| Cátedra UNESCO de Agua para el Desarrollo Ecológicamente Sostenible | 2012 | Serbia | Universidad de Belgrado |
| Cátedra UNESCO sobre los Sistemas de Conocimiento para una Gestión Integrada de Recursos Hídricos | 2014 | Pakistán | Instituto COMSATS de Tecnología de Información |
| Cátedra UNESCO de Teoría y Tecnología de la Seguridad Ambiental en el Control de los Recursos Hídricos | 2015 | Rusia | Universidad Estatal de Arquitectura e Ingeniería Civil de Novosibirsk |
| Cátedra UNESCO de Hidropolítica | 2015 | Suiza | Universidad de Ginebra |
| Cátedra UNESCO en Tecnología y Gestión Sostenible del Agua | 2016 | Curazao | Universidad de Curazao |
| Cátedra UNESCO de Ecohidrología: Agua para Ecosistemas y Sociedades | 2016 | Portugal | Universidad de Algarve |
| Cátedra UNESCO en Recursos Hídricos, Planeamiento e Ingeniería Ambiental | 2016 | Etiopía | Instituto Etíope de Tecnología, Universidad de Mekelle |
| Cátedra UNESCO de Ecohidrología y Ecología Aplicada | 2019 | Polonia | Universidad de Lodz |
| Cátedra UNESCO de Ecohidrología y Gestión de Aguas Transfronterizas | 2019 | Tanzania | Universidad de Agricultura de Sokoine |

Fuente: elaboración propia con información de la UNESCO (2015a, 2015b, 2021).

LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS INVOLUCRA TAREAS DE GESTIÓN ENTRE MÚLTIPLES ORGANISMOS Y AGENCIAS GUBERNAMENTALES, NO GUBERNAMENTALES Y LA CIUDADANÍA.

regularmente deben ser consistentes con las metas de desarrollo de las cuencas y significan mantener la integridad de los sistemas naturales y restaurar los ya dañados por la acción del hombre (El-Sadek *et al.*, 2008).

Para que la ecohidrología sea eficiente como herramienta global para el manejo y gestión sostenible de recursos hídricos en cuencas, es necesario que se involucren disciplinas de las ciencias sociales y la educación (Harper *et al.*, 2008). Con esto será mucho más eficaz promover las soluciones con recursos y acercamientos claros en respuesta a las situaciones locales, regionales o nacionales. En esta línea, Tundisi y Tundisi (2016) también señalan que, para adaptarse a los cambios globales, los servicios ecosistémicos y los procesos ecohidrológicos deben abordarse desde un estudio transdisciplinario que integre ingeniería civil, ingeniería ecológica, biotecnología y sociología, por mencionar algunas disciplinas.

Implementar medidas para mejorar la calidad del agua de sitios turísticos contribuye a un incremento de entrada de capital a las regiones (Zalewski y Robarts, 2003). Entonces, los ecosistemas pueden utilizarse como instrumentos para el manejo de los recursos. La idea es no sólo aprovechar la mejora de la calidad del agua y los ecosistemas, sino utilizar esas oportunidades para crear ofertas laborales, recuperar recursos energéticos y, por medio de la sustentabilidad, potenciar la economía (Zalewski y Robarts, 2003). Aumentar el compromiso de la ciudadanía en los proyectos de desarrollo de la gestión de la calidad del agua en una región es crucial, por lo que es necesario informar a los habitantes que, al ser un elemento clave de la solución, están cuidando su sustento de vida (El-Sadek *et al.*, 2008).

En la ecohidrología, estas medidas se representan en los llamados sitios de demostración, los cuales deben cumplir con los tres objetivos mostrados en la figura 2. Estos objetivos incluyen identificar los lugares donde se necesita introducir soluciones ecohidrológicas, con costos económicos y sociales rentables, pero contribuyendo a la gestión del agua y los ecosistemas. Además, se debe vincular a la población proporcionándole los medios para la implementación de las tecnologías, con todo esto se ayu-

Figura 2. Objetivos para la construcción de sitios de demostración ecohidrológica (SDS, por sus siglas en inglés).



Fuente: elaboración propia con información de la UNESCO (2006) y Sutapa *et al* (2021).

da al manejo integral de la gestión hídrica de la cuenca (Sutapa *et al.*, 2021). Por ello, los sitios de demostración ecohidrológica pueden capturar la atención de los involucrados en el impacto ambiental e informarles acerca del rol que pueden jugar en su restauración.

Finalmente, lo que la gestión integrada del agua busca es usar la relación dual entre la biota y la parte hidrológica para orientar el desarrollo de políticas públicas hacia una mejor conservación de los ecosistemas en las cuencas (Harper *et al.*, 2016). Por ello, es importante integrar los modelos ecohidrológicos como un apoyo a las labores de la gestión de los recursos hídricos. Incluso podríamos llamarla una gestión ecohidrológica que equilibre las necesidades sociales y económicas del lugar, pero con una visión orientada hacia la conservación y manejo de los recursos naturales y el agua.

◆ CONCLUSIONES

En general, la gestión hídrica debe confiar en las soluciones encontradas por la ecohidrología, debido a que es imprescindible pensar en los ecosistemas acuáticos y terrestres, con sus implicaciones socioculturales y la manera en la que éstas los afectan. Por este motivo, se requiere dar una mayor difusión a esta ciencia, para que crezca el interés sobre su aplicación y se expanda su conocimiento.

Otro punto importante es permitir a la sociedad involucrarse en los proyectos. Al ser éstos una fuente de trabajo, la gente aprecia que sus ideas y acciones se vean representadas en las cosas que aprecian, por esta razón, las valoran más, ya que están haciendo algo por su comunidad. Así, también surge la obligación de comprender las características de cada comunidad para poder dar soluciones e implementar medidas que se ajusten a cada caso. Por consiguiente, los sitios de demostración de ecohidrología de la UNESCO resaltan como ejemplo. En el caso de México, sería de gran importancia lograr que se apruebe alguno, de ahí la necesidad de revisar los sitios y las técnicas utilizadas por otros países, con áreas de oportunidad y aplicabilidad en México. Adicionalmente, estas técnicas no deben estar en conflicto con otras ya establecidas en el área, por el contrario, podría haber una sinergia entre ellas, ya que los objetivos que persiguen son los mismos. Asimismo, aplicar la gestión



● María de los Ángeles

Areli Piña Ramírez

Candidata a doctora en Ciencias del Agua por la Universidad de las Américas Puebla. Maestra en Ciencias por la Universidad de Corea. Ingeniera civil por la UDLAP. Miembro de la Cátedra UNESCO en Riesgos Hidrometeorológicos. Su investigación se enfoca en temas referentes a la ecohidrología.

maria.pinars@udlap.mx



● Carlos Patiño Gómez

Es ingeniero civil de profesión y maestro en Ciencias en Hidráulica, egresado del Instituto Politécnico Nacional. Tiene el título de doctor en Ingeniería Civil y un posdoctorado con especialidad en Recursos Hídricos y Medio Ambiente por parte de la Universidad de Texas en Austin, EE. UU. Miembro del SNI-nivel 1. Actualmente es profesor de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de las Américas Puebla, director de la Cátedra UNESCO-UDLAP en Riesgos Hidrometeorológicos y miembro del Consejo Técnico de Cambio Climático del estado de Puebla.

carlos.paterno@udlap.mx

ecohidrológica en más proyectos de restauración en México traería muchos beneficios.

Sería relevante mostrar las soluciones ingenieriles en sitios de interés ecoturístico, exhibiendo las técnicas con propósitos de diseminación de la ciencia, para que la población se dé cuenta de que es posible obtener beneficios de la naturaleza, pero pensando en generar las mínimas afectaciones.

No es posible seguir con viejas usanzas que no han funcionado ni lo harán. Hay que romper paradigmas y costumbres, ubicándose en la nueva realidad: el agua ya no es un recurso ilimitado para el uso y consumo humano. En este sentido, la gobernanza no se relaciona ahora únicamente con el ser humano, los ecosistemas necesitan también de esta rama y de que se otorguen derechos a la flora y la fauna.

Por último, y como reflexión para el lector, sería bueno preguntarse si día a día nuestros actos van direccionados hacia la desestabilización ecosistémica. Si es así, ¿cómo podemos balanciar la dinámica de vida que llevamos y realizar acciones con conciencia hacia la naturaleza que nos rodea? Es momento de tomar la responsabilidad y propiciar un cambio de mentalidad hacia una existencia que sea parte de la conservación y no de la destrucción de la madre tierra.

 REFERENCIAS

- Arduino, G. (2015). *Ecohydrology: engineering harmony for a sustainable world*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000368495>
- Arduino, G. y Zalewski, M. (2021). Ecohydrology for the sustainable future of the biosphere. *Ecohydrology & Hydrobiology*. DOI: 21. 10.1016/j.ecohyd.2021.09.001.
- EcoHyd. (s. f.). *Plataforma de investigación en ecohidrología y ecohidráulica*. Consultado el 27 de julio de 2022 de <https://ecohyd.com/>
- El-Sadek, A., El Kahloun, M. y Meire, P. (2008). Ecohydrology for integrated water resources management in the Nile basin. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 8(2-4), 237-244. <https://doi.org/10.2478/v10104-009-0018-8>
- Harper, D., Pacini, N. y Zalewski, M. (2016). Ecohydrology is a fundamental component of integrated water management. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 16. 10.1016/j.ecohyd.2016.09.007.
- Harper, D., Zalewski, M. y Pacini, N. (2008). *Ecohydrology: Processes, models and case studies an approach to the sustainable management of water resources*, pp. 1-391.
- Martínez Valdés, Y. y Villalejo García, V. M. (2019). Ecohidrología-ecohidráulica: claves para la gestión integrada de los recursos hídricos. *Inginería Hidráulica y Ambiental*, 40(2), 95-109. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000200095
- Shrivastava, G. (2006). Ecohydrology and water resources management: a pilot study in Trinidad. *Hydrological Sciences Journal*, 51(6), 1163-1176. <https://doi.org/10.1623/hysj.51.6.1163>
- Sutapa, I. D. A., Apip, Fakhrudin, M. y Yogaswara, H. (2021). Implementation of ecohydrology to support sustainable water resources management in tropical region, Indonesia. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 21(3), 501-515. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.08.010>
- Tundisi, J. G. y Tundisi, T. M. (2016). Integrating ecohydrology, water management, and watershed economy: case studies from Brazil. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 16(2), 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2016.03.006>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2006). *Demonstration projects on ecohydrology: integrative science to solve issues surrounding water, environment and people*. Consultado el 30 de mayo de 2023 de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000147490>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2015a, 20 de enero). *Water-related UNESCO Chairs*. Consultado el 24 de mayo de 2023 de <https://en.unesco.org/themes/water-security/chairs?language=en>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2015b, 9 de diciembre). *Cátedras de la UNESCO relacionadas con*

el agua. Consultado el 24 de mayo de 2023 de <https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/catedras>

- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2015c, 10 de diciembre). *PHI-VIII: Garantizar el suministro de agua*. Consultado el 24 de mayo de 2023 de <https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/PHI-VIII-garantizar-suministro-agua#:~:text=El%20PHI%20promueve%20un%20enfoque>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2017). *IHP-VIII thematic Area 5: ecohydrology, engineering harmony for a sustainable world; activities and outcomes 2016-2017*. Consultado el 30 de mayo de 2023 de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000260086>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2018). *Ecohidrología, una ciencia integral desde escala molecular hasta escala de cuencas: evolución histórica, avances y actividades de implementación*. Programa hidrológico Internacional. Consultado el 30 de mayo de 2023 de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265736>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2021). *Water-related UNESCO Chairs*. Consultado el 30 de mayo de 2023 de <https://www.unesco.org/en/ihp/chairs>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2022, 27 de octubre). *What you need to know about the UNESCO Chairs and UNITWIN Networks*. Consultado el 30 de mayo de 2023 de <https://www.unesco.org/en/articles/what-you-need-know-about-unesco-chairs-and-unitwin-networks>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2023a, 12 de mayo). *UNESCO Chairs and UNITWIN Networks*. Consultado el 24 de mayo de 2023 de https://en.unesco.org/sites/default/files/list_of_unesco_chairs_and_unitwin_networks_12_may_2023.pdf
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2023b). *IHP-IX: Strategic Plan of the Intergovernmental Hydrological Programme: Science for a Water Secure World in a Changing Environment, ninth phase 2022-2029*. UNESCO Digital Library. Consultado el 24 de mayo de 2023 de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381318>
- Wagner, I., Jan, B., Pypaert, P., Santiago, F., V. y Zalewski, M. (2004). Environment and economy - Dual benefit of ecohydrology and phytotechnology in water resources management: Pilica River Demonstration Project under the auspices of UNESCO and UNEP. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 4, 345-352.
- Wolanski, E., Boorman, L., Chicharo, L., Langlois-Saliou, E., Lara, R., Plater, A. J., Uncles, R. J. y Zalewski, M. (2004). Ecohydrology as a new tool for sustainable management of estuaries and coastal waters. *Wetlands Ecology and Management*, 12(4), 235-276. <https://doi.org/10.1007/s11273-005-4752>
- Zalewski, M. y Robarts, R. (2003). Ecohydrology: a new paradigm for integrated water resources management. *SILnews*, 40, 1-5.

- Una estimación de la exposición a los antimicrobianos triclosán y triclocarbán a través de los hábitos diarios

An estimation of the
exposure to antimicrobials

14

**TRICLOSAN
AND
TRICLOCARBAN
THROUGH DAILY HABITS**

Por:  **Regina Mijares Fajardo · David Eduardo Guevara Polo**



Mijares Fajardo, R. & Guevara Polo, D. E. (2023) An estimation of the exposure to antimicrobials triclosan and triclocarbon through daily habits. *Entorno UDLAP*, 20(1).
Recibido: 13 de febrero de 2023. ✓ Aceptado: 6 de junio de 2023.



◆ ABSTRACT

Triclosan (TCS) and triclocarban (TCC) are widely used bactericides that can be found in several daily use products. However, they have been associated with numerous environmental and public health issues. Epidemiological studies have reported that humans are greatly exposed to these compounds. Therefore, the objective of this work is to compute the risk exposure given the reference dose of both contaminants, considering different daily habits. Additionally, the average amount of TCS and TCC in human blood is computed, and the processes of bioaccumulation, biomagnification, and bioaugmentation are discussed. Results show that the overall exposure risk of TCS and TCC is 0.033, which is equivalent to a probability of 1 in 30 of developing adverse effects. This is far beyond the acceptable risk of a chemical compound. Also, a gap in the literature was found because both compounds may play a role in cancer development, and hence, a risk assessment approach is necessary for these compounds.

◆ KEY WORDS:

Triclosan · Triclocarban · Risk exposure · Dose

◆ RESUMEN

El triclosán (TCS) y el triclocarbán (TCC) son bactericidas de uso generalizado que se pueden en-

contrar en varios productos de uso diario. Sin embargo, éstos se han asociado con numerosos problemas ambientales y de salud pública. Estudios epidemiológicos han reportado que las personas hemos estado ampliamente expuestas a tales compuestos. Por esta razón, el objetivo de este trabajo es calcular el riesgo de exposición dada la dosis de referencia de ambos contaminantes, considerando diferentes hábitos cotidianos. Tras computar la cantidad promedio de TCS y TCC en sangre humana, a continuación se comenta sobre los procesos de bioacumulación, biomagnificación y bioaumentación con el fin de resaltar los daños potenciales que estos compuestos pueden implicar. Los resultados muestran que el riesgo de exposición general de TCS y TCC es 0.033, lo que equivale a una probabilidad de uno sobre treinta de desarrollar efectos adversos. Esto va mucho más allá del riesgo aceptable en un compuesto químico. Adicionalmente, se encontró que existe una brecha en la literatura debido a que ambos compuestos podrían desempeñar un papel en el desarrollo del cáncer y, por consecuencia, se requiere un enfoque de evaluación de riesgo para estos compuestos.

◆ PALABRAS CLAVE

Triclosán · Triclocarbán · Riesgo por exposición · Dosis

SOAP

16

Mayo - Agosto 2023

 
**NUMEROUS
EPIDEMIOLOGICAL STUDIES
HAVE DOCUMENTED
THE DETECTION OF TCS
IN URINE, BLOOD, AND
BREAST MILK IN DIFFERENT
REGIONS OF THE WORLD,
SUGGESTING THAT THE
GENERAL POPULATION IS
EXPOSED TO TCS (YUEH &
TUKEY, 2016).**

INTRODUCTION

The polychlorinated aromatic antimicrobials triclosan (TCS) and triclocarban (TCC) are in widespread use for killing microorganisms indiscriminately, rapidly, and through non-specific action. As a result, they can be found in various products such as soaps, detergents, clothing, carpets, paints, plastics, toys, school supplies, and pacifiers (Halden, 2014). In September 2016, the U.S. Food and Drug Administration (FDA) banned nineteen antimicrobial ingredients, including TCS and TCC (FDA, 2016).

TCS has been associated with endocrine disruption effects (Fang *et al.*, 2010) and has been shown to be a slow-binding inhibitor of human and goose type I fatty acid synthase, as well as a partial inhibitor enoyl-reductase activity type I fatty acid synthase (Liu *et al.*, 2002). Additionally, it has been reported to promote bacterial resistance (Chen *et al.*, 2018).

Numerous epidemiological studies have documented the detection of TCS in urine, blood, and breast milk in different regions of the world, suggesting that the general population is exposed to TCS (Yueh & Tukey, 2016). There is strong evidence of the toxicity of TCS and TCC, as well as the exposure through ingestion and dermal contact in humans. Therefore, it is relevant to study the health risks associated with these chemical compounds. The objective of this work is to compute the risk of developing noncarcinogenic effects in the human body due to exposure to TCS and TCC in daily habits. Carcinogenic effects are not evaluated since TCS and TCC are not reported in the Integrated Risk Information System (IRIS) of the United States Environmental Protection Agency (USEPA), and neither their cancer potentials have been assessed by the International Agency for Research on Cancer or the U.S. National Toxicology Program 14th report on carcinogens (National Center for Biotechnology Information, 2019a, 2019b). Therefore, no slope factors (SF) are available to calculate the carcinogenic risk of these chemicals. However, both TCS and TCC may play a role in cancer development (Yang *et al.*, 2020; Rehman *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2023). Considering these preliminary findings, an approach for cancer risk assessment may be necessary in the future.

METHODOLOGY

Essentially, the safety level of intake can be computed using criteria from the United States Environmental Protection Agency (USEPA) or the World Health Organization (WHO). The USEPA criteria, described by the reference dose (RfD), and the WHO criteria, described by the acceptable daily intake (ADI), can be used for this purpose. In this article, the criteria and equation proposed by the USEPA (1989) are applied. The overall risk of developing adverse health effects from exposure to TCS and TCC is calculated by considering three products that are relevant for consumers in the United States: carrots, tomatoes (which together account for 42 % of vegetable consumption (USDA, 2014)), and meat (including red meat and poultry). The average consumption rate of these products is derived from the population of the United States as a reference. These consumption rates are then multiplied by the TCS and TCC concentrations in each product to obtain the daily intake. Subsequently, the daily intake is divided by the body weight to obtain the daily dose. Here, a 70-kg person is used as a reference.

Similarly, the consumption of drinking water containing TCS and TCC is considered, as well as the average inhalation of both chemicals. To calculate the inhalation intake, the average amount of inhaled air is multiplied by the concentration of particles of breathable size (PM10) in the air. Once the average amount of inhaled dust is determined, it is multiplied by the average TCS and TCC concentration in dust to obtain the intake. The intake is then divided by the body weight to calculate the dose.

Additionally, the dermal contact and sorption of TCS and TCC are evaluated by considering a daily 15-minute shower using soaps that contain these substances. The absorbed dose through dermal contact with water is calculated using Equation 1 (USEPA, 1989):

EQ.(1)

$$AD = \frac{CW \cdot SA \cdot PC \cdot ET \cdot EF \cdot ED \cdot 1 \times 10^{-3}}{BW \cdot AT}$$

One
out of every
thirty
individuals may
experience
adverse health
effects if the
included daily
exposure habits
are considered.

Some of the
potential health
effects include
endocrine
disruption, dermal
pathologies, and
cross-resistance
to antibiotics.

Where AD is the absorbed dose in mg/kg-day. CW is the chemical concentration in water, measured in mg/L. SA is the skin surface area available for contact in cm^2 . PC is the chemical-specific dermal permeability constant in cm/h . ET is the exposure time in h/day. EF is the exposure frequency in days/year. ED is the exposure duration in years. BW is the body weight in kg and AT is the averaging time in days. In this way, the result yields in mg/(kg-day).

Once the doses of Tcs and Tcc from food consumption, water consumption, inhalation, and dermal absorption are calculated, the risk is determined by dividing these doses by their respective reference dose (RfD). The human reference dose, as defined by the USEPA (1993), is an estimate of "a daily exposure to the human population (including sensitive subgroups) that is likely to be without an appreciable risk of deleterious effects during a lifetime". The reported RfD for Tcs is 0.30 mg/kg-day (USEPA, 1998), and the reported RfD for Tcc is 0.25 mg/kg-day (Snyder & O'Connor, 2013). In both cases, the RfD is calculated as the No Observed Adverse Effect Level (NOAEL) divided by the product of uncertainty factors and modifying factors, which encompass the transfer of toxicological data from animals to humans, sensitivity, and other sources of uncertainty (Davis & Masten, 2014).

Finally, to compute the amount of Tcs and Tcc in the blood, the total blood volume is estimated using Equation 2 (Hoffman *et al.*, 2018):

$$\text{EQ.(2)} \rightarrow V = 0.3669H^3 + 0.03219W + 0.6041$$

Where V is the total blood volume for males in litres, H is the height in meters, and W is the weight in kilograms. Afterwards, the volume is multiplied by reported Tcs and Tcc concentrations in plasma after exposure to an average dose. In this study, the reference subject is an adult whose height and weight are 1.70 meters and 70 kilograms, respectively.

RESULTS

The average daily consumption of tap and bottled drinking water for men and women between the ages of 20 and 39 is reported to be 4.9 cups (1.16 L) (Sebastian *et al.*, 2011). Additionally, the maximum concentration of Tcs reported in U.S. drinking water is 6.4 ng/L (Benotti *et al.*, 2009). However, it has also been reported that the maximum concentration of Tcs in drinking water could reach as high as 130 ng/L, and the maximum concentration of Tcc can be up to 102 ng/L (Shen *et al.*, 2012). It is important to note that the concentration of Tcs and Tcc in drinking water can vary depending on several variables; however, for this study, a conservative value will be used to avoid underestimating the risk.

The per capita consumption of carrots in the United States was reported to be 11.87 pounds in 2004 (Lucier & Lin, 2007). Moreover, the accumulation of Tcs and Tcc in the edible tissues of carrots, such as the skin and core, can reach up to 900 ng/g and 1100 ng/g, respectively (Fu *et al.*, 2016).

The consumption of tomatoes in the United States is second only to potatoes (Reimers & Keast, 2016), making it relevant to consider them in this study. The accumulation of



THE SAFETY LEVEL OF INTAKE CAN BE COMPUTED USING CRITERIA FROM THE UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) OR THE WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). THE USEPA CRITERIA, DESCRIBED BY THE REFERENCE DOSE (RFD), AND THE WHO CRITERIA, DESCRIBED BY THE ACCEPTABLE DAILY INTAKE (ADI).

TCC in the shoot of tomatoes is reported to be 0.53 mg/kg, while the accumulation of TCS is 1.75 mg/kg (Mathews *et al.*, 2014). The average intake of tomatoes in the U.S. is 2.47 cups per day (Reimers & Keast, 2016).

The per capita consumption of red meat and poultry in the United States for 2018 was reported to be 219.5 pounds (United States Department of Agriculture, 2019). Interestingly, when searching for triclosan concentrations, the results yield publications related to food engineering, where TCS is used as a bactericide in plastic packaging. The predicted concentration of TCS in beef, pork, and chicken is 18.65×10^{-3} mg/kg, while the concentration of TCC is 0.76 ng/g (Verslycke *et al.*, 2016; Kimura, 2019).

On the other hand, the recommended long-term exposure value for air inhalation for adults between 21 and 61 years old is $21.3 \text{ m}^3/\text{day}$ (Environmental Protection Agency, 2011). The average concentration of PM10 in the air in the United States in 2018 was $63.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Environmental Protection Agency, 2019). The mean concentration of TCS in indoor dust environments is reported to be 484 ng/g (Geens *et al.*, 2009), while the mean concentration of TCC in dust is 270 ng/g (Chen *et al.*, 2018).

Moreover, to evaluate the absorbed dose through dermal contact Equation 1 is used. Here, the chemical concentration in water c_w is taken as 130×10^{-6} mg/L for TCS and 102×10^{-6} mg/L for TCC as reported by Shen *et al.* (2012). The skin surface area available for contact SA is considered to be 19400 cm^2 (Froom, 2008). The chemical-specific dermal permeability constant P_C is 0.0692 cm/h for TCS (Verslycke *et al.*, 2016) and for TCC, the dermal permeability constant derived by the Scientific Committee on Consumer Products (SCCP, 2004) is within a range between 1.48×10^{-8} and $7.08 \times 10^{-8} \text{ cm/h}$. In this work, a conservative value was used to prevent an underestimation of the absorbed dose. The exposure time ET is 0.25 h/day , considering a 15-minute shower on average. The exposure frequency EF is 365 days/year considering a daily shower. The exposure duration ED is $1/365 = 2.74 \times 10^{-3}$ in years, considering a duration of 1 day. The body weight BW is taken as 70 kg as a reference and the average time AT is 1 day.

In this way, the absorbed dose through dermal contact yields around 6.23×10^{-7} mg/kg-day for triclosan and 5.01×10^{-13} mg/kg-day for triclocarban.

Dose of TCS and TCC absorbed through dermal contact (using equation 1)

$$AD_{TCS} = \frac{130 \times 10^{-6} \cdot 19400 \cdot 0.0692 \cdot 0.25 \cdot 365 \cdot 2.74 \times 10^{-3} \cdot 1 \times 10^{-3}}{70 \cdot 1}$$

$$= 6.23 \times 10^{-7} \frac{\text{mg}}{\text{kg} - \text{day}}$$

$$AD_{TCC} = \frac{102 \times 10^{-6} \cdot 19400 \cdot 7.08 \times 10^{-8} \cdot 0.25 \cdot 365 \cdot 2.74 \times 10^{-3} \cdot 1 \times 10^{-3}}{70 \cdot 1}$$

$$= 5.01 \times 10^{-13} \frac{\text{mg}}{\text{kg} - \text{day}}$$

The analysis of TCS and TCC ingestion and inhalation is summarized in Tables 1 and 2. It can be observed that the risk of TCS exposure for a 70 kg adult person is 0.02377, while the risk of TCC exposure is 0.00927. Taking these data into account, the total risk for both compounds is calculated to be 0.033, which is equivalent to a probability of 1 in 30. It is important to note that the majority of TCS and TCC intake comes from food consumption rather than dermal exposure or drinking water ingestion.

Given the significant difference in the orders of magnitude of the risk estimates presented in Tables 1 and 2, it is interesting to visualize these results graphically. Figure 1 depicts the risk estimated from TCS exposure, while Figure 2 presents the risk estimated from TCC exposure. The y-axis in both plots is reported on a logarithmic scale, and all risk values are smaller than one. Therefore, the shorter the bar in Figures 1 and 2, the higher the risk for TCS and TCC exposure, respectively. Figure 1 illustrates that the highest risk from TCS exposure is associated with tomato consumption, followed by carrot consumption with a difference of more than one order of magnitude. Similarly, Figure 2 demonstrates that for TCC, the highest risk is linked to tomatoes, followed by carrots. By comparing both plots, it becomes evident that only meat and dermal contact display a change in the order of magnitude, and that the overall risk from TCS is higher than that from TCC.



**IT IS IMPORTANT TO NOTE
THAT THE MAJORITY OF TCS
AND TCC INTAKE COMES
FROM FOOD CONSUMPTION
RATHER THAN DERMAL
EXPOSURE OR DRINKING
WATER INGESTION.**

Table 1. TCS daily intake and risk.

| Consumption | | TCS Concentration | TCS Intake (mg/day) | TCS Dose [mg/(kg-day)] | Risk (RfD = 0.3 mg/(kg-day)) |
|----------------|-----------------|-------------------|---------------------|------------------------|------------------------------|
| Drinking water | 1.16 L/day | 130.00 ng/L | 1.51e-04 | 2.15e-06 | 7.18e-06 |
| Carrots | 11.87 lb/year | 14.78 g/day | 900.00 ng/g | 1.33e-02 | 1.90e-04 |
| Tomatoes | 2.47 cups/day | 0.27 kg/day | 1.75 mg/kg | 4.81e-01 | 6.87e-03 |
| Meat | 219.50 lb/year | 0.27 kg/day | 1.87E-02 mg/kg | 5.10e-03 | 7.28e-05 |
| Dust | 63.90 µg/m³ air | 1.36 mg/day | 484.00 ng/g | 6.59e-07 | 9.41e-09 |
| Air | 21.30 m³/day | 21.30 m³/day | Dermal contact | | 2.08e-06 |
| | | | | 7.13e-03 | 2.38e-02 |

21

Table 2. TCC daily intake and risk.

| Consumption | | TCC Concentration | TCC Intake (mg/day) | TCC Dose [mg/(kg-day)] | Risk (RfD = 0.25 mg/(kg-day)) |
|----------------|-----------------|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------------------|
| Drinking water | 1.16 L/day | 102.00 ng/L | 1.18e-04 | 1.69e-06 | 6.76e-06 |
| Carrots | 11.87 lb/year | 14.78 g/day | 1100.00 ng/g | 1.63e-02 | 2.32e-04 |
| Tomatoes | 2.47 cups/day | 0.27 kg/day | 0.53 mg/kg | 1.46e-01 | 2.08e-03 |
| Meat | 219.50 lb/year | 0.27 kg/day | 7.60E-04 mg/kg | 2.08e-04 | 2.97e-06 |
| Dust | 63.90 µg/m³ air | 0.00 g/day | 270.00 ng/g | 3.67e-07 | 5.25e-09 |
| Air | 21.30 m³/day | 21.30 m³/day | Dermal contact | | 2.55e-12 |
| | | | | 5.01e-13 | 9.27e-03 |

THE SHORTER THE BAR IN FIGURES 1 AND 2, THE HIGHER THE RISK FOR TCS AND TCC EXPOSURE.

22

Figure 1. Risk from TCS exposure through foods and other routes of exposure.

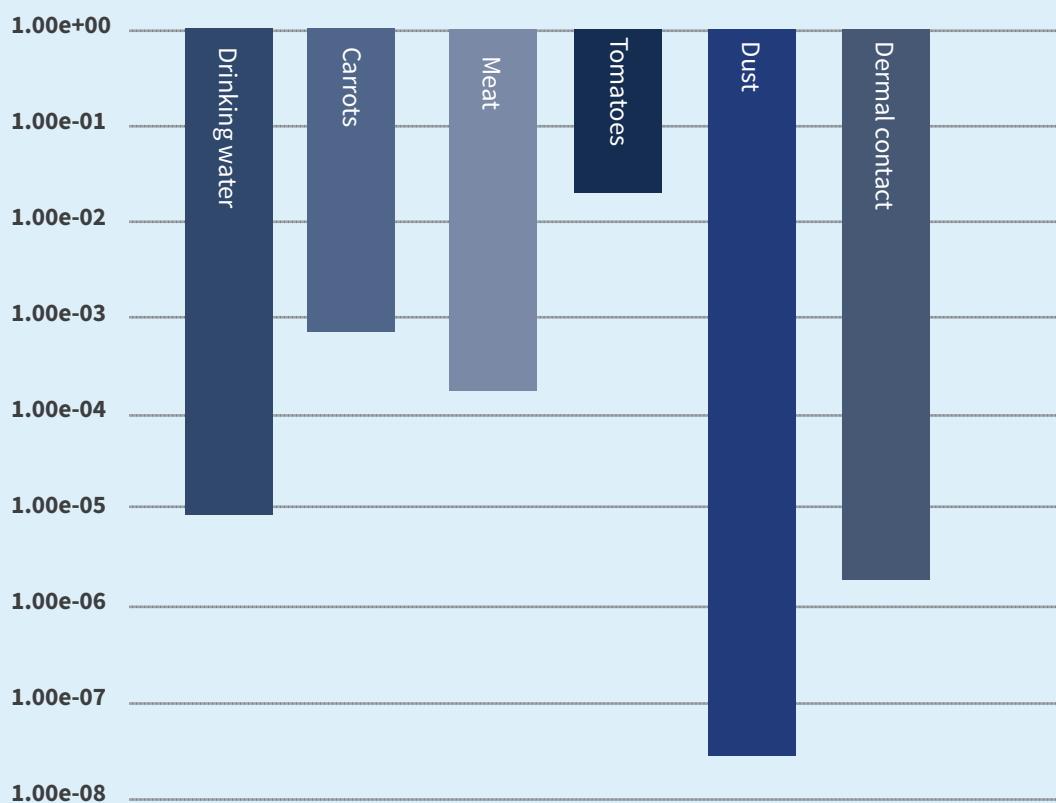
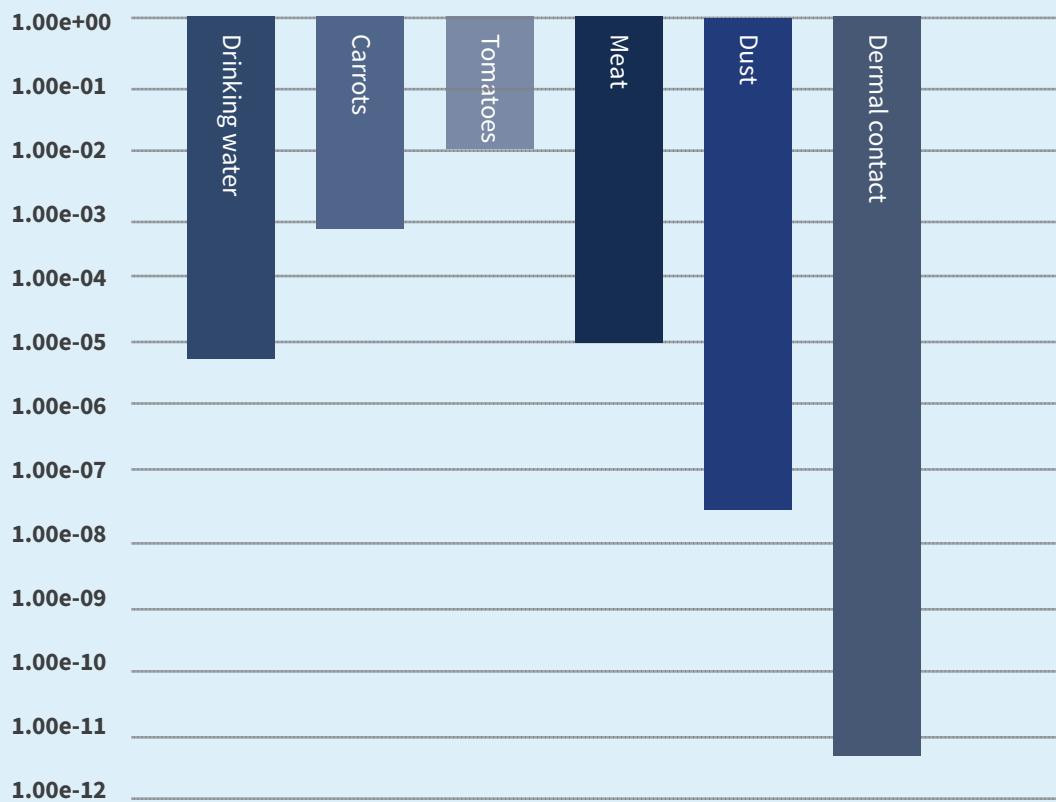


Figure 2. Risk from TCC exposure through foods and other routes of exposure.



THE MASS OF TCS IN THE BLOOD IS ALMOST THREE TIMES HIGHER THAN THAT OF TCC. THIS DIFFERENCE CAN BE ATTRIBUTED TO THE MORE WIDESPREAD USE OF TCS AS A BACTERICIDE.

Moreover, the composition of the risk of both TCS and TCC is described in Figures 3 and 4, although it is important to state that the risk can be extended to include more products and routes of exposure. The TCS risk shown in Figure 3 is composed 96 % by tomatoes, 3 % by carrots and 1 % by meat. Similarly, the TCC risk shown in Figure 4 is mainly composed by tomatoes (90 %) and carrots (10 %). In both cases, there is a small fraction, practically less than 1 %, that is composed by dermal contact, drinking water and dust.

Furthermore, in order to estimate the levels of TCS and TCC in human blood, an average adult with a height of 1.70 meters and a weight of 70 kilograms is used as a reference. Taking these factors into consideration, Equation 2 yields a blood volume of 4.7 liters. The maximum concentration of TCS in plasma after exposure to an average dose ranging from 49 to 67 micrograms per kilogram falls within the range of 170 to 267 micrograms per liter (Sandborgh-Englund *et al.*, 2006). Moreover, Sandborgh-Englund *et al.* (2006) discovered that TCS is rapidly absorbed from the gastrointestinal tract, and the pharmacokinetic profile indicates a rapid elimination pattern.

In addition, a concentration of 285 ± 5 nM was discovered in the blood of a regular user of TCC-containing soap (Schebb *et al.*, 2012). This concentration is equivalent to 89.9 µg/L, which can be calculated using the molecular weight of TCC, which is 315.9 g/mol.

The results of the blood concentrations of TCC and TCS are summarized in Table 3. It is evident that by employing a conservative approach, the amount of TCS in the blood is estimated to be 1255 µg, while the amount of TCC in the blood is 422.53 µg. In other words, the mass of TCS in the blood is almost three times higher than that of TCC. This difference can be attributed to the more widespread use of TCS as a bactericide, as well as the availability of more literature regarding its characterization and concentration in the blood, which enhances the accuracy of these calculations.

Table 3. TCC and TCS concentration in blood.

| Chemical Compound | Concentration in Blood (µg/L) | Blood Volume (L) | Mass in Blood (µg) |
|-------------------|-------------------------------|------------------|--------------------|
| Triclosan | 267 | 4.7 | 1255 |
| Triclocarban | 89.9 | 4.7 | 423 |

Figure 3. Triclosan (TCS) risk composition.

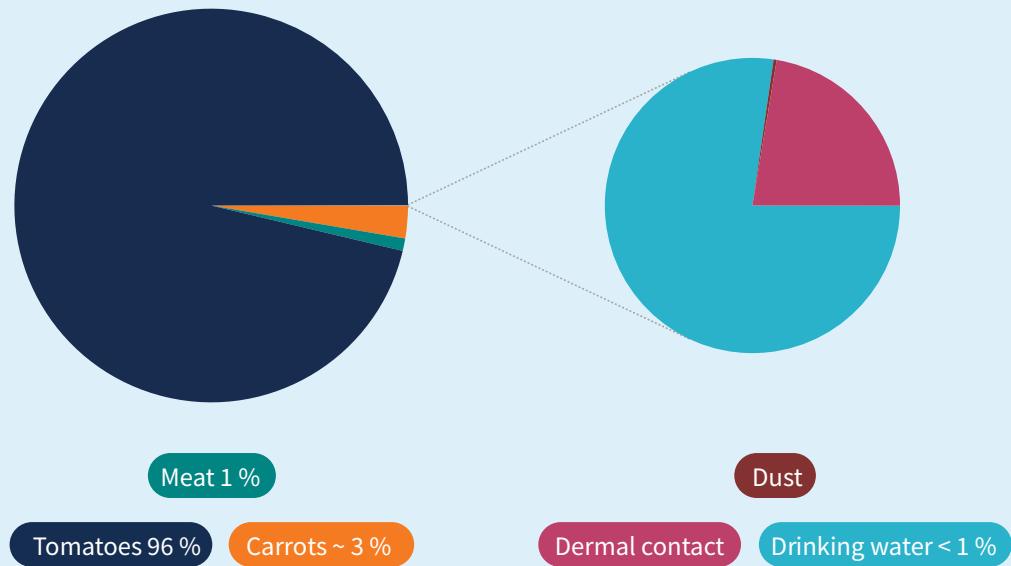
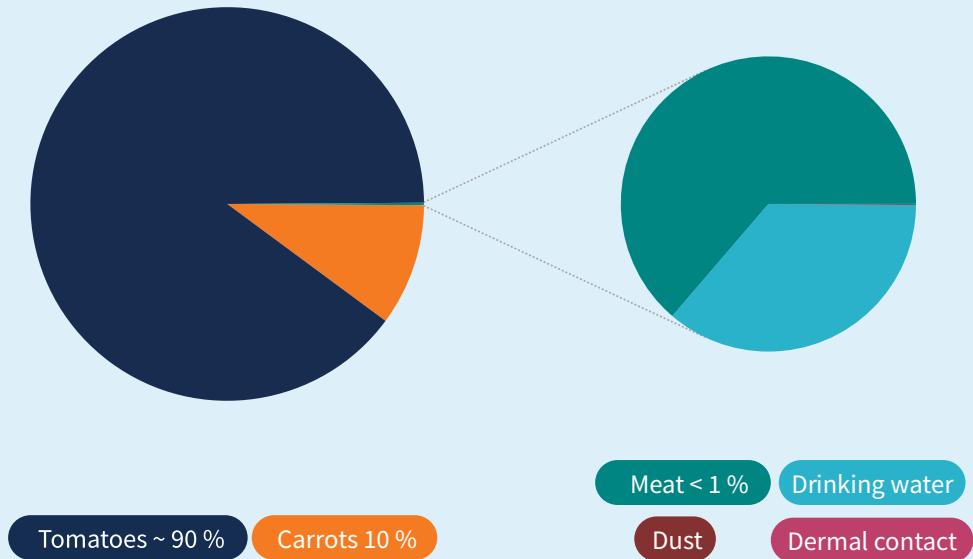
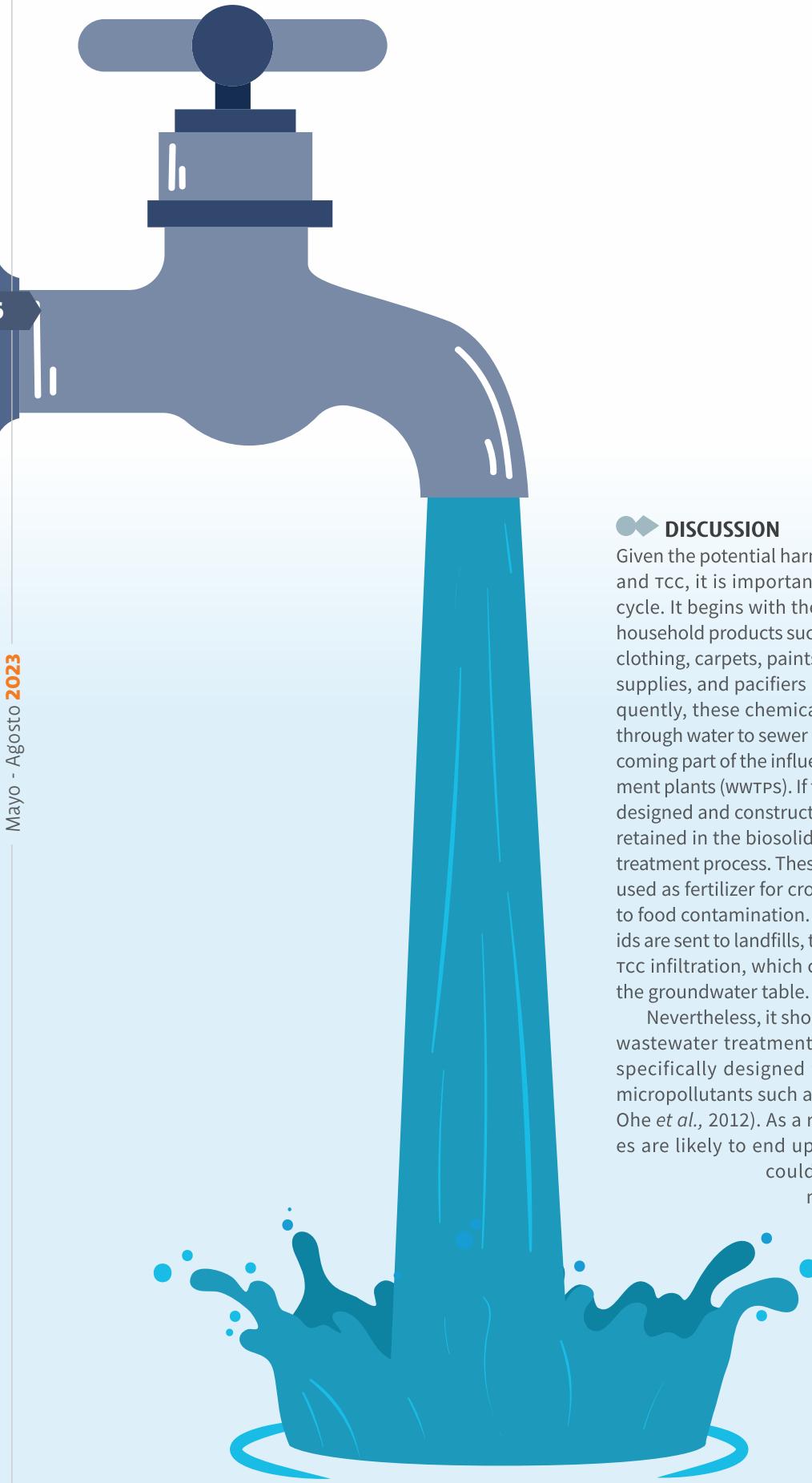


Figure 4. Triclocarban (TCC) risk composition.





DISCUSSION

Given the potential harmful effects of both TCS and TCC, it is important to consider their life cycle. It begins with their presence in various household products such as soaps, detergents, clothing, carpets, paints, plastics, toys, school supplies, and pacifiers (Halden, 2014). Subsequently, these chemicals can be transported through water to sewer systems, ultimately becoming part of the influent in wastewater treatment plants (WWTPs). If the WWTPs are properly designed and constructed, TCS and TCC can be retained in the biosolids produced during the treatment process. These biosolids can then be used as fertilizer for crops, potentially leading to food contamination. Alternatively, if biosolids are sent to landfills, there is a risk of TCS and TCC infiltration, which could eventually reach the groundwater table.

Nevertheless, it should be noted that most wastewater treatment technologies are not specifically designed to effectively remove micropollutants such as TCS and TCC (Von der Ohe et al., 2012). As a result, these substances are likely to end up in surface water and could eventually contaminate groundwater, posing a risk to potential sources of drinking water. Due to its high hydrophobicity, TCS has

TCS AND TCC LIFE CYCLE

1

It begins with their presence in various household products such as soaps, detergents, clothing, carpets, paints, plastics, toys, school supplies, and pacifiers (Halden, 2014).

2

Subsequently, these chemicals can be transported through water to sewer systems, ultimately becoming part of the influent in wastewater treatment plants.

3

TCS and TCC can be retained in the biosolids produced during the treatment process, then can be used as fertilizer for crops, potentially leading to food contamination. If biosolids are sent to landfills, there is a risk of infiltration, which could eventually reach the groundwater table.

4

As a result, these substances are likely to end up in surface water and could eventually contaminate groundwater, posing a risk to potential sources of drinking water.

the ability to accumulate in fatty tissues. For example, it has been found in fish samples. Furthermore, TCS is known to be biodegradable, photo-unstable, and reactive towards chlorine and ozone (Bedoux *et al.*, 2012), which can lead to the depletion of aquatic life in water bodies.

It may seem that TCS and TCC are primarily associated with water pollution due to their common transport medium throughout their life cycle. However, as previously mentioned, TCS can also be incorporated into soil through the application of biosolids (Corrotea *et al.*, 2016). Once in the soil, it can be absorbed by plant roots and subsequently become a pollutant in the food chain. Moreover, studies have also identified the presence of TCC and TCS in indoor air. Considering that individuals in developed countries spend over 90 % of their time indoors (Chen *et al.*, 2018), both TCS and TCC pose air pollution concerns in indoor environments. In summary, TCS and TCC can be considered pollutants in water, soil, and air.

Additionally, it is important to discuss the potential for bioaccumulation of these chemical compounds. Bioaccumulation refers to the increase in the concentration of a chemical over time in living organisms, relative to its concentration in the environment. This occurs when the compound is retained in living tissues at a faster rate than it is metabolized (Davis & Masten, 2014). TCS has been found to potentially bioaccumulate

in plant tissues (Pannu *et al.*, 2013) as well as in the human body, leading to significant health problems (Nandikes *et al.*, 2022).

At the same time, it is important to consider the concept of biomagnification for these compounds. Biomagnification refers to the process by which a chemical accumulates in an organism at higher concentrations than those found in its food. It occurs when a chemical becomes increasingly concentrated as it moves up the food chain (Davis & Masten, 2014). According to Taiwo *et al.* (2022), biomagnification of Tcs and Tcc occurs in the food chain, although the scientific literature provides limited evidence of this phenomenon. Since humans consume Tcs and Tcc from various foods, biomagnification has the potential to result in higher concentrations in human blood compared to concentrations found in plant- and animal-derived foods. This possibility is supported by the occurrence of bioaccumulation.

Consequently, the potential exposure to Tcs and Tcc can be amplified through two mechanisms: bioaccumulation and daily intake, considering their widespread presence in a variety of personal care products. This increased exposure raises significant concerns regarding the potential harm to living tissues and disruption of the endocrine system. Further characterization of the risks associated with bioaccumulation and biomagnification is necessary to fully understand their impacts.

On the other hand, it is crucial to recognize that bioaugmentation presents a potential solution to the pollution issue posed by Tcs and Tcc. Bioaugmentation involves the addition of pre-grown microbial cultures to enhance microbial populations at a site, thereby improving contaminant cleanup efficiency and reducing cleanup time and costs (Speight, 2016). Studies



BIOAUGMENTATION PRESENTS A POTENTIAL SOLUTION TO THE POLLUTION ISSUE POSED BY TCS AND TCC. IT INVOLVES THE ADDITION OF PRE-GROWN MICROBIAL CULTURES TO ENHANCE MICROBIAL POPULATIONS AT A SITE, IMPROVING CONTAMINANT CLEANUP EFFICIENCY AND REDUCING CLEANUP TIME AND COSTS.

have shown that Tcs can be biodegraded using acclimatized aerobic and anaerobic sludge, as well as isolated bacteria in a mineral salt medium (Veetil *et al.*, 2012). Similarly, Tcc can be transformed under anoxic conditions using *Ochrobactrum* bacteria (Yun *et al.*, 2017). Therefore, bioaugmentation is a viable technique for the treatment of these chemical compounds in both wastewater and sludge.

CONCLUSIONS

In this study, an analysis was conducted to assess the risk of developing adverse health effects from exposure to TCS and TCC through daily habits. The risk was evaluated using the reported reference doses (RfDs) for both compounds. The daily doses of TCS and TCC were estimated based on the consumption of contaminated food products such as carrots, tomatoes, and meat, as well as contaminated drinking water. Inhalation rates and dermal exposure were also considered. Consumption rates were obtained from the United States population as a reference, considering the data availability. Additionally, the estimated quantities of these chemicals in human blood were determined.

In addition, certain comments were provided regarding the topics of bioaugmentation, bioaccumulation, and biomagnification, highlighting the potential hazards that TCS and TCC pose in terms of water, soil, and air pollution. The study suggests that bioaugmentation can be a viable alternative for treating TCS and TCC concentrations in wastewater and sludge.

Considering the lack of information regarding the carcinogenic risk of TCS and TCC, and the absence of slope factors (sf) reported in the literature, the assessment of carcinogenic effects was not conducted. However, given the emerging evidence suggesting a potential link between these compounds and cancer development, further investigation of this risk in future studies is necessary. Moreover, for non-carcinogenic effects, the daily intakes could be adjusted to food and water consumption rates in other countries, such as Mexico. Additionally, it is recommended to consider a wider variety of food products in future work.

Overall, the results of this study indicate that the risk of developing adverse health

Regina Mijares Fajardo

Licenciada en Ingeniería Civil por la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP). Actualmente es estudiante del Doctorado en Ciencias del Agua en la misma institución. Es miembro de la Cátedra UNESCO en Riesgos Hidrometeorológicos, donde participa como coordinadora-editora del blog «Agua y riesgos hidrometeorológicos». Su trabajo de investigación está enfocado hacia el estudio de las teleconexiones entre sequías y oscilaciones climáticas.
regina.mijaresfo@udlap.mx



David Eduardo Guevara Polo

Licenciado en Ingeniería Civil por la Escuela de Ingeniería de la UDLAP y candidato a doctor en Ciencias del Agua en la misma institución. Está asociado a la Cátedra UNESCO en Riesgos Hidrometeorológicos, con sede en la UDLAP, y es miembro del Comité del Agua del Colegio de Ingenieros Civiles de México. Actualmente desarrolla su proyecto de investigación doctoral, en donde utiliza el enfoque de dinámica de sistemas para estudiar el efecto de oscilaciones climáticas en acuíferos.
david.guevarapo@udlap.mx

effects from exposure to TCS and TCC is 0.02377 and 0.00927, respectively, with a combined risk of 0.033 when both compounds are considered. This means that approximately one out of every thirty individuals may experience adverse health effects if the included daily exposure habits are considered. Some of the potential health effects include endocrine disruption, dermal pathologies, and cross-resistance to antibiotics. These findings emphasize the significant risk associated with TCS and TCC exposure, which explains why the FDA banned their use in 2016.

◆ REFERENCES

- Bedoux, G., Roig, B., Thomas, O., Dupont, V., & Le Bot, B. 2012. Occurrence and toxicity of antimicrobial triclosan and by-products in the environment. *Environmental Science Pollution Research*, Issue 19, pp. 1044-1065. <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0632-z>
- Benotti, M. J., Trenholm, R. A., Vanderford, B. J., Holady, J. C., Stanford, B. D., & Snyder, S. A. 2009. Pharmaceuticals and endocrine disrupting compounds in U.S. drinking water. *Environmental Science and Technology*, 43(3), pp. 597-603. <https://doi.org/10.1021/es801845a>
- Chen, J., Hartmann, E. M., Kline, J., Van Den Wymelenberg, K., & Halden, R. U. 2018. Assessment of human exposure to triclocarban, triclosan and five parabens in U.S. indoor dust using dispersive solid phase extraction followed by liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Journal of Hazardous Materials*, Issue 360, pp. 623-630. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.08.014>
- Corrotea, Y., Richter, P., Brown, S., Sepúlveda, B., Ascar, L., & Ahumada, I. 2016. Determination of the bioavailable fraction of triclosan in biosolid-treated soils using a predictive method and plant bioassays. *Journal of Soils and Sediments*, Issue 16, pp. 1538-1546. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1348-3>
- Davis, M. L. & Masten, S. J. 2014. *Principles of Environmental Engineering and Science*. 3rd ed. New York: McGraw Hill.
- Environmental Protection Agency. 2011. Chapter 6 - Inhalation rates. In: *Exposure factors handbook: 2011 edition*. s.l.: s.n., pp. 593-32.
- Environmental Protection Agency, 2019. Air trends. [Online] Available at: <https://www.epa.gov/air-trends/particulate-matter-pm10-trends> [Accessed november 26, 2019].
- Fang, J. L., Stingley, R. L., Beland, F. A., Harrouk, W., Lumpkins, D. L., & Howard, P. 2010. Occurrence, efficacy, metabolism and toxicity of triclosan. *Journal of Environmental Science and Health*, Issue 28, pp. 147-171. <https://doi.org/10.1080/10590501.2010.504978>
- FDA (U.S. Food and Drug Administration). 2016. 21 CFR Part 310 Safety and Effectiveness of Consumer Antiseptics. Topical Antimicrobial Drug Products for Over-the-Counter Human Use. Final Rule. Fed Reg81:61106-61130. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27632802/>
- Froom, P. 2008. Determining standards for professional divers diving in benzene polluted waters. *Toxicology and Industrial Health*, 24(8), pp. 525-530. <https://doi.org/10.1177/0748233708098>
- Fu, Q., Wu, X., Ye, Q., Ernst, F., & Gan, J. 2016. Biosolids inhibit bioavailability and plant uptake of triclosan and triclocarban. *Water Research*. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.06.026>
- Geens, T., Roosens, L., Neels, H. M. & Covaci, A. 2009. Assessment of human exposure to Bisphenol-A, Triclosan and Tetrabromobisphenol-A through indoor dust intake in Belgium. *Chemosphere*, 76(6), pp. 755-760. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.05.024>
- Halden, R. U. 2014. On the need and speed of regulating Triclosan and Triclocarban in the United States. *Environmental Science and Technology*, Issue 48, pp. 3603-3611. <https://doi.org/10.1021/es500495p>
- Halden, R. U., Lindeman, A. E., Aiello, A. E., Andrews, D., Arnold, W.A., Fair, P., Fuoco, R. E., Geer, L. A., Johnson, P. I., Lohmann, R., McNeill, K., Sacks, V. P., Schettler, T., Weber, R., Zoeller, R. T. & Blum, A. 2017. The Florence Statement on Triclosan and Triclocarban. *Environmental Health Perspectives*, 125(6), pp. 1189-1197. <https://doi.org/10.1289/EHP1788>
- Hoffman, R., Benz, E. J., Silberstein, L. E., Heslop, H. E., Weitz, J. I., Anastasi, J., Salama, M. E., & Abutalib, S. (2018). *Hematology: Basic Principles and Practice*. Philadelphia: Elsevier.
- Karnjanapiboonwong, A., Chase, D. A., Canas, J. E., Jackson, W. A., Maul, J. D., Morse, A. N., & Anderson, T. A. 2011. Uptake of 17a-ethynodiol and triclosan in pinto bean, *Phaseolus vulgaris*. *Ecotoxicology and environmental safety*, Issue 74, pp. 1336-1342. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.03.013>
- Kimura, Y. 2019. *Determination of profiles of occurrence of parabens, triclocarban and elements in select snack foodstuffs from Norway and other countries* (Master's thesis, NTNU)
- Liu, B., Wang, Y., Fillgrove, K. L., & Anderson, V. E. 2002. Triclosan inhibits enoyl-reductase of type I fatty acid synthase in vitro and is cytotoxic to MCF-7 and SKBr-3 breast cancer cells. *Cancer Chemotherapy and Pharmacology*, 49(3), 187-193. <https://doi.org/10.1007/s00280-001-0399-x>
- Lucier, G. & Lin, B.-H., 2007. *Factors affecting carrot consumption in the United States*, s. l.: United States Department of Agriculture.
- Lucier, G., Lin, B.-H. & Kantor, L. S. 2000. Factors affecting dry bean consumption in the United States. *Vegetables and specialties*, pp. 26-34.
- Mathews, S., Henderson, S. & Reinhold, D. 2014. Uptake and accumulation of antimicrobials, triclocarban and triclosan, by food crops in a hydroponic system. *Environmental Science and Pollution Research*, Volume 21, pp. 6025-6033. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2474-3>
- Nandikes, G., Pathak, P., Razak, A. S., Narayananamurthy, V. & Singh, L. 2022. Occurrence, environmental risks and biological remediation mechanisms of Triclosan in wastewaters: Challenges and perspectives *Journal of Water Process Engineering*, 49, 103078. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103078>
- National Center for Biotechnology Information. 2019b. *PubChem*. [Online] Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7547> [Accessed november 30, 2019].

- National Center for Biotechnology Information. 2019a. *PubChem*. [Online] Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Triclosan> [Accessed november 30, 2019].
- Pannu, M. W., Toor, G. S., O'Connor, G. A. & Wilson, P. C. 2013. Toxicity and bioaccumulation of biosolids-borne triclosan in food crops. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31(9), pp. 2130-2137. <https://doi.org/10.1002/etc.1930>
- Reimers, K. J. & Keast, D. R. 2016. Tomato consumption in the United States and its relationship to the US Department of Agriculture food pattern. *Nutrition Today*, 51(4), pp. 198-205. <https://doi.org/10.1097/NT.0000000000000152>
- Rehman, S.U., Shafqa, F., Usman, M., & Niaz, K. 2021. Triclosan Induced Oxidative Stress, Estrogenicity, Mutagenicity, Carcinogenicity, and Genotoxicity: A Novel Therapeutic Approach *Biomedical Research and Therapy*, 8(12), 4750-4774. <https://doi.org/10.15419/bmrat.v8i12.712>
- Sandborgh-Englund, G., Adolfsson-Erici, M., Odhan, G. & Ekstrand, J. 2006. Pharmacokinetics of triclosan following oral ingestion in humans. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, Issue 69, pp. 1861-1873. <https://doi.org/10.1080/15287390600631706>
- SCCP. 2004. *Triclocarban for other uses than a preservative*, s.l.: Scientific Committee on Consumer Products.
- Schebb, N. H., Ahn, K. C., Dong, H., Gee, S. J., & Hammock, B. D. 2012. Whole blood is the sample matrix of choice for monitoring systemic triclocarban levels. *Chemosphere*, Issue 87, pp. 825-827. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.12.077>
- Sebastian, R. S., Enns, C. W. & Goldman, J. D. 2011. *Drinking water intake in the U.S.*, s. l.: U.S. Department of Agriculture.
- Shen, J. Y., Chang, M. S., Yang, S.-H. & Wu, G. J. 2012. Simultaneous determination of triclosan, triclocarban, and transformation products of triclocarban in aqueous samples using solid-phase microextraction-HPLC-MS/MS. *Journal of Separation Science*, 35(19), pp. 2544-2552. <https://doi.org/10.1002/jssc.201200181>
- Snyder, E. H., & O'Connor, G. A. 2013. Risk assessment of land-applied biosolids-borne triclocarban (TCC). *Science of the Total Environment*, 442, pp. 437-444. <https://doi.org/10.1016/j.scitenv.2012.10.007>
- Speight, J. G. 2016. *Environmental organic chemistry for engineers*. 1st ed. s. l.: Butterworth-Heinemann.
- Taiwo, A. A., Mustapha, S., Jimoh Oladejo, T., Folahan Amoo, A. & Elabor, R. 2022. Occurrence, effects, detection, and photodegradation of triclosan and triclocarban in the environment: a review *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/03067319.2022.2106860>
- United States Department of Agriculture. 2019. *World agricultural supply and demand estimates*, s.l.: s.n.
- United States Environmental Protection Agency. 1989. *Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part A)*, U.S. Environmental Protection Agency Publication EPA/540/1-89/002, Washington, DC.
- United States Environmental Protection Agency. 1993. Reference dose (RfD): description and use in health risk assessments. Washington, DC.
- United States Environmental Protection Agency. 1998. TRICLOSAN. *Report of the Hazard Identification Assessment Review Committee*.
- United States Department of Agriculture, Economic Research Service. Food Consumption and Nutrient Intakes. 2014. <http://www.ers.usda.gov/data-products/food-consumption-and-nutrient-intakes.aspx>. Accessed december 21, 2022.
- Veetil, P. G. P. et al. 2012. Degradation of triclosan under aerobic, anoxic and anaerobic conditions. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, Issue 167, pp. 1603-1612. <https://doi.org/10.1007/s12100-012-9573-3>
- Verslycke, T., Mayfield, D. B., Tabony, J. A., Capdeville, M., & Slezak, B., 2016. Human health risk assessment of triclosan in land-applied biosolids. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(9), pp. 2358-2367. <https://doi.org/10.1002/etc.3370>
- Von der Ohe, P. C., Schmitt-Jansen, M., Slobodnik, J., & Brack, W. 2012. Triclosan - the forgotten priority substance? *Environmental Science Pollution Research*, Issue 19, pp. 585-591. <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0580-7>
- Wang, H., Li, X., Wang, W., Xu, J., Ai, W., Huang, H., & Wang, X. 2023. Immunotoxicity induced by triclocarban exposure in zebrafish triggering the risk of pancreatic cancer *Environmental Pollution*, 325, 121458. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121458>
- Yang, H., Sanidad, K.Z., Wang, W., Xie, M., Gu, M., Cao, X., Xiao, H., & Zhang, G. 2020. Triclocarban exposure exaggerates colitis and colon tumorigenesis: roles of gut microbiota involved *Gut Microbes*, 12(1), 1690364. <https://doi.org/10.1080/19490976.2019.1690364>
- Yueh, M.-F. & Tukey, R. H. 2016. Triclosan: A widespread environmental toxicant with many biological effects. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, Issue 56, pp. 251-272. <https://doi.org/10.1146/annurev-pharmtox-010715-103417>
- Yun, H., Liang, B., Kong, D., Li, Z., Qi, G., & Wang, A. 2017. Enhanced biotransformation of triclocarban by *Ochrobactrum* sp. TCC-1 under anoxic nitrate respiration conditions. *Current Microbiology*, Issue 74, pp. 491-498. <https://doi.org/10.1007/s00284-017-1214-1>
- Zhang, D. & Lu, S. 2023. A holistic review on triclosan and triclocarban exposure: Epidemiological outcomes, antibiotic resistance, and health risk assessment. *Science of The Total Environment*, 872, 162114. <https://doi.org/10.1016/j.scitenv.2023.162114>

► Drought and irrigation water quality: The case of the Valsequillo dam in Puebla

SEQUIÁ Y CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

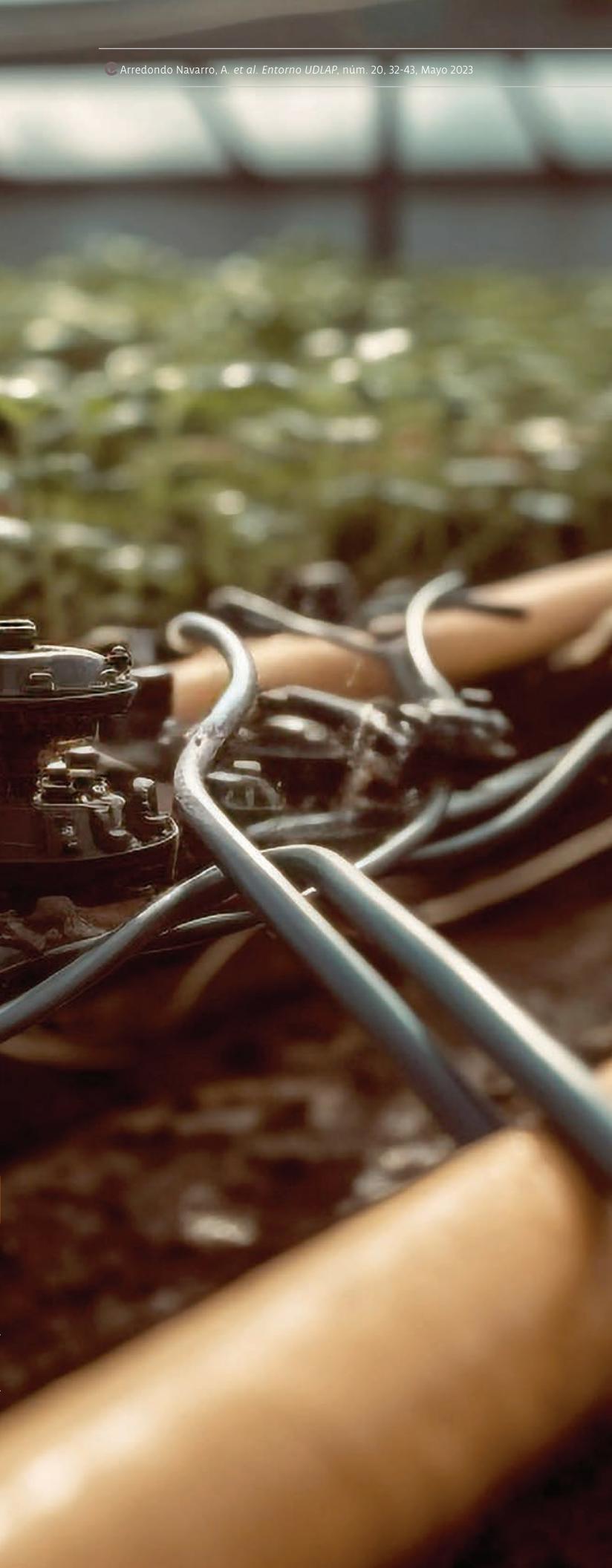
El caso de la presa de Valsequillo en Puebla

Por:  Andrea Arredondo Navarro · Deborah Xanat Flores Cervantes · Estefanía Martínez Tavera



Arredondo Navarro, A., Flores Cervantes, D. X. y Martínez Tavera, E. (2023) Sequía y calidad del agua de riego: El caso de la presa de Valsequillo en Puebla. *Entorno UDLAP*, 20

↻ Recibido: 13 de febrero de 2023. ✓ Aceptado: 6 de junio de 2023.



◆ RESUMEN

La presa Manuel Ávila Camacho es un área natural protegida y un centro recreativo. Su objetivo principal es suministrar agua al distrito de riego 030 (DR30). Sin embargo, las sequías del 2022 y la necesidad de enviar mayores volúmenes de agua a comunidades agricultoras río abajo no permitieron su recuperación completa y se teme que no se alcancen los volúmenes necesarios para los cultivos del 2023. La sequía, además de afectar la cantidad de agua, afecta la calidad del medio natural en la zona, comprometiendo la salud y la economía de los pobladores de la Presa, de los agricultores y de los que habitamos y consumimos productos del DR30. Por lo tanto, a continuación, se exponen valores de oxígeno disuelto (OD) medidos antes y después de la apertura de compuertas en agosto de 2022, en donde se observa un alto deterioro en la calidad del embalse. Esto demuestra que la seguridad hídrica no sólo obedece a la cantidad sino también a la calidad.

◆ PALABRAS CLAVE

Presa de Valsequillo • Sequía • Calidad del agua

◆ ABSTRACT

The Manuel Ávila Camacho dam is a natural protected area and a recreational center. Its main purpose is to supply water to the Irrigation District 030 (DR30). However, the droughts of 2022 and the need to deliver larger volumes to agricultural communities downstream did not allow its full recovery, and it is believed that the necessary volumes for the crops of 2023 will not be reached. In addition to affecting the quantity of water, the drought affects the quality of the natural environment in the area, compromising the health and economy of the inhabitants of the dam, the agricultural workers, and those of us who live in and consume products from the DR30. Dissolved oxygen (DO) values were measured before and after the opening of the gates in August 2022, which demonstrated a high deterioration in the quality of the reservoir. This proves that water security is not only due to quantity but also to quality.

◆ KEYWORDS

Valsequillo Dam • Drought • Water quality

◆ INTRODUCCIÓN

La presa Manuel Ávila Camacho (conocida como presa de Valsequillo) pertenece a la cuenca del alto Atoyac, que es parte de la región hidrológica del Balsas y la región hidrológico-administrativa iv Balsas. Fue designada, en 2012, como humedal de importancia internacional (sitio Ramsar no. 2027) y área natural protegida de jurisdicción estatal «Humedal de Valsequillo», debido a que la habitan diversas aves protegidas, tanto residentes como migratorias. Además, representa el hogar de 21 especies de reptiles, 15 especies de mamíferos, ocho especies de anfibios y dos especies de peces (Berumen-Solórzano *et al.*, 2015). Este humedal artificial también se utiliza como centro recreativo y turístico en el cual personas extranjeras y locales realizan recorridos en lancha, retiros en fincas, estancias en cabañas y como lugar de descanso durante los fines de semana.

Sin embargo, el objetivo principal de la presa es suministrar agua a los seis módulos en los que está organizado el distrito de riego 030 (DR30). El DR30 abarca parte de los valles de Tecamachalco, Tlacotepec y Tehuacán, irrigando una superficie agrícola de aproximadamente 35,000 hectáreas de la zona a través del canal principal de riego, con una longitud aproximada de 105 kilómetros y 525.5 kilómetros de canales secundarios (Puebla, Gobierno Municipal, 2011). En 2020, este distrito de riego permitió producir más de 500,000 toneladas de alimentos (maíz, frijol, alfalfa, sorgo y chile), que representaron una ganancia de 940 millones de pesos para las comunidades que lo conforman (CONAGUA, 2022a)¹.

Con el fin de proveer de manera óptima el agua de riego, cada año se abren las compuertas de la presa en tres ocasiones de acuerdo

¹ Para conocer los valores de los volúmenes asignados al DR30 y otros distritos de riego, consultar CONAGUA (REPDA), 2022.



El Atoyac es el segundo río más contaminado del país.

Fotografía: Andrea Arredondo



con los ciclos de cultivo. La primera sucede entre marzo y abril, la segunda entre mayo y junio, y la tercera en julio. Durante el año 2022, la última apertura de compuertas se realizó en julio para poder cumplir con los 250 millones de metros cúbicos autorizados para riego (CONAGUA, REPDA, 2022).

Lo anterior generó una reducción del 68 % en el porcentaje de capacidad del embalse (pasó del 88 % al 20 %), dejándolo en el nivel más bajo observado en los últimos diez años. Usualmente, la recuperación del nivel de la presa solía llevarse a cabo entre los meses de julio y octubre, que representan la temporada de lluvias en la zona (Cruz-Cortés, 2022). Pero, como en muchas otras partes del país, los niveles de sequía que en la cuenca van de «anormalmente seco D0» a «sequía moderada D1» no permitieron su recuperación completa (CONAGUA, 2022c). Al día 8 de diciembre de 2022 se reportó una capacidad almacenada de 67 %, un porcentaje inferior al 101 % que presentó en la misma fecha del año anterior (CONAGUA, 2022b). Esto afectó a las miles de personas que dependen del DR30 para subsistir, incluyendo a productores y agricultores, a los consumidores de productos locales, a la economía de los municipios que lo comprenden y al estado de Puebla. Además de los efectos inmediatos que tuvo el bajo nivel de agua en la presa, como la dificultad de tránsito entre cinco comunidades y la capital poblana (conectados a través de un transbordador conocido como «la panga»).

Ahora bien, el enfoque de la problemática del DR30 está dirigido mayormente a la cantidad de agua que abastecerá a los cultivos, y si ésta alcanzará o no. Pero los bajos niveles en la presa también afectan la calidad del agua y

Presa de Valsequillo

36

Mayo - Agosto 2023

2012

Fue designada como humedal de importancia internacional (sitio Ramsar no. 2027) y área natural protegida de jurisdicción estatal «Humedal de Valsequillo».

2020

Este distrito de riego permitió producir más de 500,000 toneladas de alimentos (maíz, frijol, alfalfa, sorgo y chile), que representaron una ganancia de 940 millones de pesos para las comunidades que lo conforman.



► 21 ESPECIES DE REPTILES



► 15 ESPECIES DE MAMÍFEROS



► OCHO ESPECIES DE ANFIBIOS



► DOS ESPECIES DE PECES



CON EL FIN DE PROVEER DE MANERA ÓPTIMA EL AGUA DE RIEGO, CADA AÑO SE ABREN LAS COMPUERTAS DE LA PRESA EN TRES OCASIONES DE ACUERDO CON LOS CICLOS DE CULTIVO.

del aire de la zona. Durante los períodos de niveles bajos del agua, los sedimentos, altamente contaminados con químicos tóxicos y metales pesados (Mora *et al.*, 2021), y que normalmente están sumergidos, son expuestos, poniendo en riesgo a los pobladores de la presa.

Más aún, en sequías la concentración de contaminantes presentes en cuerpos de agua aumenta, debido a una menor dilución ocasionada por una disminución en la precipitación.

Es importante recordar que la presa se alimenta del segundo río más contaminado del país: el Atoyac. Éste nace de los escurrimientos de la sierra de Tlaxco, en el norte del estado de Tlaxcala y de los escurrimientos del volcán Iztaccíhuatl. Los afluentes confluyen en el norte de la ciudad de Puebla y luego corren a lo largo de la zona urbana hasta llegar a la presa. El río Atoyac ha sufrido de una intensa contaminación desde los años setenta con la instalación de las industrias petroquímicas, metalúrgicas y automotrices, además de la industria textil ya existente, de la agricultura y de la alta expansión demográfica en la Zona Metropolitana de Puebla y Tlaxcala (ZMPT). De modo que la presión sobre el río y sus principales afluentes se ha incrementado, produciendo una compleja y fuerte contaminación que ha deteriorado enormemente este sistema fluvial (Mora *et al.*, 2021). En el cuerpo de agua, por ejemplo, se han detectado diversos contaminantes cancerígenos y mutagénicos. De hecho, un estudio demostró que los niños asentados en las orillas del río presentaron valores dos veces superiores de índice de estrés oxidativo (osi) que los mostrados por niños que vivían a mayor distancia de éste; asimismo, presentaron valores elevados de metabolitos BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) detectables en la orina (Mora *et al.*, 2021).

EL 8 DE DICIEMBRE DE 2022
SE REPORTÓ UNA CAPACIDAD
ALMACENADA DE 67 %, UN
PORCENTAJE INFERIOR AL
101 % QUE PRESENTÓ EN LA
MISMA FECHA DEL AÑO
ANTERIOR (CONAGUA, 2022b).



Desembocadura de la presa Echeverría del río Atoyac, situada en el municipio de Ocoyucan (atrás de Lomas de Angelópolis, Puebla).

Fotografía: Andrea Arredondo (abril de 2022).

En este sentido, se observa que hay otros efectos que puede generar la sequía en la salud de habitantes, animales y cultivos de la zona, a los cuales no se les está dando la atención merecida y que, en definitiva, resultan relevantes para la vida de la región tanto a corto como a largo plazo.

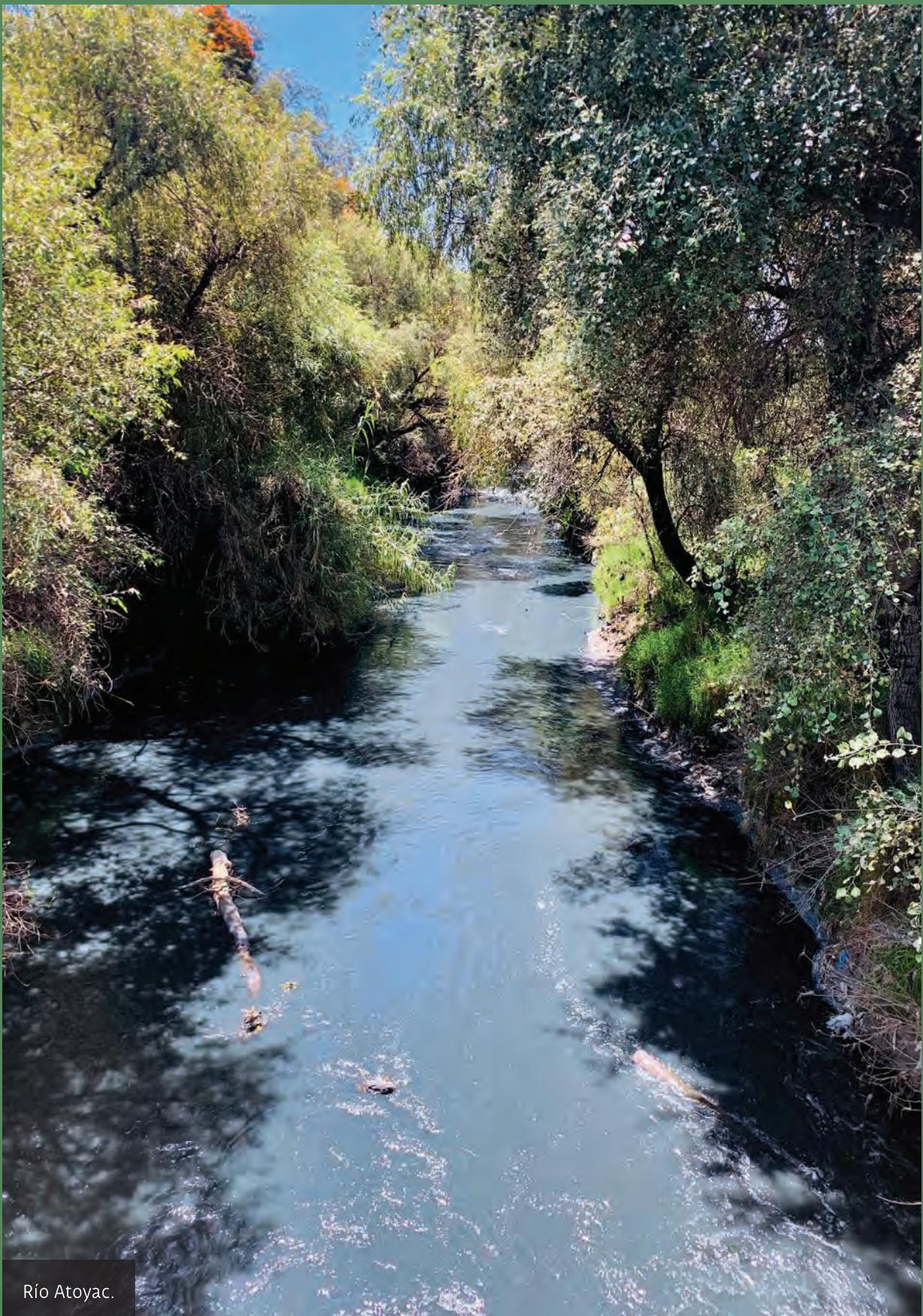
DISCUSIÓN

Normalmente, el lirio (conocido como «consorcio de macrófitas») y algunos procesos como la sedimentación y la dilución permiten tener una calidad de agua «aceptable» para riego en la

presa (Ayala-Osorio *et al.*, 2015; Tabla-Hernández, 2019). Pero, al reducir de manera histórica los volúmenes líquidos de la presa, fenómenos como la mezcla de sedimentos (donde se acumulan contaminantes como metales pesados y otros) con el agua y la muerte de una gran parte del consorcio de macrófitas (el cual permite la depuración del río antes de entrar a la presa), provocan que la calidad del agua se deteriore y comprometa la salud de miles de personas, plantas y animales.

Para poner un ejemplo de algún parámetro que represente la calidad del cuerpo de agua,

LA PRESA SE ALIMENTA DEL SEGUNDO RÍO MÁS CONTAMINADO DEL PAÍS: EL ATOYAC. ÉSTE NACE DE LOS ESCURRIMIENTOS DE LA SIERRA DE TLAXCO, EN EL NORTE DEL ESTADO DE TLAXCALA Y DE LOS ESCURRIMIENTOS DEL VOLCÁN IZTACCÍHUATL.



Río Atoyac.

Fotografía: Andrea Arredondo (abril de 2022).

medido antes y después de la apertura de compuertas de junio y julio de 2022, se hablará del oxígeno disuelto (od). El od, como su nombre lo indica, representa la concentración de oxígeno disuelto en el agua. Los cuerpos de agua reciben oxígeno de la atmósfera y de ciertas plantas acuáticas. Su monitoreo es esencial, ya que los organismos acuáticos lo necesitan para vivir. Así que la concentración necesaria para el soporte de la vida depende de la especie en cuestión, pues algunas requieren altos niveles para sobrevivir (como la mosca de piedra o la trucha) y otras no tan altos (como el bagre, los gusanos y las libélulas). Por lo general, los niveles de od menores a 3 mg/L son preocupantes y las aguas con niveles inferiores a 1 mg/L se consideran hipóxicas y normalmente carentes de vida (EPA, 2021).

Dicho lo anterior, en abril de 2022 (antes de la apertura de compuertas) se tomaron medidas in situ del agua de la Presa de Valsequillo, y en un sitio cercano a las compuertas el nivel máximo de od fue de 10 mg/L (a nivel superficial). Esta concentración permite la vida de diversas especies y puede considerarse como un nivel «aceptable» de od en el agua. Sin embargo, la medición de od tomada en agosto de 2022 (después de que se vaciara la presa), en el mismo sitio y a la misma profundidad, a partir de datos propios, fue de 3.3 mg/L; una concentración que dificulta la vida acuática. Además, hay que mencionar que en la toma de medidas en abril no se encontraron zonas hipóxicas (lo cual demostraba una calidad de agua aceptable), pero de las 30 medidas estudiadas en agosto se encontraron once sitios sin oxígeno (seis sitios a tres profundidades distintas y un sitio a once profundidades, para realizar el perfil de profundidades).

La gran diferencia observada en este parámetro (od) y en otros similares nos lleva a suponer que, al no reestablecerse el nivel anterior (88 % de la capacidad del embalse), el agua de riego del 2023 tendrá una calidad mucho menor que la del 2022, lo que sin duda ha puesto en riesgo las cosechas, la salud y la economía de los habitantes del DR30.

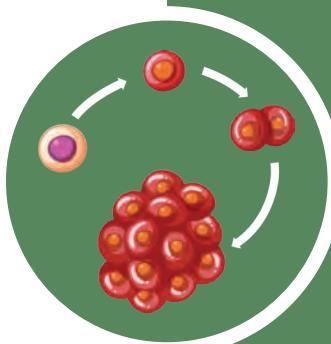
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las decisiones del manejo integral de los recursos hídricos deben basarse cada vez más en datos duros y concretos, y menos en promesas sin fundamentos y sin estudios previos. En cuanto a la cantidad, las decisiones deberían basarse sobre cálculos en predicciones acertadas de sequía y consumo; y en cuanto a la calidad, se de-

Índice de estrés oxidativo (osi) y metabolitos BTEX

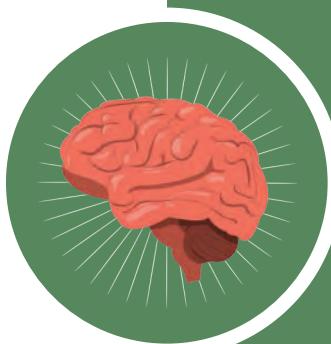
OSI

Índice que demuestra una afección que se presenta cuando hay moléculas inestables en el cuerpo, denominadas «radicales libres», y no hay suficientes antioxidantes para eliminarlas. Esto puede generar daños en las células y tejidos. A largo plazo, el estrés oxidativo interviene en el envejecimiento y en la aparición de inflamación crónica, cáncer y otras enfermedades. Cuando el índice es mayor, entonces es mayor el estrés oxidativo y, por lo tanto, es peor el estado de la salud (Instituto Nacional del Cáncer, 2022).



Metabolitos BTEX

Disruptores endocrinos (químicos capaces de mimetizar nuestras hormonas y, por ende, de alterar el correcto funcionamiento corporal y generar efectos negativos en nuestra salud) que son tóxicos, altamente volátiles y fácilmente absorbidos por los pulmones. Pueden causar consecuencias adversas para la salud humana, tales como enfermedades neurológicas y cáncer (González et al., 2017).



bería asegurar principalmente que el río reciba descargas tratadas que cumplan con la normativa oficial mexicana y la declaratoria que aplica a la zona (explicadas más adelante).

Pero ¿cómo lograr una calidad de agua adecuada² independientemente de la cantidad que haya en la presa? Hay dos pilares básicos para poder restaurar un cuerpo de agua, que pueden guiarnos hacia una respuesta concreta: tecnología y normativa.

Por un lado, está la tecnología para remover contaminantes de las descargas que llegan al río. En efecto, hay ejemplos alrededor del mundo de cómo es posible rescatar un río muerto (como el caso del río Atoyac). A mediados del siglo XIX, el río Támesis (Reino Unido) se enfrentaba a problemas similares a los del río Atoyac, relacionados con la creciente población en la ciudad de Londres y el rápido desarrollo económico originado desde el inicio de la Revolución Industrial. En consecuencia, la calidad del agua se deterioró a medida que los desechos humanos producidos por la población se vertían directamente en el río (Royal Museums Greenwich, 2023). Esto provocó brotes de cólera y dio lugar a lo que se conoció como «El gran hedor» de 1858, que fue el fenómeno que obligó a cerrar el Parlamento inglés (Sharma, Joshi y Bowes, 2021). Posteriormente, una serie de mediciones realizadas en la década de 1950 mostraron que los niveles de oxígeno disuelto (OD) en el Támesis eran de 0.5 mg/l (Sharma, Joshi y Bowes, 2021), condiciones muy similares a las del río Atoyac, de modo que, en aquellas instancias, era prácticamente imposible que el afluente albergara cualquier tipo de vida acuática.

Esta situación llevó al gobierno británico a emprender mejoras sanitarias a gran escala, lo que implicó la construcción de colectores y plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales, tras varios años, lograron transformar de manera positiva la salud ecológica del Támesis. Esto generó que, en las últimas dos décadas del siglo, más de 2,000 focas, cientos de marsopas y delfines y hasta una ballena fueran vistas pasar en el río, dejando ver que la restauración casi total

² No existe una normativa mexicana que regule la calidad de agua de un cuerpo de agua, por lo que en este escrito la palabra «adecuada» se refiere a que se cumpla con las concentraciones establecidas en algunos estándares para algunos lagos recreativos en Estados Unidos (ver Pennsylvania Lake Management Society, 2023; Illinois Environmental Protection Agency, 1998).

EN LA TOMA DE MEDIDAS EN ABRIL NO SE ENCONTRARON ZONAS HIPÓXICAS (LO QUE DEMOSTRABA UNA CALIDAD DE AGUA ACEPTABLE), PERO DE LAS 30 MEDIDAS ESTUDIADAS EN AGOSTO SE ENCONTRARON 11 SITIOS SIN OXÍGENO. ESTA GRAN DIFERENCIA NOS LLEVA A SUPONER QUE, AL NO REESTABLECERSE EL NIVEL ANTERIOR (88 % DE LA CAPACIDAD), EL AGUA DE RIEGO DEL 2023 TENDRÁ UNA CALIDAD MUCHO MENOR QUE LA DEL 2022.

de un cuerpo de agua es posible (Royal Museums Greenwich, 2023; Sharma, Joshi y Bowes, 2021).

Este ejemplo demuestra que el tratamiento de aguas residuales e industriales lleva estudiándose cientos de años y que existen diversos métodos tecnológicos que pueden aplicarse a las descargas que llegan a los ríos. Por ello, la implementación de plantas de tratamiento diseñadas específicamente para cada tipo de descarga es urgente, así como un mejor manejo de las plantas municipales ya existentes.

Por otro lado, la normativa o regulación es algo ya existente. La industria que descarga sus aguas residuales al Atoyac se regía por la NOM-001-SEMARNAT-1996 (ahora 2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación) hasta el 2011. En ese año se publicó en el DOF (2011) la «Declaratoria de clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan, y sus afluentes» en la cual se establecen los límites de descarga de contaminantes específicos para la subcuenca y en donde, además, se busca expresamente restaurar los ríos (usualmente con límites más estrictos y especificando contaminantes que han sido identificados y que afectan la zona).

Ahora bien, si ya se cuenta con la tecnología, la normativa y el dinero (muchas de las empresas que maquilan en la cuenca son internacionales y con ingresos millonarios) para tener un río y, en consecuencia, una presa saludable, entonces, ¿por qué no se lleva a cabo un proyecto como el implementado en el río Támesis?



NORMALMENTE, EL LIRIO (CONOCIDO COMO «CONSORCIO DE MACRÓFITAS») Y ALGUNOS PROCESOS COMO LA SEDIMENTACIÓN Y LA DILUCIÓN PERMITEN TENER UNA CALIDAD DE AGUA «ACEPTABLE» PARA RIEGO EN LA PRESA.



Consortio de macrófitas en la presa de Valsequillo.

Fotografía: Andrea Arredondo (abril de 2022).



EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES E INDUSTRIALES LLEVA ESTUDIÁNDOSE CIENTOS DE AÑOS Y EXISTEN DIVERSOS MÉTODOS TECNOLÓGICOS QUE PUEDEN APLICARSE A LAS DESCARGAS QUE LLEGAN A LOS RÍOS. POR ELLO, LA IMPLEMENTACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DISEÑADAS ESPECÍFICAMENTE PARA CADA TIPO DE DESCARGA ES URGENTE.

Es posible que la toma de decisiones actuales se guíe principalmente por intereses político-económicos, a partir de los cuales no se toma en cuenta ni a los millones de personas ni a miles de animales que dependen de o habitan la cuenca. También es posible que los gobernantes no estén al tanto del potencial económico que la restauración de la cuenca podría traer a la región, tal y como se ha visto en muchos otros lugares a nivel mundial, incluido el caso del río Támesis.

Para finalizar, y a partir del caso de la presa de Valsequillo, lo expuesto en estas líneas permite ver que la gestión del agua en nuestro municipio y en nuestro estado debería integrar acciones eficaces, conscientes y eficientes si se quiere promover un desarrollo sostenible en la región, que sea incluyente y para todos. Por ello, debemos aprender de lo que está sucediendo en otros estados y países alrededor de estos temas. Porque la gestión de la seguridad hídrica no sólo obedece a la cantidad, sino también a la calidad. En este sentido, hemos visto que la concientización del problema de la contaminación de la cuenca a nivel estatal (Puebla y Tlaxcala) y a nivel nacional es urgente y requiere de la atención de todos los habitantes y los sectores productivos para que se le dé el lugar y la atención que la problemática merece.



Andrea Arredondo Navarro

Es candidata a doctora en Ciencias del Agua por la Universidad de las Américas Puebla y becaria CONACYT. Actualmente es estudiante asociada a la cátedra UNESCO de la misma universidad y colabora con distintas universidades en el desarrollo de la investigación «Plásticos en la cuenca del Alto Atoyac: Caracterización y estimación de índices de riesgo de microplásticos y compuestos orgánicos persistentes asociados con meso y macropollutantes». andrea.arredondono@udlap.mx



Deborah Xanat Flores Cervantes

Catedrática-investigadora (SNI nivel 1) del Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental de la UDLAP. Doctora en Ingeniería Civil y Ambiental, con especialidad en Química Ambiental por el Massachusetts Institute of Technology (MIT). Actualmente es profesora en el Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental de la UDLAP. Sus proyectos de investigación incluyen el desarrollo de nuevas tecnologías y materiales para la remoción de contaminantes en el agua, y el desarrollo de metodologías para la detección y cuantificación de contaminantes emergentes en el agua. deborah.flores@udlap.mx



Estefanía Martínez Tavera

Catedrática-investigadora (SNI nivel 1, A1) de la Facultad de Ingeniería Ambiental, Decanato de Ciencias Biológicas, de la UPAEP. Es líder de los proyectos «Biomonitoring and health environmental» y «Microplastics in hydrographic basins: presence, origin, processes of degradation and accumulation», ambos en la cuenca del Alto Atoyac, and «Estado base de agua, sedimentos y biota en la subcuenca del río Tecolutla, in the state of Puebla». Sus temas de investigación son procedencia de contaminantes, contaminantes emergentes como trazadores de contaminación y toxicidad ambiental. estefania.martinez@upaep.mx

REFERENCIAS

- Ayala-Osorio, A., González-Contreras, S., Santamería-Juárez, J. y Silva-Gómez, S. (2015). Calidad fisicoquímica del agua del distrito de riego 030 «Valsequillo» para riego agrícola. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*. Obtenido de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2020/03/Calidad-fisicoqu%C3%ADmica-del-agua-del-distrito-de-riego-030-%E2%80%90Valsequillo%E2%80%909D-para-riego-agr%C3%ADcola.pdf>
- Berumen-Solórzano, A., Maimone-Celorio, M., Villordo-Galván, J., Olivera-Ávila, C., Gaspariano-Martínez, E. y González-Oreja, J. (2015). Nuevos registros de aves acuáticas en la Presa de Valsequillo, Puebla. *Revista Mexicana de Ornitología*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/756/75643504013/html#:~:text=Valsequillo,%20fue%20designado%20sitio%20Ramsar,finalmente%20porque%20se%20han%20observado>
- Comisión Nacional del Agua. (17 de agosto de 2022). Consulta a la base de datos del REPDA. Obtenido de *Registro Público de Derechos de Agua*: <https://app.conagua.gob.mx/ConsultaRepda.aspx>
- Comisión Nacional del Agua. (2022a). Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Obtenido de *Comisión Nacional del agua-dокументos*: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- Comisión Nacional del Agua. (2022b). Gerencia de Planificación Hídrica. Obtenido de Sistema Nacional de Información del Agua (SINA): <http://sina.conagua.gob.mx/sina/>
- Comisión Nacional del Agua. (2022c). Monitor de Sequía en México (MSM). Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx:https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>
- Cruz-Cortés, D. (3 de agosto de 2022). Cultivos están en riesgo por la falta de agua en la presa de Valsequillo. *El Sol de Puebla*. Obtenido de <https://www.elsoldepuebla.com.mx/local/cultivos-estan-en-riesgo-por-la-falta-de-agua-en-la-presa-de-valsequillo-8684341.html>
- Cuaya, M. (3 de agosto de 2022). Sequía en la presa Valsequillo incomunica a cinco comunidades de Puebla. *El Sol de México*. Obtenido de <https://www.elsoldemexico.com.mx/republica/sociedad/sequia-en-la-presa-valsequillo-incomunica-a-cinco-comunidades-de-puebla-8684486.html>
- Diario Oficial de la Federación. (2011). DECLARATORIA de clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan, y sus afluentes. Obtenido de DOF: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5199672&fecha=06/07/2011#gsc.tab=0
- Diario Oficial de la Federación. (2021). NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. Obtenido de DOF: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0
- González, J., Pell, A., López-Mesas, M. y Valiente, M. (2017). Simultaneous determination of BTEX and their metabolites using solid-phase microextraction followed by HPLC or GC/MS: An application in teeth as environmental biomarkers. *Science of the Total Environment*, 603-604(15), 109-117. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.05.267
- Illinois Environmental Protection Agency. (1998). Common Lake Water Quality Parameters. Obtenido de *Lake notes*: <http://www.epa.state.il.us/water/conservation/lake-notes/quality-parameters.pdf>
- Instituto Nacional del Cáncer. (2022). Estrés oxidativo. Obtenido de *Diccionarios del NCI*: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/estres-oxidativo>
- Mora, A., García-Gamboa, M., Sánchez-Luna, M., Gloria-García, L., Cervantes-Avilés, P. y Mahlknecht, J. (2021). A review of the current environmental status and human health implications of one of the most polluted rivers of Mexico: The Atoyac River. *Science of the Total Environment*, 782, 146788. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.146788
- Pennsylvania Lake Management Society. (2023). Water Quality Parameters A Fact Sheet of The Pennsylvania Lake Management Society. Obtenido de <https://files.knowyourh2o.com/pdfs/FS-WQ-Parameters.pdf>
- Puebla: Gobierno Municipal. (2011). Programa municipal de desarrollo urbano sustentable de Puebla. Obtenido de *pueblacapital.gob.mx*: <https://www.pueblacapital.gob.mx/vi-planes-municipales-de-desarrollo/programa-municipal-de-desarrollo-urbano-sustentable-de-puebla>
- Royal Museums Greenwich. (2023). Pollution in the River Thames: a history. RMG Obtenido de <https://www.rmg.co.uk/>
- Sharma, V., Joshi, H. y Bowes, M. (2021). A Tale of Two Rivers: Can the Restoration Lessons of River Thames (Southern UK) Be Transferred to River Hindon (Northern India)? *Water, Air, and Soil Pollution*. doi:10.1007/s11270-021-05152-w
- Tabla-Hernández, J. (2019). *Estudio de la optimización del proceso de biofiltración en la presa Valsequillo, Puebla, México para la restauración parcial del Paisaje de la zona*. Instituto Politécnico Nacional.
- United States Environmental Protection Agency. (2021). What is dissolved oxygen? Obtenido de *National Aquatic Resource Surveys*: [https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-dissolved-oxygen#:~:text=Dissolved%20oxygen%20\(DO\)%20is%20the,of%20a%20pond%20or%20lake](https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-dissolved-oxygen#:~:text=Dissolved%20oxygen%20(DO)%20is%20the,of%20a%20pond%20or%20lake)

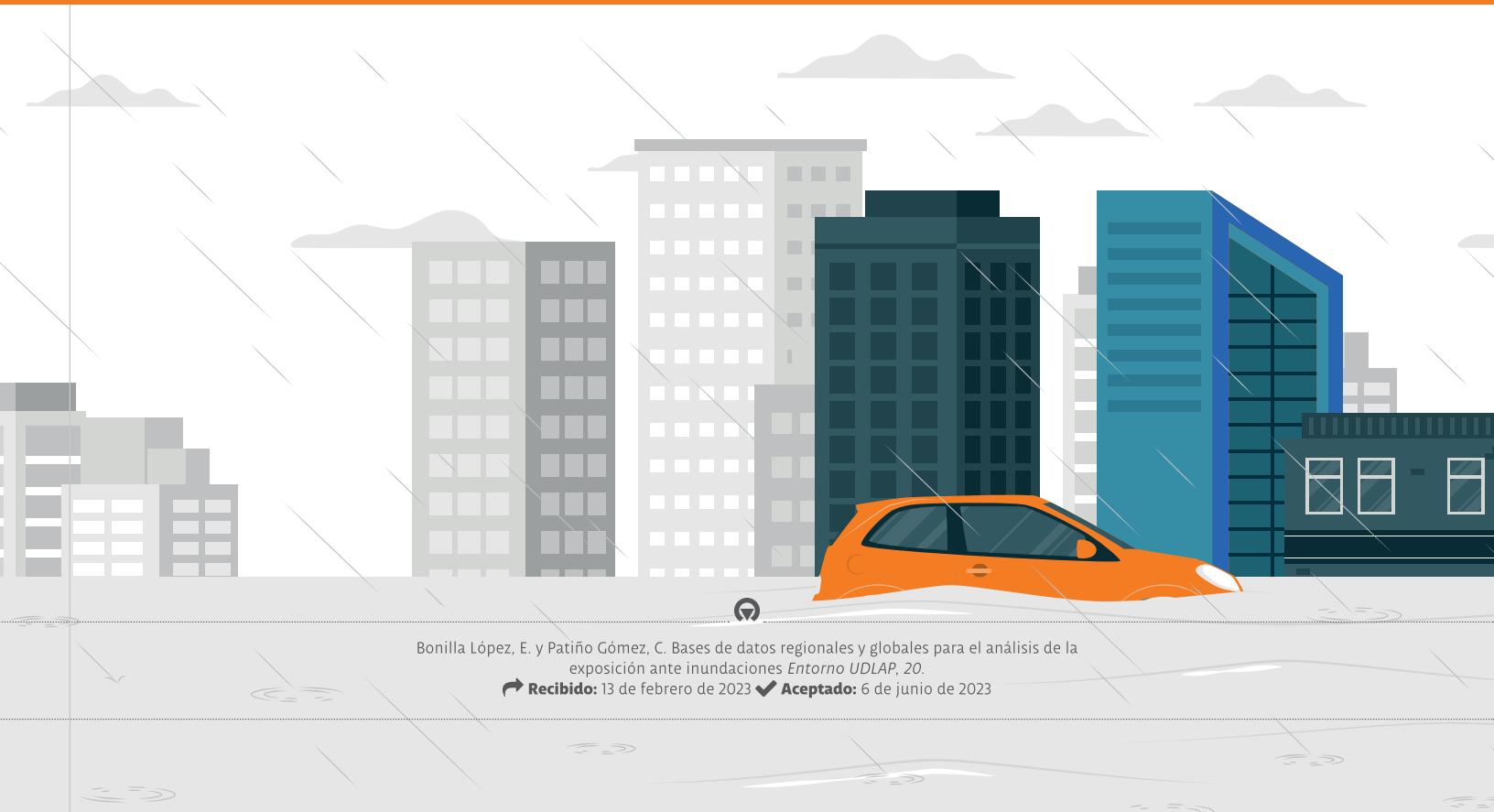
- Regional and global databases for flood exposure analysis

44

BASES DE DATOS REGIONALES Y GLOBALES

para el análisis
de la exposición ante
inundaciones

Por:  Edith Bonilla López · Carlos Patiño Gómez



Bonilla López, E. y Patiño Gómez, C. Bases de datos regionales y globales para el análisis de la exposición ante inundaciones *Entorno UDLAP*, 20.

➔ Recibido: 13 de febrero de 2023 ✓ Aceptado: 6 de junio de 2023

◆ RESUMEN

Dentro de los estudios preliminares necesarios para el manejo de inundaciones a nivel de cuenca, la definición de la exposición ante este fenómeno es primordial, ya que corresponde a la base técnica de las acciones de la gestión integral del riesgo por inundación. Para estar en posibilidades de realizar el análisis de exposición, uno de los retos principales es contar con información sobre los factores que propician la ocurrencia de inundaciones, como cambios en la presencia de agua superficial, cambio de uso de suelo, precipitación normal y afectada por cambio climático, vulnerabilidad de asentamientos humanos y exposición económica. En particular, a nivel regional la información existente tiene ciertas limitaciones y una alternativa viable es hacer uso de fuentes de información a escala global para el establecimiento de aquellas cuencas que presenten mayor exposición ante este fenómeno y que requieren atención prioritaria para la reducción del riesgo por inundación.

◆ PALABRAS CLAVE:

Inundaciones · Análisis de exposición · Base de datos

◆ ABSTRACT

Within the preliminary analyses necessary for flood management at the basin level, the definition of exposure to this phenomenon is essential since it corresponds to the technical basis of the actions of flood risk management. In order to conduct a flood exposure analysis, one of the main challenges is to have information on the various factors that trigger the occurrence of floods, such as the change on the presence of surface water, variations in land use, normal precipitation and affected by climate change, vulnerability of human settlements and economic exposure. At the regional level, the information available has certain limitations and a viable alternative is to make use of global scale databases to establish those basins that present the greatest exposure to this phenomenon and that require priority attention for flood risk reduction.

◆ KEYWORDS:

Flood · Exposure analysis · Database



◆ INTRODUCCIÓN

Los desastres hídricos son el resultado de interacciones muy complejas entre el océano, la atmósfera y la tierra, pero también de la exposición y vulnerabilidad de los sistemas humanos y naturales. De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014 en Jiménez-Cisneros, 2015), si bien la información disponible sobre la magnitud y frecuencia de eventos de inundación es escasa para relacionar la variación del fenómeno por el cambio climático antropogénico, las pérdidas económicas y afectaciones a la población se incrementaron después de la segunda mitad del siglo XX, debido a una mayor exposición y vulnerabilidad de la población. La creciente urbanización agrava los impactos socioeconómicos negativos derivados de desastres climáticos, como las sequías e inundaciones, tal como lo señala Naciones Unidas (2009, 2011) y Jha *et al.* (2012), lo cual se refleja en el aumento del área impermeable y la disminución de la infiltración, pudiendo convertirse en inundaciones frecuentes y severas.

Entre las pérdidas económicas debidas a daños por fenómenos naturales a nivel mundial, aquellas que son resultado de inundaciones se estiman en alrededor del 34 % (Munich Re, 2017). Específicamente en México, como lo determinó el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2022), en el periodo de 2000 a 2020, la mayor cantidad de daños y pérdidas correspondieron a desastres de origen hidrometeorológico, principalmente inundaciones. Las afectaciones por inundaciones no sólo implican la pérdida de vidas humanas o de bienes materiales, sino que también van acompañadas de la interrupción de servicios de comunicación,



LAS AFECTACIONES POR INUNDACIONES NO SÓLO IMPLICAN LA PÉRDIDA DE VIDAS HUMANAS O DE BIENES MATERIALES, SINO QUE TAMBIÉN VAN ACOMPAÑADAS DE LA INTERRUPCIÓN DE SERVICIOS DE COMUNICACIÓN, ELECTRICIDAD, AGUA POTABLE, PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS, TRANSPORTE, ENTRE OTROS.

electricidad, agua potable, producción de alimentos, transporte, entre otros.

Por ello, es necesario contemplar estos eventos dentro de los análisis de exposición para la correcta gestión de riesgo por inundación de cada región o cuenca de interés. Algunos factores que se pueden revisar son la variación en la presencia de agua superficial, el cambio de uso de suelo, la climatología, la precipitación ante cambio climático, la presencia de ciclones tropicales, las inundaciones históricas, la vulnerabilidad de asentamientos humanos ante inundaciones, así como la exposición económica.

Sin embargo, existen retos al llevar a cabo lo anterior, como el estado de los instrumentos de medición y la falta de información detallada, con buena resolución espacial, temporal y continua, y una ubicación adecuada. Se debe

resaltar la importancia de estos instrumentos de medición para el conocimiento del ciclo hidrológico y la planeación del recurso hídrico. Asimismo, la disponibilidad de información generada por instituciones gubernamentales, educativas y privadas también es vista como un reto, lo cual supondría un riesgo para el desarrollo y alcances de nuevos proyectos de investigación que pudieran resolver de mejor manera las problemáticas en torno al agua.

Ante esta situación, con la finalidad de contar con información, bajo ciertas consideraciones se puede hacer uso de las ventajas que proporcionan las bases de datos a escalas regionales o globales. Diversas instituciones a nivel mundial, que se han encargado de analizar diferentes variables y condiciones de resolución espacial y temporal, han puesto a disposición del público en general dichas bases de datos.

Al contar con información respecto a los factores que determinan la exposición ante inundaciones, será posible priorizar acciones sobre aquellas cuencas o regiones que presenten una mayor tendencia a la ocurrencia de eventos de inundación, aportando a la mejora del manejo de este fenómeno, buscando reducir y mitigar el riesgo por inundación, protegiendo a la población y sus bienes y garantizando su derecho humano a una vivienda que no se encuentre expuesta a peligro de inundación y a un ambiente sano.

Desarrollo

Para el caso del análisis de la exposición a las inundaciones y siguiendo el enfoque de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico, que sostiene que la unidad básica es la cuenca hidrológica

Entre las pérdidas económicas debidas a daños por fenómenos naturales a nivel mundial, aquellas que son resultado de **inundaciones**



se estiman en alrededor del

34 %.



SE PRESENTA UN PRIMER ACERCAMIENTO A ALGUNAS DE LAS BASES DE DATOS DISPONIBLES A ESCALA REGIONAL Y GLOBAL, RELACIONADAS CON LOS FACTORES QUE INCIDEN EN LA EXPOSICIÓN ANTE INUNDACIONES.

(Astorga, 2013; Valencia *et al.*, s. f.), es recomendable verificar los diferentes factores que desencadenan la ocurrencia de inundaciones a nivel cuenca. Dependiendo de la escala espacial a la que se requiera realizar el estudio, una fuente de información digital para México es la capa de las 757 cuencas hidrológicas en las que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) divide al país con la finalidad de calcular la disponibilidad de agua superficial (CONAGUA, 2022c). No obstante, se deberá tener en cuenta en los análisis la totalidad del área de drenaje con influencia hacia el sitio de interés, por lo que, en algunos casos, la cuenca total de aportación podrá contemplar una mayor área de la determinada por las cuencas predefinidas.

A continuación, se presenta un primer acercamiento a algunas de las bases de datos disponibles a escala regional y global, relacionadas con los factores que inciden en la exposición ante inundaciones.

Cambio en la presencia de agua superficial
A través de un análisis de imágenes satelitales obtenidas entre 1984 y 2015, con resolución de 30 metros, se determinaron zonas donde se han observado incrementos o disminución de la presencia de agua superficial en este periodo, la intensidad determina el grado de cambio ocurrido, expresado como porcentaje, en el que una mayor intensidad positiva, se referirá a un mayor incremento en la presencia de agua superficial. Esta base de datos denominada *Global Surface Water* (Pekel *et al.*, 2016) puede ser consultada y descargada desde Google Earth Engine para la zona de estudio de interés. Cabe mencionar que las zonas donde existe presencia de agua superficial son cuerpos de agua o corrientes, naturales o artificiales, por lo que las variaciones pueden ser consecuencia de cambios en el comportamiento hidrológico e hidráulico de la cuenca. La figura 1 muestra la situación del porcentaje de intensidad de cambio de presencia de agua superficial para México.

Cambio de uso de suelo

Un reflejo del impacto de las actividades humanas es la variación temporal y espacial del uso de suelo. A nivel global, se analizaron imágenes satelitales tomadas entre 1984 y 2015 para definir el número de cambios en el uso de suelo utilizando percepción remota (Winkler *et al.*, 2021). Así, fue posible identificar aquellas regiones donde se han presentado mayores cam-

bios entre los diferentes tipos de uso de suelo. Estos cambios tienen impactos en la respuesta hidrológica e hidráulica de sus cuencas, y pueden incrementar la intensidad y frecuencia de las inundaciones. De manera particular, en lo que respecta a la expansión urbana, un estudio adicional basado también en imágenes satelitales con resolución de 30 metros, para el periodo comprendido entre 2000 y 2020, aplicando técnicas de *machine learning*, determinó los cambios en la extensión y altura de bosques, cultivos, zonas urbanas, agua superficial y perenne (Potapov *et al.*, 2022). Un aspecto resaltable de estas bases de datos es que procesaron información reciente, a diferencia de la temporalidad disponible a nivel regional.

Adicionalmente, en México se cuenta con información digital disponible sobre el uso de suelo para diferentes escenarios temporales a nivel nacional, publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2016), la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2022) y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2021). De acuerdo con el *Informe de la situación del medio ambiente en México* (SEMARNAT, 2018), la mayor parte de las transformaciones de la vegetación primaria del país ocurrieron antes de la década de los setenta y aún se observan pérdidas de más de 50,000 hectáreas anuales en selvas y matorrales, aproximadamente. Cabe mencionar que entre la información disponible para diferentes fechas existen casos en los que los datos cuentan con distintas características de



CAMBIOS EN EL USO DE SUELO TIENEN IMPACTOS EN LA RESPUESTA HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DE SUS CUENCAS, Y PUEDEN INCREMENTAR LA INTENSIDAD Y FRECUENCIA DE LAS INUNDACIONES.

escala, resolución y clasificación, lo que deriva en complicaciones al momento de utilizarlas o realizar comparativas.

A escala del territorio nacional se han llevado a cabo esfuerzos para desarrollar análisis de los cambios del uso de suelo, en específico, en los periodos de 1970 a 2002 (Sánchez *et al.*, 2009) y de 2005 a 2011 (CONABIO, 2023), donde se muestran las áreas con uno o más cambios acumulados por año sobre el uso de suelo, como se puede observar en la figura 2, y recientemente a través del Sistema Satelital de Monitoreo Forestal que ha avanzado en el proceso de mapas de cobertura de suelo con año base 2016 y de cambio de cobertura para los períodos 2000-2003, 2003-2011, 2011-2014 y 2014-2016, sin embargo, al momento únicamente se cuenta con mapas para los estados de Campeche, Chiapas, Jalisco, Quintana Roo y Yucatán (CONAFOR, 2021).

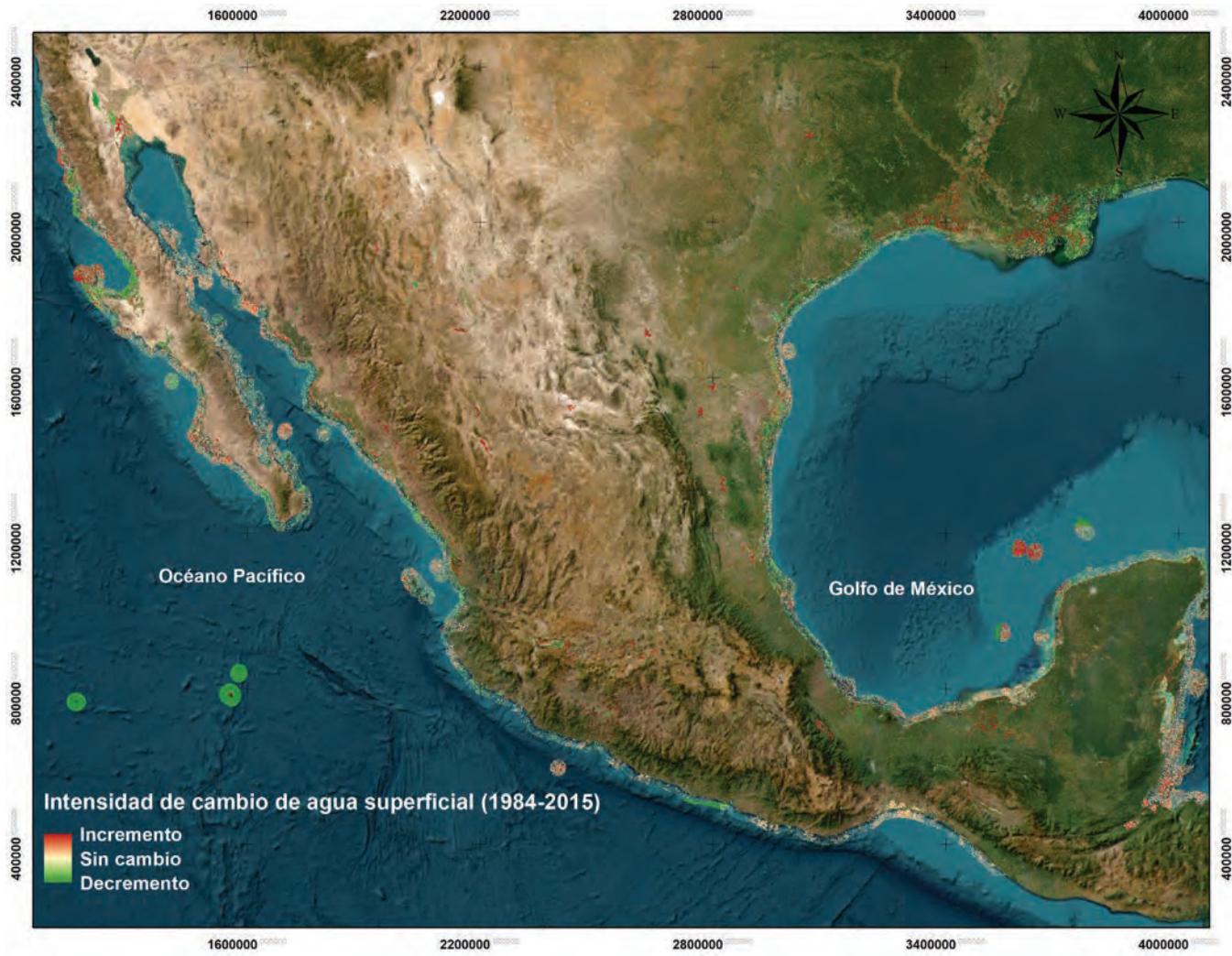


Figura 1. Porcentaje de intensidad de cambio en la presencia de agua superficial en México.

- Mediante el análisis de imágenes satelitales obtenidas entre 1984 y 2015 (resolución 30 m) se determinaron zonas donde se observó un incremento o disminución de la presencia de agua superficial.
- La intensidad determina el grado de cambio ocurrido: mayor intensidad positiva refleja un incremento mayor en la presencia de agua superficial.
- La base de datos Global Surface Water se puede consultar y descargar desde Google Earth Engine para la zona de estudio de interés.

Fuente: elaboración propia con información de Pekel *et al.*, 2016.

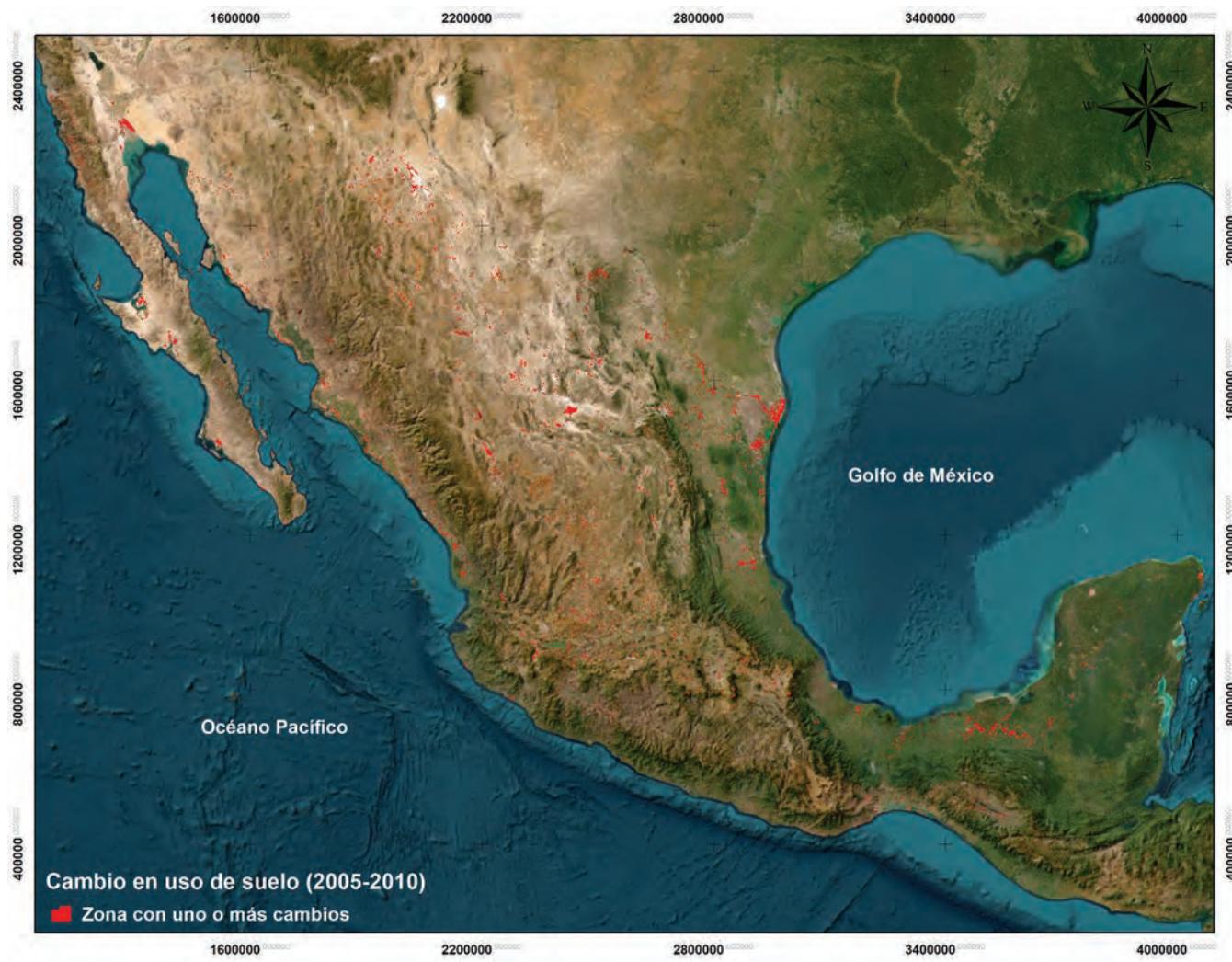


Figura 2. Áreas con cambio en uso de suelo entre 2005 y 2011 para México.

- Se identificaron aquellas regiones donde se han presentado mayores cambios entre los tipos de uso de suelo, a partir del análisis de imágenes satelitales tomadas entre 1984 y 2015.
- Los cambios en el uso de suelo afectan la respuesta hidrológica e hidráulica de las cuencas y pueden incrementar la intensidad y frecuencia de las inundaciones.
- En México, la mayor parte de las transformaciones de la vegetación primaria del país ocurrieron antes de la década de los setenta, pero aún se observan pérdidas de más de 50,000 hectáreas anuales en selvas y matorrales (SEMARNAT, 2018).

Fuente: elaboración propia con información de CONABIO (2023).

Méjico cuenta con registros históricos de estaciones climatológicas a cargo de instituciones gubernamentales, educativas o particulares, los cuales son recopilados por el Sistema Meteorológico Nacional y se encuentran disponibles a través de diversas bases de datos.

Precipitación normal anual

Para Méjico, según la climatología del periodo 1991-2020 analizada por la CONAGUA y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) con los datos de 1,665 estaciones climatológicas, se cuenta actualmente con información de la precipitación normal anual y mensual (CONAGUA, 2022b). Al conocer el comportamiento de esta variable climatológica, es posible caracterizar a las regiones de interés en cuanto al volumen de agua que podría considerarse como disponible para transformarse en escurrimiento o infiltrarse (figura 3).

De analizarse los datos de manera mensual, de igual forma se presenta la oportunidad de describir el comportamiento de la precipitación para las temporadas principales de estiaje y lluvias. Para los casos de estudios relacionados con eventos de inundación, el análisis de la ocurrencia de precipitación en la temporada de lluvias es relevante.

Respecto a los datos de precipitación diaria, a nivel nacional se cuenta con registros históricos de diversas estaciones climatológicas a cargo de varias instituciones gubernamentales, educativas o particulares, los cuales son recopilados por el SMN y se encuentran disponibles en bases de datos como el Sistema de Información Hidrológica (CONAGUA, 2019) y la plataforma del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE, 2022). Si bien el número de estaciones existentes, operando o no, se podría considerar vasto, las series de datos cuentan con períodos discontinuos de información, tanto para una misma estación como entre ellas, lo cual resulta en dificultades para su empleo al momento de analizar el comportamiento de la precipitación ponderada para una cuenca hidrológica.

Como alternativa para llevar a cabo análisis climatológicos, existe la base de datos denominada Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data (CHIRPS), que consiste en datos diarios, mensuales y quinquenales de precipitación, con extensión casi global y alta resolución, creada por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional del Sistema de Alerta Temprana de Hambruna (Funk *et al.*, 2015). El periodo de registro es superior a los 35 años, desde 1981 a la fecha. Esta información compila datos satelitales y de estaciones en campo, creando series de tiempo de lluvia que se encuentran disponibles en formato de malla o tabular. Para la región de México, el SMN proporciona la información de las estaciones climatológicas para la corroboración de los datos satelitales empleados. Para acceder a esta información existen diferentes plataformas, como ClimateServ de Servir Global, donde los datos de precipitación históricos pueden ser descargados para el área de interés a partir de un archivo vectorial tipo *shapefile* comprimido o GeoJSON.

Precipitación ante el cambio climático

Respecto al estudio de los efectos del cambio climático sobre la variable de precipitación, se han analizado los modelos de circulación global que muestran una mejor representación para las condiciones particulares de ciertas regiones. Para el caso de México, entre los que se ajustan mejor se encuentra el modelo francés denominado CNRM CM5 (Centre National de Recherches Météorologiques), de acuerdo con Cavazos *et al.* (2013) citado en INECC (2022). El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) tiene disponible para descarga los archivos digitales de las anomalías de temperatura y pre-

cipitación por mes, para los diferentes modelos y trayectorias representativas de emisiones de CO₂ y horizontes temporales. De manera similar a la precipitación normal, al verificar la respuesta de esta variable ante las anomalías mensuales definidas por algún escenario, trayectorias de concentración representativas y horizontes temporales, para la temporada de lluvias permitiría ver el impacto del cambio climático y prever la tendencia de los volúmenes de escrínimiento que pudieran generar inundaciones.

Peligro y presencia de ciclones tropicales

Especialmente para nuestro país, se ha identificado el grado de peligro por ciclones tropicales al que se encuentran expuestos los municipios de México, incluyendo la tasa de excedencia y su intensidad (Jiménez *et al.*, 2012). Esta capa se encuentra disponible en el *Atlas nacional de riesgos* del CENAPRED y es posible descargarla en formato vectorial.

Asimismo, la CONAGUA ha recopilado la localización de aquellos sitios donde han tocado tierra los ciclones tropicales entre 1971 y 2021 (ver figura 4), tanto en el Golfo como en el Pacífico, capa que se encuentra disponible en el portal del Sistema Nacional de Información del Agua (CONAGUA, 2022a). Aunado a esta información, también se debe corroborar el efecto de aquellos ciclones que, si bien no tocaron tierra en el país, tuvieron un impacto negativo.

Inundaciones históricas

Tras la ocurrencia de eventos de inundación, es importante realizar un análisis posevento, en el cual se dimensionen las afectaciones, desde el área de la inundación hasta las pérdidas, tanto de vidas humanas como económicas.

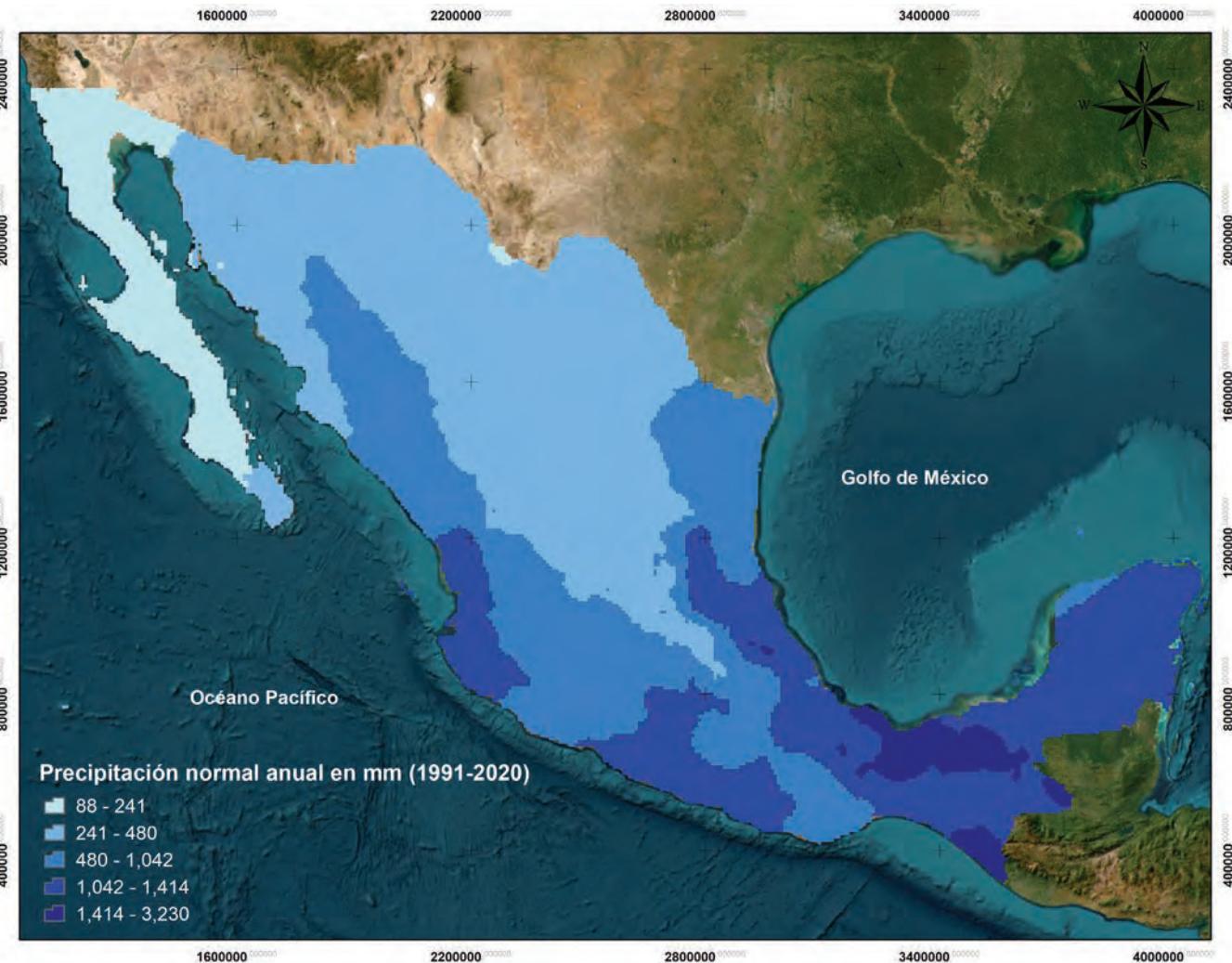


Figura 3. Precipitación normal anual 1991-2020 para México.

- En México, se cuenta con información de la precipitación normal anual y mensual, obtenida por la CONAGUA y el SMN a partir del análisis de la climatología del periodo 1991-2020 con los datos de 1,665 estaciones climatológicas.
- Conocer el comportamiento de esta variable climatológica permite caracterizar las regiones de interés en cuanto al volumen de agua que se podría transformar en escurrimientos o infiltrarse.
- Los datos de precipitación diaria se encuentran disponibles en bases de datos como el Sistema de Información Hidrológica (CONAGUA, 2019) y la plataforma del CICESE.

Fuente: elaboración propia con información de la CONAGUA (2022b).

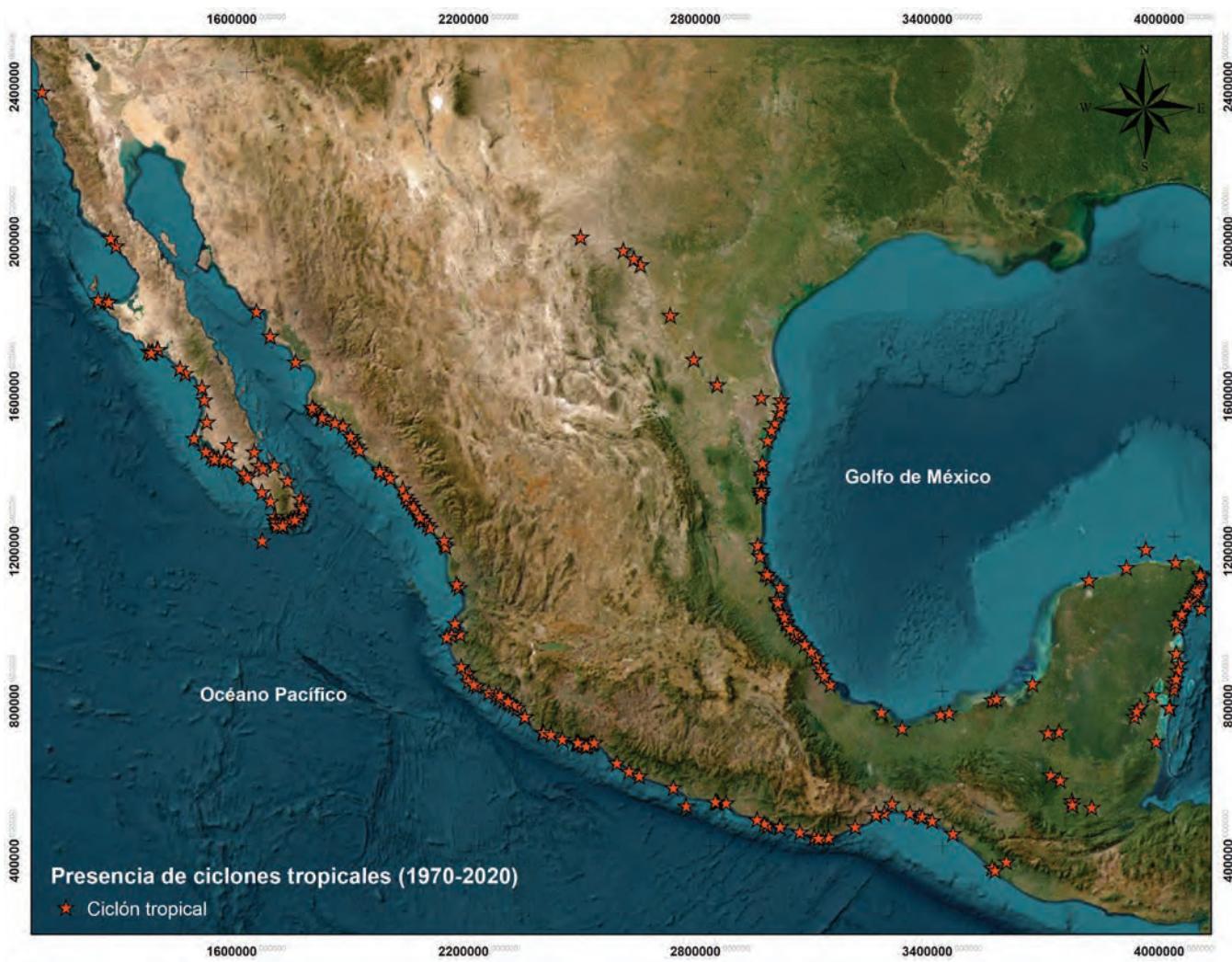


Figura 4. Presencia de ciclones tropicales entre 1970 y 2021.

- Se ha identificado el grado de peligro por ciclones tropicales al que están expuestos los municipios de México, incluyendo la tasa de excedencia y su intensidad.
- La información está disponible en el Atlas Nacional de Riesgos del CENAPRED y es posible descargarla en formato vectorial.
- La CONAGUA ha recopilado la localización de aquellos sitios donde han tocado tierra los ciclones tropicales entre 1971 y 2021, tanto en el Golfo como en el Pacífico. La información se encuentra disponible en el portal del Sistema Nacional de Información del Agua.

Fuente: elaboración propia con información de la CONAGUA (2022a).

cas. El CENAPRED tiene disponible en su *Atlas nacional de riesgos para México* (CENAPRED, s. f.), una relación de la extensión de inundaciones históricas recopiladas para todo el país, desde 2009 hasta 2021. En la base de datos se presentan las manchas de inundación o polígonos reconocidos tanto en campo como desde imágenes satelitales de cada evento.

A escala global, se dispone de diversas bases de datos que conjuntan información de inundaciones históricas con base satelital del sensor denominado Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) y de asentamientos humanos, como The Global Flood Database, que maneja datos para un periodo de 15 años, incorporando las fechas de ocurrencia, origen, área afectada y pérdidas humanas (Tellman et al., 2021). Desde su plataforma web se permite la descarga en archivo tipo ráster del área inundada y duración para el evento seleccionado.

La utilidad de contar con esta información es servir de base para las acciones de preparación, recuperación, prevención y mitigación del riesgo, para las zonas propensas a inundaciones.

Exposición económica ante inundaciones

Una manera de expresar las afectaciones ocasionadas por los eventos de inundación es en términos económicos. En 2011, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la

Ciencia y la Cultura (UNESCO) realizó un análisis global utilizando datos geofísicos y meteorológicos para la simulación de inundaciones, incluyendo información de exposición humana, así como la distribución del PIB (Peduzzi et al., 2010). En dicha base de datos, México se encuentra dentro de las principales regiones con bienes expuestos a inundaciones, expresados en función del producto interno bruto (PIB) en dólares a valor del año 2011 (figura 5). Por su parte, el CENAPRED presenta periódicamente el informe escrito *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México*, donde se valoran los daños a bienes del sector público, privado y social (CENAPRED, 2022).

Vulnerabilidad de asentamientos humanos ante inundaciones

Retomando la tendencia general de expansión de asentamientos humanos, otra herramienta para la toma de decisiones y planteamiento de políticas públicas es conocer la situación actual y futura de la vulnerabilidad ante inundaciones de las zonas urbanas. De ahí que, a nivel regional, el INECC desarrolló el *Atlas nacional de vulnerabilidad ante el cambio climático México*, empleando para su conformación la frecuencia potencial de inundaciones y el índice de estacionalidad de la precipitación, además de la respuesta hidrológica de la cuenca, la



ES IMPORTANTE REALIZAR LOS ANÁLISIS POSEVENTO, EN LOS CUALES SE DIMENSIONAN LAS AFECTACIONES, DESDE EL ÁREA DE LA INUNDACIÓN HASTA LAS PÉRDIDAS, TANTO DE VIDAS HUMANAS COMO ECONÓMICAS.

población susceptible a inundaciones y el porcentaje del municipio con zonas de inundación. Para verificar la capacidad adaptativa, se consideró la existencia de instrumentos para la gestión del riesgo, sistemas de regulación de avenidas, protección y restauración de ecosistemas para prevenir inundaciones, y de protección civil (González *et al.*, 2019). De acuerdo con estos autores, el rango de vulnerabilidad se expresa como «bajo», «medio», «alto» y «muy alto», como se ilustra en la figura 6. Al mismo tiempo, presentan dicha vulnerabilidad asociada a los escenarios de cambio climático derivados de los modelos globales CNRM-CM5, GFDL-CM3, HADGEM2-ES y MPI-ESM-LR, para trayectorias de concentración representativas y horizontes temporales, a nivel municipal y estatal.

Conclusiones

Para estar en posibilidades de llevar a cabo una correcta gestión de los recursos hídricos, incluyendo el manejo de inundaciones como estrategia, es necesario conocer los diferentes factores que determinan la exposición ante inundaciones para cierta región. El conocimiento de estos factores facilita orientar las acciones de manejo, planeación e inversión para la prevención, atención y mitigación de los desastres.

En nuestro país existen oportunidades de mejora en cuanto a la medición y disponibilidad de información de las variables del ciclo hidrológico. A pesar de esta situación, es posible acceder a la información global, con la incertidumbre que conlleva por la resolución de la información base, metodologías y consideraciones aplicadas para su desarrollo.

En lo que se refiere a información disponible de los factores que pueden propiciar un evento de inundación, ésta posibilita, por ejemplo, definir las zonas en las que ha disminuido o aumentado la presencia de agua superficial, así como verificar el notorio el crecimiento de la urbanización en las márgenes de las corrientes y en planicies de inundación. Por otra parte, el estudio de los datos de precipitación para temas de inundación, durante la temporada de lluvias, reflejará el comportamiento que ha mostrado esta variable y será posible observar su tendencia considerando escenarios de cambio climático disponibles. Un análisis con mayor detalle incluiría revisar el comportamiento de las intensidades, ya que en el caso en que la precipitación se redujera en magnitud, se podría presentar en duraciones más cortas, provocando, por ejemplo, inundaciones repentinas.

57

Conocer los diferentes factores que determinan la exposición ante inundaciones para cierta región permite gestionar correctamente los recursos hídricos, incluyendo el manejo de inundaciones como estrategia. Esto ayuda a orientar las acciones de manejo, planeación e inversión para la prevención, atención y mitigación de los desastres.

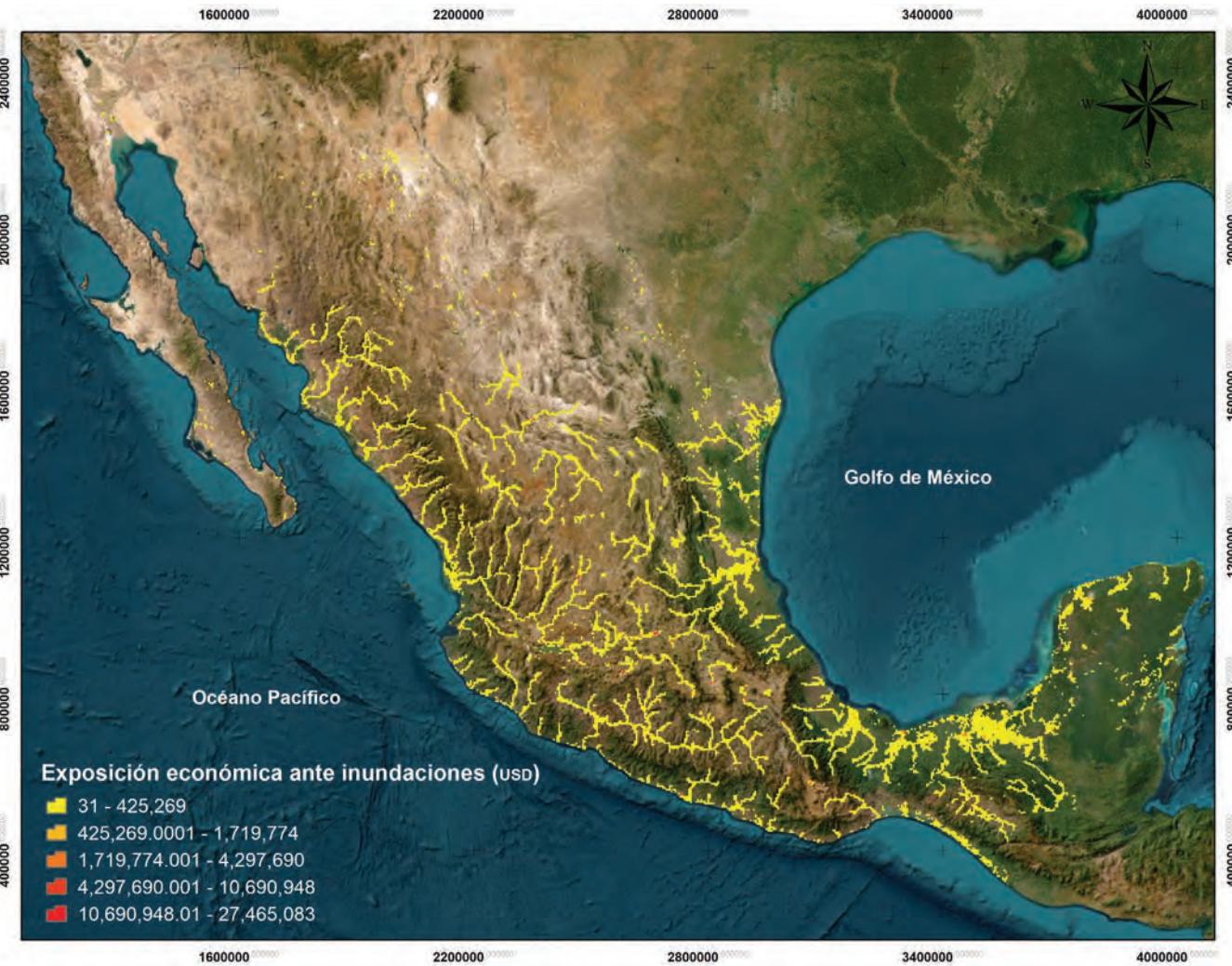


Figura 5. Exposición económica ante inundaciones para México expresada en dólares americanos respecto al PIB de 2011.

- En 2011, la UNESCO realizó un análisis global utilizando datos geofísicos y meteorológicos para la simulación de inundaciones, incluyendo información de exposición humana, así como la distribución del PIB.
- México se encuentra dentro de las principales regiones con bienes expuestos a inundaciones, expresados en función del PIB en dólares a valor del año 2011.
- El CENAPRED presenta periódicamente el informe Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México, donde se valoran los daños a bienes del sector público, privado y social.

Fuente: elaboración propia con información de Peduzzi et al. (2010)

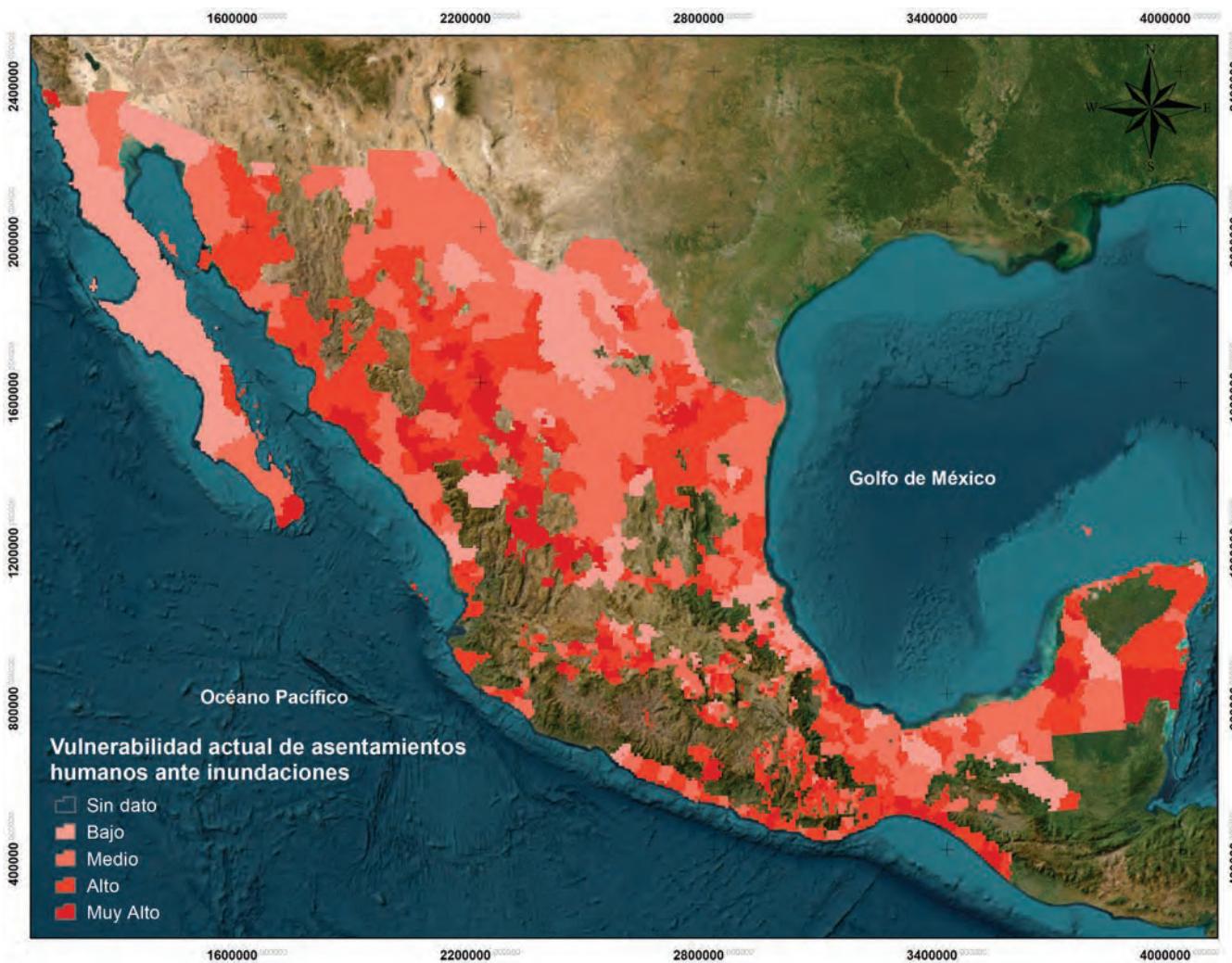


Figura 6. Vulnerabilidad actual de asentamientos humanos ante inundaciones.

- Otra herramienta para la toma de decisiones y el planteamiento de políticas públicas es conocer la situación actual y futura de la vulnerabilidad ante inundaciones de las zonas urbanas del país.
- El INECC desarrolló el *Atlas nacional de vulnerabilidad ante el cambio climático México* a partir de la frecuencia potencial de inundaciones y el índice de estacionalidad de la precipitación, la respuesta hidrológica de la cuenca, la población susceptible a inundaciones y el porcentaje del municipio con zonas de inundación.
- El rango de vulnerabilidad se expresa como «bajo», «medio», «alto» y «muy alto».

Fuente: elaboración propia con información de González et al. (2019).

Actualmente existen asentamientos humanos que se encuentran bajo alta y muy alta vulnerabilidad ante inundaciones y continuarán o empeorarán su estado bajo ciertas condiciones de cambio climático, en caso de realizar acciones de mitigación. Además, al contar con información de potenciales daños económicos, se puede evaluar la viabilidad de medidas estructurales y no estructurales.

Algunas de las capas de información presentadas, como la del cambio en el incremento de la urbanización y por ende el uso de suelo, la presencia de agua superficial, así como el conocimiento sobre la variación de las condiciones climatológicas, y las respuestas hidrológicas e hidráulicas, nos recuerdan la necesidad de considerar en el manejo de inundaciones la variabilidad espacial y temporal de este fenómeno.

Vale la pena señalar que el desarrollo y publicación de este tipo de bases de datos se encuentra en constante actualización, por lo que las aquí mostradas no son las únicas disponibles alrededor de las condiciones generadoras de eventos de inundación. Así pues, la necesidad de consultar bases de datos adicionales para el análisis de la exposición ante inundaciones podrá estar sujeta a las características de la zona de interés y de los factores que pueden desencadenar este fenómeno en cada caso particular.



Edith Bonilla-López

Licenciada en Ingeniería Civil por la Universidad Veracruzana y maestra en Ingeniería Civil por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Trabajó para la Comisión Nacional del Agua como consultora externa y jefa de proyecto, para atender principalmente temas relacionados con estudios hidrológicos de obras de protección y control, proyectos de delimitación de zonas federales, elaboración de atlas de peligro de inundación y seguimiento del Programa Nacional contra Contingencias Hidráulicas. Actualmente es miembro de la Cátedra UNESCO en Riesgos Hidrometeorológicos y candidata a doctora en Ciencias del Agua por la Universidad de las Américas Puebla, desarrollando su proyecto de investigación sobre el análisis de la variabilidad de las inundaciones y sus repercusiones en criterios técnicos para el manejo de inundaciones.
edith.bonillalz@udlap.mx



Carlos Patiño-Gómez

Es Ingeniero Civil de profesión y maestro en Ciencias en Hidráulica egresado del Instituto Politécnico Nacional. Tiene el título de doctor en Ingeniería Civil y un posdoctorado con especialidad en recursos hídricos y medioambiente, por parte de la Universidad de Texas en Austin, EE. UU. Miembro del SNI, nivel 1. Actualmente es profesor de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de las Américas Puebla, director de la Cátedra UNESCO-UDLAP en Riesgos Hidrometeorológicos y miembro del Consejo Técnico de Cambio Climático del estado de Puebla.
carlos.patinogomez@udlap.mx

 REFERENCIAS

- Astorga, Y. (2013). *Guía para la aplicación de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) a nivel municipal*. Global Water Partnership. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/guia-girh-a-escala-municipal.pdf
- Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. (2022). Base de datos climatología nacional (sistema CLICOM). CICESE. <http://clicom-mex.cicese.mx/>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2022). *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México*. Resumen ejecutivo 2021. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Coordinación Nacional de Protección Civil. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/487-RESUMENEJECUTIVOIMPACTO2021.PDF>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. (s. f.). *Atlas Nacional de Riesgo*. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Coordinación Nacional de Protección Civil. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/visor-capas.html>
- Comisión Nacional del Agua. (2019). Sistema de Información Hidrológica. CONAGUA. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://sih.conagua.gob.mx/>
- Comisión Nacional del Agua. (2022a). Ciclones tropicales 1970-2021. CONAGUA. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/SINA/>
- Comisión Nacional del Agua. (2022b). *Distribución de la precipitación normal 1991-2020*. CONAGUA. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/SINA/>
- Comisión Nacional del Agua. (2022c). *Archivo vectorial de las 757 cuencas hidrológicas de México*. CONAGUA. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/SINA/>
- Comisión Nacional Forestal. (2021). Mapas de cobertura del suelo. CONAFOR. <https://www.gob.mx/conafor/documentos/mapas-de-cobertura-del-suelo-al-ano-base-2016-y-mapas-de-cambios-de-cobertura-del-suelo-del-sistema-satelital-de-monitoreo-forestal>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2023). Cobertura del suelo de México. Portal de Geoinformación 2023. CONABIO <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A. y Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations - A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- González, D. I., Vermonden, A., López, F., Gress, F., Rojas, M., Linares, M. A., Machorro, J. y Enriquez, C. (2019). *Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático* (1a ed.). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC_LibroDigital.pdf
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2022). *Guía de escenarios de cambio climático para tomadores de decisiones*. INECC. https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/conten_intro/Guia_de_Escenarios_CC_mar2022.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). Uso de suelo y vegetación. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/#-Descargas>

- Jha, A. K., Bloch, R. y Lamond, J. (2012). *Cities and Flooding. A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century*. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8866-2>
- Jiménez-Cisneros, B. (2015). Seguridad hídrica: retos y respuestas, la fase VIII del programa hidrológico internacional de la UNESCO (2014-2021). *Aqua-LAC*, 7(1), 20-27. <https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2015-v7-1-03>
- Jiménez, M., Baeza, C., Matías, L. G. y Eslava, H. (2012). Mapas de índices de riesgo a escala municipal por fenómenos hidrometeorológicos. <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/descargas/Metodologias/Hidrometeorologico.pdf>
- Munich, R. E. (2017). *Natural catastrophe losses at their highest for four years*. Munich RE, January. <https://www.munichre.com/en/company/media-relations/media-information-and-corporate-news/media-information/2017/2017-01-04-natural-catastrophe-losses-at-their-highest-for-four-years.html>
- Peduzzi, P., Chatenoux, B., Dao, H., de Bono, A., Deichmann, U., Giuliani, G., Herold, C., Kalsnes, B., Kluser, S., Løvholt, F., Lyon, B., Maskrey, A., Mouton, F., Nadim, F. y Smebye, H. (2010). *The Global Risk Analysis for the 2009 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N. y Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418-422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>
- Potapov, P., Hansen, M. C., Pickens, A., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Turubanova, S., Zalles, V., Li, X., Khan, A., Stolle, F., Harris, N., Song, X.-P., Baggett, A., Kommareddy, I. y Kommareddy, A. (2022). The Global 2000-2020 Land Cover and Land Use Change Dataset Derived from the Landsat Archive: First Results. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 1-22. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.856903>
- Sánchez, S., Flores, A., Cruz-Leyva, I. A. y Velázquez, A. (2009). Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. En *Capital natural de México: Estado de conservación y tendencias de cambio* (vol. 2, pp. 75-129). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde*. <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/index.html>
- Tellman, B., Sullivan, J. A., Kuhn, C., Kettnet, A. J., Doyle, C. S., Brakenridge, G. R., Erickson, T. A. y Slayback, D. A. (2021). Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. *Nature*, 596, 80-86. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03695-w>
- United Nations. (2011). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing Risk, Redefining Development*. United Nations International Strategy for Disaster Reduction.
- United Nations. (2009). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Risk and poverty in a changing climate*. UN-HABITAT.
- Valencia, J. C., Díaz, J. J. y Vargas, L. (s. f.). *La gestión integrada de los recursos hídricos en México*. https://vortice.conagua.gob.mx/storage/files.conagua/upload/05022021_1612548107.pdf
- Winkler, K., Fuchs, R., Rounsevell, M. y Herold, M. (2021). Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>

Entorno

POLÍTICA EDITORIAL

CONSULTE LA POLÍTICA EDITORIAL EN: [ENTORNO.UDLAP.MX](https://entorno.udlap.mx)

MISIÓN

Difundir el conocimiento, los avances científicos y tecnológicos, y la creación artística a través de la publicación de artículos inéditos que brinden aportaciones originales.

CONTENIDO

Multidisciplinario, integrado con artículos derivados de una investigación, innovación o creación artística desarrollada en universidades y centros de investigación con la participación de investigadores, profesores y/o estudiantes de instituciones mexicanas o extranjeras que difundan aportaciones o innovaciones científicas y tecnológicas originales, obras de creación artística o cultural. La orientación de los textos será de difusión del conocimiento y creación artística.

Para los efectos de esta política editorial, se distingue la difusión como la publicación de contenidos originales que están dirigidos a lectores con formación profesional.

COBERTURA TEMÁTICA

Interdisciplinaria, en cualquiera de los campos del conocimiento, la innovación o la creación artística que se cultivan en la Universidad de las Américas Puebla.

TIPO DE CONTRIBUCIONES

· Artículo científico

Documento científico que trata y difunde los resultados de una investigación o innovación exitosa, cuyas contribuciones aportan e incrementan el conocimiento actual. La orientación de los textos será de difusión del conocimiento y estos se someterán a revisión por pares.

· Artículo de creación

Documento que trata y difunde los resultados de una obra de creación artística o cultural. Será sometido a revisión por pares.

· Artículo de estado del arte

Documento que analiza a profundidad y difunde el conocimiento, en el estado del arte, de un problema, campo de investigación o área artística o literaria, de relevancia e interés general. Será sometido a revisión por pares.

PROCESO DE ARBITRAJE

Las propuestas de contribuciones a la revista serán analizadas, revisadas y dictaminadas por el editor en jefe, con el visto bueno del presidente del Consejo Editorial, quienes se apoyarán en los editores asociados y en dictámenes elaborados por árbitros designados para cada artículo.

El proceso de selección de artículos a publicar se realiza mediante un sistema de arbitraje «doble ciego», en el cual los árbitros desconocen el nombre de los autores de los artículos, y estos últimos desconocen el nombre de los árbitros. El proceso de arbitraje se rige por los criterios de veracidad, calidad ética y científica, y no discriminación.

La participación de los miembros del Consejo Editorial, del Comité Editorial y de los árbitros, se considera una contribución profesional, que se realiza de manera honorífica. El proceso de arbitraje de los artículos se puede consultar en <https://entorno.udlap.mx>.

Todos los artículos se someterán a proceso de revisión por pares. Se publicarán trabajos de investigación, análisis e innovación científica, social, humanística o artística de especialistas y académicos mexicanos o de cualquier otra nacionalidad. Se podrán incluir coautores de diversas instituciones. Se aceptarán trabajos en español o inglés, y en todos los artículos se incluirá un resumen y palabras clave en español y en inglés.

AUTORES

Los autores, por el simple hecho de enviar su artículo para posible publicación en *Entorno UDLAP*, se comprometen a cumplir con el Código de Ética de la revista, disponible en el sitio web <https://entorno.udlap.mx/codigo-de-etica/>. La responsabilidad del contenido de los artículos corresponde exclusivamente a los autores. La propuesta de un trabajo compromete a su autor a no enviarlo simultáneamente a la consideración de otras publicaciones.

Los autores, cuyos artículos hayan sido aceptados, estarán de acuerdo en que éstos sean publicados en versión impresa y digital por la Universidad de las Américas Puebla, y que ésta puede hacer uso de sus contenidos con propósitos de difusión y promoción de la revista. Asimismo, aceptan que los artículos se publicarán bajo licencia de acceso abierto (Open Access) tipo «BY-NC-SA» Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).

Los artículos se someterán a revisión de estilo y diseño gráfico, por lo que los autores estarán atentos para resolver las dudas y propuestas que presenten los editores y la coordinación editorial. Cada autor aprobará las pruebas de imprenta de sus textos, como paso previo a su publicación.

RECEPCIÓN DE TRABAJOS

La recepción de artículos está abierta permanentemente, y una vez concluido el proceso de revisión por pares, se informará a los autores del resultado.

En caso de que éste sea aprobatorio, los editores procurarán publicar el artículo en el número más cercano posible de la revista.

Los artículos propuestos deberán enviarse siguiendo la Guía de Autores, que se puede consultar en el sitio web de la revista <https://entorno.udlap.mx/instrucciones/>. Los interesados en publicar sus artículos deberán enviar el documento al editor en jefe de *Entorno UDLAP*, al correo electrónico: revista.entornoudlap@udlap.mx.

Todos los artículos propuestos deberán enviarse acompañados de una carta de presentación y originalidad, firmada por el autor de correspondencia, con el formato que se incluye en el portal de la revista en <https://entorno.udlap.mx/cartas-de-presentacion-de-articulos/>.

En el caso de textos con más de un autor, se indicará el nombre del «autor de correspondencia» que actuará en representación de todos los autores, y será quien mantenga la comunicación con el cuerpo editorial de la revista y coordinará el proceso de revisión con sus coautores y, en caso de ser aceptado para publicación, recabará la aprobación de la impresión por parte de todos los autores.

A juicio del consejo editorial, se analizará la pertinencia de proponer números especiales de la revista, cuyos contenidos obedecerán a temas específicos seleccionados. En este caso también los artículos se someterán al proceso de revisión por pares.

PROCESO DE REVISIÓN

1. El autor, o autor de correspondencia, enviará el manuscrito del artículo propuesto al editor en jefe, quien revisará el cumplimiento general de los criterios de la política editorial para someter un manuscrito a revisión por pares, así como la carta de presentación y originalidad del texto. En caso de no cumplir los criterios editoriales, el editor en jefe lo informará a los autores para que, si así lo consideran conveniente, lo revisen y envíen de nuevo a proceso de revisión. En caso de cumplirse los criterios editoriales, el editor en jefe abrirá un expediente para el artículo y, con el apoyo del editor asociado del área de conocimiento correspondiente, designará dos árbitros de entre los miembros del comité editorial o invitará a otros profesores, investigadores o profesionales destacados a realizar el proceso de arbitraje. Los árbitros seleccionados podrán ser miembros de la UDLAP o externos.

2. El artículo se enviará a los árbitros y se les fijará un plazo de una semana para aceptar o declinar la invitación y de tres semanas para elaborar su dictamen. En caso de que un árbitro decline la invitación, el editor en jefe, junto con el editor asociado, designarán a otro árbitro.

3. El dictamen de los árbitros podrá emitirse en cualquiera de los siguientes sentidos:

- a. Aceptado
- b. Aceptado con cambios menores
- c. Aceptado sujeto a cambios mayores
- d. Rechazado

En todos los casos, el dictamen deberá ser argumentado adecuadamente. Por «aceptado sujeto a cambios mayores», se entiende que el manuscrito solo será publicado si los autores cumplen con los cambios propuestos por los árbitros y será sujeto a una nueva revisión de parte del editor y/o los árbitros. Por «aceptado con cambios menores» se entiende que el manuscrito ha sido aceptado y se publicará tan pronto el autor o autores cumplan con los cambios solicitados, lo cual será revisado por el editor. El dictamen será inapelable.

4. Una vez completado el ciclo de revisión y aprobado el texto, el editor en jefe enviará el manuscrito al Coordinador Editorial.

5. El coordinador editorial, con el apoyo del editor gráfico y del personal a su cargo, elaborarán el diseño editorial para la impresión final y lo enviarán al editor en jefe, presidente del consejo y al secretario ejecutivo para su revisión y aprobación. En caso necesario, se solicitará una nueva versión con correcciones a los autores. En esta etapa puede realizarse una revisión de estilo, que también será aprobada por los autores.

6. Una vez concluido el diseño editorial, el editor en jefe enviará a los autores la versión para impresión. Éstos, en su caso, harán las correcciones necesarias y firmarán una carta de autorización de la publicación.

PERIODICIDAD

Edición cuatrimestral. La revista se editará en papel y en formato electrónico.

ACESO ABIERTO

La revista en formato electrónico tendrá acceso abierto en los sitios de internet de la UDLAP.



entorno.udlap.mx





UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS PUEBLA



ACREDITACIÓN INTERNACIONAL

Conoce nuestra oferta académica

ESCUELA DE ARTES Y HUMANIDADES

- Animación Digital
- Arquitectura
- Arquitectura de Interiores
- Artes Plásticas
- Danza
- Diseño de Información Visual
- Historia del Arte y Curaduría
- Idiomas
- Literatura
- Música
- Teatro

ESCUELA DE CIENCIAS SOCIALES

- Antropología
- Ciencia Política
- Comunicación y Producción de Medios
- Comunicación y Relaciones Públicas
- Derecho
- Pedagogía
- Psicología Clínica
- Psicología Organizacional
- Relaciones Internacionales
- Relaciones Multiculturales

ESCUELA DE CIENCIAS

- Actuaría
- Biología
- Bioquímica Clínica
- Ciencia de Datos
- Ciencias de la Nutrición
- Cirujano Dentista
- Enfermería
- Física
- Médico Cirujano
- Nanotecnología e Ingeniería Molecular
- Químico Farmacéutico Biólogo



ESCUELA DE INGENIERÍA

- Ingeniería Ambiental
- Ingeniería Biomédica
- Ingeniería Civil
- Ingeniería en Energía
- Ingeniería en Industrias Alimentarias
- Ingeniería en Logística y Cadena de Suministros

- Ingeniería en Robótica y Telecomunicaciones
- Ingeniería en Sistemas Computacionales



Engineering
Accreditation
Commission



ESCUELA DE NEGOCIOS Y ECONOMÍA

- Administración de Empresas
- Administración de Hoteles y Restaurantes**
- Administración de Negocios Internacionales
- Artes Culinarias**
- Banca e Inversiones
- Economía**
- Estrategias Financieras y Contaduría Pública
- Mercadotecnia



*Todas nuestras licenciaturas cuentan con el Reconocimiento de Validez Oficial de Estudios RVOE, puede consultarse en www.udlap.mx

** No aplica acreditación AACSB

Ex hacienda Santa Catarina Mártir, C. P. 72810, San Andrés Cholula
Puebla, México ☎ 222 229 21 12 ☎ 222 577 38 29
informes.nuevoingreso@udlap.mx





UDLAP Consultores

Experiencia en soluciones con valor

CONSULTORÍA · EDUCACIÓN CONTINUA · SOLUCIONES EMPRESARIALES Y GUBERNAMENTALES · LABORATORIOS DE CALIDAD

Hemos desarrollado un modelo educativo que conjunta lo mejor de la academia de la Universidad de las Américas Puebla con la experiencia práctica de profesionales de diferentes giros y organizaciones, lo que nos ha permitido generar soluciones educativas únicas y de acuerdo a las necesidades específicas de nuestros clientes.



CONSULTORÍA

Con nuestros servicios de consultoría, ayudamos a nuestros clientes con asesoría especializada, metodologías de trabajo y herramientas con el objetivo de generar soluciones específicas, prácticas y efectivas a la medida de sus necesidades.

EDUCACIÓN CONTINUA

Programas que contribuyen en la formación, actualización y capacitación de nuestros clientes. Nos encontramos en una búsqueda constante para ofrecer temas de vanguardia que mejoren la competitividad de las empresas y fomenten el desarrollo integral de los participantes.

Nuestros profesores cuentan con amplia experiencia profesional y académica.



SOLUCIONES EMPRESARIALES

Diseñamos programas especiales para incrementar la eficiencia y competitividad de las empresas, lo que nos permite desarrollar habilidades y conocimientos aplicables de manera inmediata en temas de actualidad e innovación, por lo que el contenido, duración, lugar y forma de impartición se definen siempre en función de estas necesidades.

SOLUCIONES GUBERNAMENTALES

Contamos con programas enfocados hacia el mejoramiento de la administración pública en los ámbitos municipal, estatal y federal, teniendo como objetivos incrementar la calidad de los servicios de estos sectores y mejorar las capacidades y habilidades de los servidores públicos.



LABORATORIOS DE CALIDAD

Realizamos análisis de muestras, productos, pruebas y estudios de control de calidad, por medio de tecnología de vanguardia, en los distintos laboratorios de la UDLAP.



Para alcanzar tus metas...
¡SIGUE PREPARÁNDOTE!



SOMOS 5 ESTRELLAS

EXCELLENT



AUDITORÍA INTERNACIONAL QS STARS 2023



www.udlap.mx