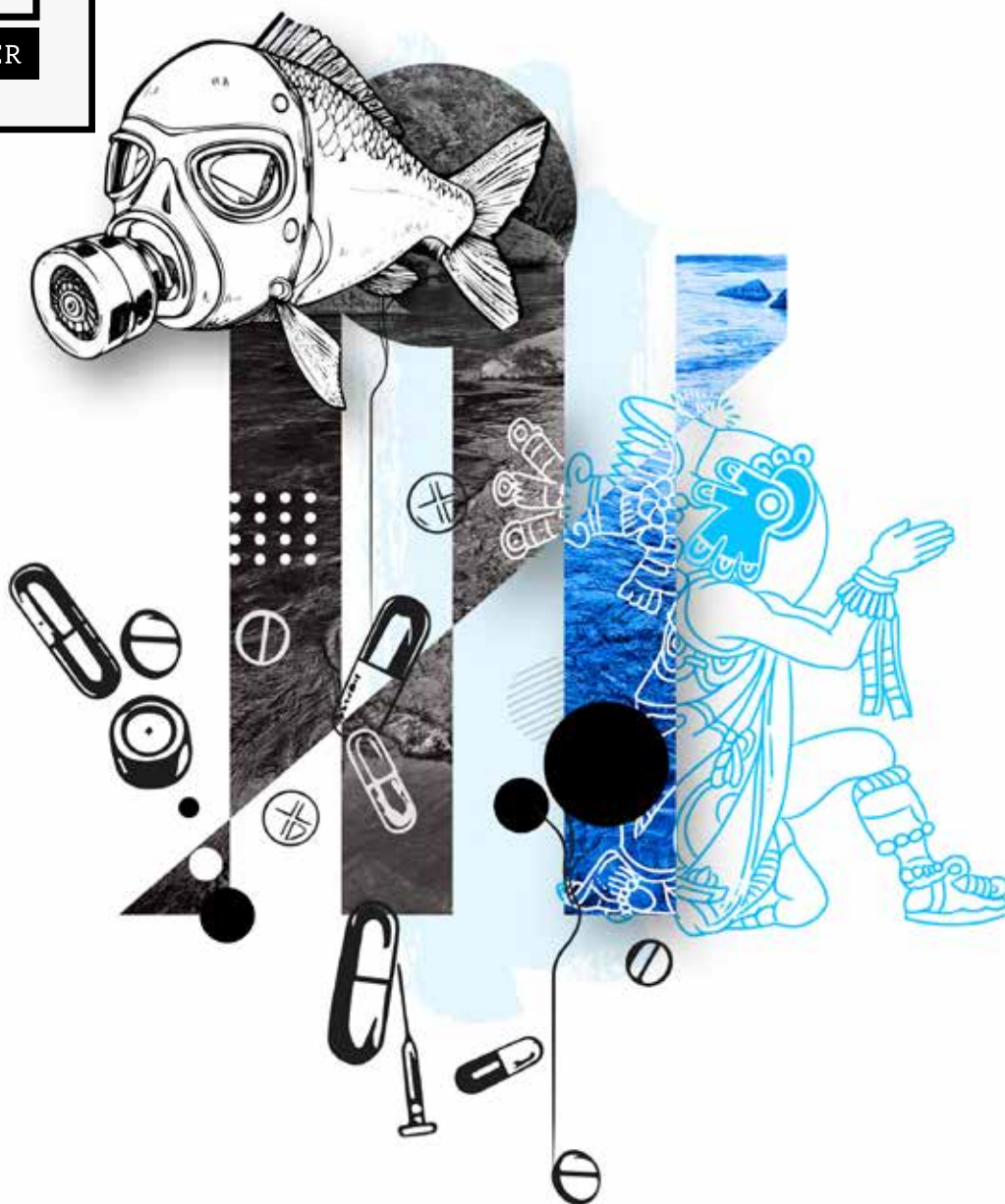


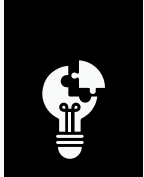
REVISTA

UNI
VER
SITA
RIA

DOSSIER

Agua





Aprovechamiento del agua de lluvia para su uso y posible consumo humano

Rainwater harvesting for use and possible human consumption

Por Cristina Morales Figueroa y Verónica Martínez Miranda

Resumen: La recolección de agua de lluvia aumenta la autosuficiencia hídrica y retrasa la necesidad de implementar o cambiar infraestructuras para distribución de agua potable, por ello se considera una solución para resolver el problema de abastecimiento. Las técnicas aplicadas recientemente para purificarla se basan en procesos fisicoquímicos y biológicos. El tratamiento electroquímico es eficaz en aguas residuales, pero se carece de información sobre su uso en la potabilización. Este artículo muestra un poco de la revisión de literatura reportada sobre los principales métodos de tratamiento de agua de lluvia (RWH) y sus aplicaciones.

Palabras clave: agua de lluvia, solar, potabilización, tratamiento.

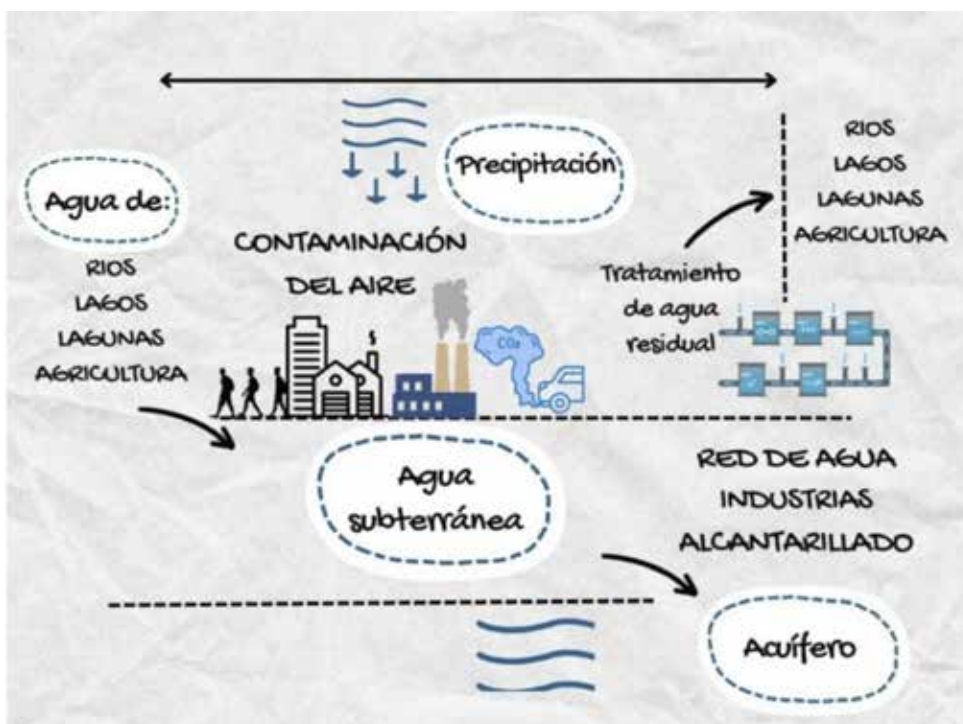
Abstract: Rainwater harvesting increases water self-sufficiency and delays the need to implement or change infrastructures for drinking water distribution, thus it is considered a solution to solve the supply problem. The techniques recently applied to purify it are based on physicochemical and biological processes. The electrochemical treatment is effective in wastewater, but there is a lack of information on its use in drinking water purification. This article shows some of the literature review reported on the main methods of rainwater treatment (RWH) and their applications.

Keywords: rainwater, solar, potabilization, treatment.

Solo 2.7% del agua en el mundo es dulce y menos del 1% de las aguas superficiales y subterráneas son de fácil acceso, es decir, millones de personas experimentan un alto estrés hídrico debido al aumento de la urbanización, industrialización y actividades antropogénicas. La creciente demanda de este líquido vital y su mala gestión ha limitado el buen desarrollo socioeconómico. Para asegurar la disponibilidad de este recurso, se desarrollan nuevas estrategias de uso racional, incluida la recolección sostenible de agua de lluvia (Abdullah et al., 2024).

El agua de lluvia constituye la entrada esencial del sistema hidrológico y es el factor principal que regula la hidrología de una región. Sus bajas concentraciones de contaminantes y mineralización son los principales beneficios de transformarla como una fuente alternativa (Gao et al., 2024). Actualmente, se utiliza un concepto nuevo para estudiar los problemas de calidad del agua en las ciudades (Figura 1).

Figura 1. Ciclo del agua urbano



Fuente: Modificado de Cisneros, 2011

Las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de lluvia determinan su calidad. Los tres puntos clave son la ubicación de captación, superficie de captación y almacenamiento (Liu et al., 2024).

Los tratamientos comúnmente aplicados en esta agua para uso y consumo humano son fisicoquímicos, los cuales emplean filtros con materiales de reúso, como arena, grava, vidrio y, por otro lado, materiales que permiten adsorber contaminantes (microorganismos y turbidez), por ejemplo, la piedra caliza y carbón activado. Aunque la adsorción presenta buenos resultados respecto a la disminución de contaminantes, tiene un alto costo operativo, lo cual ha limitado su aplicación (Morales-Figueroa et al., 2023). Los procesos biológicos, como biofiltros o biomembranas retienen metales pesados (plomo, cadmio, arsénico), al igual que materia orgánica y nutrientes (fósforo y nitrógeno). La desinfección solar o fotocatalítica solar, por su parte, remueve o elimina carga bacteriana (*E. coli*).



Dossier

Finalmente, los procesos electroquímicos que han sido poco estudiados en agua de lluvia logran remover basura, metales pesados, microorganismos, materia nitrogenada y turbidez (Latif et al., 2022).

El agua de lluvia tratada con filtración o adsorción se utiliza, sobre todo, en actividades secundarias (lavar autos, regar jardines, descarga en inodoros) y también a gran escala (avicultura, producción de ganado, agricultura, cultivo de plantas de ornato); sin embargo, rara vez alcanza la calidad de agua potable, por lo que se requieren tratamientos combinados (filtración/ adsorción/ desinfección o filtración/adsorción y electroquímicos) para lograr su uso y consumo humano (Shadeed y Alawna, 2021).

Se recomienda el uso de filtros en zonas urbanas, pues en las rurales la calidad del agua de lluvia es más alta. En áreas con escasez, la recolección de lluvia es una práctica autosuficiente para cubrir hasta 90% del consumo de agua de los hogares y la desinfección solar se reporta como una tecnología limpia y eficaz para la eliminación de presencia microbiana (*E. coli*), siendo este microorganismo ampliamente utilizado como indicador de la calidad del agua que alerta de los riesgos para la salud pública (Hernández Avilés y Chaparro, 2020). Por lo anterior, se concluye que el tratamiento de agua de lluvia juega un papel fundamental en la solución del problema de escasez en el mundo. 

Referencias

- Cisneros B. J. (2011). "Safe Sanitation in Low Economic Development Areas", en *Treatise on Water Science*, vol. 4. Doi: 10.1016/B978-0-444-53199-5.00082-8.
- Gao, Zan (2024). "Evolution of water quality in rainwater harvesting systems during long-term storage in non-rainy seasons", en *Science of the Total Environment*, vol. 912. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.168784.
- Hernández Avilés, Diana Margarita y Tania R. Chaparro (2020). "Tratamiento de agua de lluvia con fines de consumo humano", en *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 2, núm. 2. Doi: 10.18359/rcin.4409.
- Latif, Sajeev, Mohammad A. Alim y Ataur Rahman (2022). "Disinfection methods for domestic rainwater harvesting systems: A scoping review", en *Journal of Water Process Engineering*, vol. 46. Doi: 10.1016/j.jwpe.2021.102542.
- Liu, Sihang et al. (2024). "Microbial communities exhibit distinct diversities and assembly mechanisms in rainwater and tap-water storage systems", en *Water Research*, vol. 253. Doi: 10.1016/j.watres.2024.121305.
- Morales-Figueroa, C et al. (2023). "Treatment processes and analysis of rainwater quality for human use and consumption regulations, treatment systems and quality of rainwater", en *International Journal of Environmental Science and Technology*. Doi: 10.1007/s13762-023-04802-2.
- Md Abdullah et al. (2024). "Suitability of rainwater harvesting in saline and arsenic affected areas of Bangladesh", en *Heliyon*, vol. 10, núm. 14. Doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e34328.
- Shadeed, Sameer y Sandy Alawna (2021). "Optimal sizing of rooftop rainwater harvesting tanks for sustainable domestic water use in the West Bank, Palestine", en *Water (Switzerland)*, vol. 13, núm. 4. Doi: 10.3390/w13040573.



Cristina Morales Figueroa es Doctora en Ciencias Ambientales. Realiza cátedras-comecyt en el Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua, incorporado a la Universidad Autónoma del Estado de México. Experiencia en tratamiento de aguas residuales y agua de lluvia.



Verónica Martínez Miranda es Doctora en Ingeniería y profesora investigadora de tiempo completo en el Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua, adscrita a la Universidad Autónoma del Estado de México. Su línea de investigación en el control y tratamiento de agua.



Medicamentos para el resfriado: un alivio para ti, un reto para el planeta

Cold medications: a relief for you, a challenge for the planet

Por *María Eugenia Becerril Ortiz y Jorge Javier Ramírez García*

Resumen: Durante el invierno o el cambio de estación, el consumo de medicamentos aumenta significativamente debido a enfermedades comunes, como resfriados, gripe y problemas gástricos asociados con las festividades. Este incremento, aunque esencial para el alivio de síntomas, tiene un impacto ambiental preocupante. Muchos medicamentos, tras ser ingeridos, son excretados a través de la orina y terminan en sistemas de aguas residuales, donde las bajas temperaturas ralentizan su descomposición. Esto implica que los compuestos farmacéuticos persistan en el agua y el suelo, afectando ecosistemas y eventualmente regresando al ser humano.

Palabras clave: agua, frío, fármacos, ambiente.

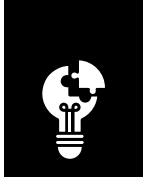
Abstract: During Winter or the change season, medicines consumption rises significantly due to common diseases, like colds, flu and stomach problems associated with holidays. This increase, although necessary for the relief of symptoms, has a worrying environmental impact. Many medicines, after being ingested, are expelled through urine and end up in wastewater systems, where low temperatures slow down their breakdown. This implies the persistence of pharmaceutical compounds in the water and the ground, affecting ecosystems and eventually, turning back to the human being.

Keywords: water, cold, drugs, environment.

El invierno se caracteriza por el frío, días más cortos y una atmósfera cargada de celebraciones, así como por estornudos, congestión nasal y tos. Estas afecciones se vuelven, para muchos, parte del día a día. Enfermarse durante el fin de año y los primeros meses del siguiente no parece una opción eludible. Entre compromisos y reuniones familiares, las visitas a la farmacia o al consultorio médico se convierten en el recurso más práctico para adquirir medicamentos que prometen aliviar síntomas rápidamente.

Sin embargo, esta solución, tan extendida en todo el mundo, tiene consecuencias que a menudo pasan desapercibidas y que, de no atenderse, pueden generar un impacto ambiental significativo.

El descenso de la temperatura favorece la aparición de resfriados, gripe y otras enfermedades respiratorias. Si bien las festividades y reuniones son motivo de alegría, también traen excesos que no siempre pasan desapercibidos para nuestro cuerpo. Las comidas, ricas



Dossier

en grasas y azúcares, junto con el consumo elevado de alcohol a menudo derivan en molestias como gastritis, acidez e indigestión.

Durante esta temporada, farmacias y consultorios médicos reportan un incremento de hasta 80% en la venta de medicamentos. Entre los más solicitados están los analgésicos, antiácidos, laxantes y antigripales, además de medicamentos para manejar el estrés y la ansiedad, que suelen intensificarse con el ajetreo y las expectativas propias del cierre de año. Esto refleja la necesidad de la población por encontrar alivio rápido a los síntomas, pero también revela un patrón de consumo masivo que, aunque beneficioso en lo inmediato, genera efectos secundarios a largo plazo.

Es fácil asumir que, una vez ingeridos, los medicamentos desaparecen con su función cumplida. Sin embargo, una gran parte de los compuestos químicos que contienen son excretados por el cuerpo a través de la orina y llegan a los sistemas de aguas residuales. Este problema no es exclusivo del invierno, pero durante esta estación se agrava debido al aumento en el consumo de medicamentos y a las bajas temperaturas, que ralentizan la descomposición de los químicos en el ambiente.

Estos residuos farmacéuticos permanecen por más tiempo en el agua y el suelo, lo que incrementa el riesgo de contaminación ambiental. Los ecosistemas acuáticos y terrestres, que ya enfrentan diversas amenazas, se ven muy afectados. Los compuestos químicos alteran el equilibrio natural,

y repercuten en las especies que habitan estos ecosistemas. Además, con el tiempo, estos contaminantes pueden regresar a nosotros a través del agua que consumimos, cerrando un ciclo dañino para la salud humana y el medio ambiente.

En ese contexto, el consumo masivo de medicamentos es alarmante para la calidad del agua, pero podemos tomar medidas para reducir sus efectos con acciones sencillas, y marcar una gran diferencia:

Evitar la automedicación. Es importante recordar que no todos los malestares requieren medicamentos. En muchos casos, los resfriados comunes pueden aliviarse con descanso, hidratación y remedios caseros. Evitar el consumo innecesario de fármacos no solo ayuda a prevenir su impacto ambiental, sino que también reduce los riesgos de desarrollar resistencia a los antibióticos.

Disponer adecuadamente los medicamentos. Muchas personas desconocen que tirar medicamentos caducados o en desuso al inodoro o

la basura es una práctica perjudicial. Estos residuos terminan en el agua o en el suelo, contribuyendo a la contaminación. Programas como singrem (Sistema Nacional de Gestión de Residuos de Envases y Medicamentos) ofrecen puntos de recolección especializados, donde los medicamentos son tratados de manera segura y responsable.

Proteger nuestra salud y el medio ambiente no tienen por qué estar en conflicto. Al cuidar de nosotros mismos podemos comprometernos a tomar decisiones más conscientes para reducir el impacto ambiental del y evitar la automedicación hasta disponer correctamente de los fármacos que ya no utilizamos, cada acción cuenta. 

Referencias

SINGREM (s/f). Sistema Nacional de Gestión de Residuos de Envases y Medicamentos. <<https://www.singrem.org.mx/>>.



Jorge Javier Ramírez García es Ingeniero Químico con Maestría en Química y Doctorado en Ciencias. Participa en proyectos relacionados con la degradación de fármacos, biorremediación y métodos de sorción, así como de desarrollo y validación de técnicas analíticas. Actualmente, es profesor investigador de tiempo completo en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de México y miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI) nivel II.



María Eugenia Becerril Ortiz es Ingeniera Química con Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas. Cuenta con experiencia en la implementación de técnicas analíticas para la identificación y cuantificación de fármacos. Ha trabajado en el desarrollo de métodos para la eliminación de fármacos de efluentes acuáticos. Actualmente realiza una cátedra de investigación en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de México, por parte del programa "Investigadoras e Investigadores" de Conacyt 2024.



Importancia de la huella hídrica en la educación nutricional

Water footprint significance in nutritional education

Por Miguel Ángel Ortiz-Irene, Anel Michelle Ramírez-Ortega, Betsy Corina Sosa-García

Resumen: La huella hídrica es un indicador del consumo directo e indirecto del agua, expresado en el volumen total de agua dulce utilizado en la producción de alimentos. En ese sentido, la dieta habitual de la población mexicana está integrada por un alto consumo de alimentos de origen animal, los cuales requieren de mucha agua para su producción y ello origina un impacto negativo en los recursos naturales. Por tal motivo, se plantea orientar sobre la educación nutricional y el concepto de huella hídrica para concientizar a las personas sobre los beneficios de seguir una alimentación saludable para enfrentar los desafíos ambientales actuales y asegurar un futuro sostenible para las próximas generaciones.

Palabras clave: alimentación, educación nutricional, huella hídrica, sostenible.

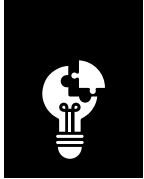
Abstract: Water footprint indicates about the direct and indirect water consumption expressed in the total volume of fresh water used in food production. In this way, the usual Mexican diet is integrated for a high foods of animal origin consumption, which require lots of water for their production, causing a negative impact in natural resources. Therefore, this raises to orientate about the nutritional education and the water footprint to raise awareness about the significance of follow a healthy diet to face the current environmental challenges and ensure a sustainable future for future generations.

Keywords: nutrition, nutritional education, water footprint, sustainable.

¿QUÉ ES LA HUELLA HÍDRICA Y CUÁL ES SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS?

Arjen Hoekstra (2008) propuso el concepto de huella hídrica como un término “análogo de la huella ecológica, con un enfoque en el uso del agua en lugar del uso de la tierra”, definiéndolo como el volumen total de agua dulce empleado en la producción de un bien o servicio, abarcando todas las etapas de la cadena productiva.

La FAO dio a conocer que la agricultura utiliza 70% del agua dulce en el mundo, lo cual genera una alteración ambiental significativa que agrava la amenaza de escasez de este líquido vital (EsAgua, 2020), por ello conocer la huella hídrica de los alimentos nos permite comprender el impacto de nuestra alimentación en los recursos hídricos (Ribašauskienė et al., 2024).



HUELLA HÍDRICA DE LOS ALIMENTOS MÁS CONSUMIDOS

La dieta habitual del mexicano está integrada por un alto consumo de alimentos de origen animal, pero ¿sabemos realmente la magnitud de esta práctica? En diversas investigaciones se ha analizado la gran variedad de alimentos que componen nuestra dieta y la cantidad de agua que utilizan para la producción de estos: los de origen animal utilizan más litros (Tabla 1).

Tabla 1. Productos de origen animal y su uso intensivo de agua

Origen	Alimento	Cantidad del alimento (kg)	Agua necesaria para producción (l)
Animal	Carne de ternera	1	15000
	Carne de cordero	1	8700
	Carne de cerdo	1	6000
	Carne de pollo	1	4300
	Huevo de gallina	1	3300
	Leche	1	1020

Elaboración propia, consultado de EsAgua, 2020.

En cambio, los alimentos de origen vegetal utilizan menos: las verduras tienen una huella hídrica de 322 l/kg, mientras que un kilo de frutas necesita en promedio 1,060 l, considerando que el tipo de fruta, la temporada del año y la ubicación geográfica son factores modificables (Tabla 2).

Tabla 2. Productos de origen vegetal y su uso intensivo de agua

Origen	Alimento	Cantidad del alimento (kg)	Agua necesaria para producción (l)
Vegetales	Pepino	1	353
	Lechuga	1	237
	Tomate	1	214
Frutas	Mango	1	1,800
	Manzana	1	822
	Naranja	1	560
Cereales	Arroz	1	2,497
	Maíz	1	1,200
	Trigo	1	550

Elaboración propia, consultado de EsAgua, 2020.

El maíz es uno de los cereales más representativos de México, su huella hídrica en promedio es de 1,552.5 l/kg; sin embargo, es diferente en cada país: Estados Unidos gasta 760 l/kg, China 1,160 l/kg, Brasil 1,750 l/kg e India 2,540 l/kg. Esto cobra especial relevancia en la importación de este cereal a México, de ahí que la cantidad de agua puede disminuir o aumentar en el consumo cotidiano. Por tanto, es responsabilidad de cada uno de nosotros analizar los alimentos y decidir si seguimos o no una dieta sostenible y saludable (Water footprint network, 2020).

INTEGRACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN LA EDUCACIÓN NUTRICIONAL

La educación y orientación nutricional para el cuidado del agua es fundamental para crear hábitos que disminuyan las enfermedades crónicas, debido a que las personas podrán informarse sobre su consumo de alimentos e impulsar cambios hacia dietas menos intensivas en agua, como las de origen vegetal (Gobierno de México, 2024). Además, la sensibilización en el uso eficiente de este recurso en actividades cotidianas y en la producción de alimentos ayuda a reducir el desperdicio y a conservar los recursos hídricos del país. 

Referencias

- EsAgua. (2020). *La huella hídrica de los alimentos, el agua invisible detrás de nuestra dieta*. <<https://www.esagua.es/la-huella-hidrica-de-los-alimentos/>>.
- Gobierno de México. (2024). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <<https://www.gob.mx/imta>>.
- Hoekstra, Arjen Y. (2008). "The water footprint of food", en *Water for Food*. <<https://www.waterfootprint.org/resources/Hoekstra-2008-WaterfootprintFood.pdf>>.
- Ribašauskienė, Erika et al. (2024). "Decomposition of the water footprint of food loss and waste: The case of Lithuanian supply chains", en *Ecological Indicators*, vol. 166, 112255. <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112255>>.
- Water Footprint Network. (2020). *Product Gallery*. <<https://www.waterfootprint.org/resources/interactive-tools/product-gallery/>>.



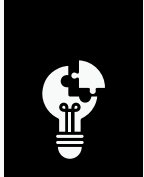
Miguel Ángel Ortiz-Irene es estudiante de la Licenciatura en Nutrición en la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx). Divulgador activo desde 2023. Ponente y tallerista de curso de nutrición.



Anel Michelle Ramírez Ortega es estudiante de la Licenciatura en Nutrición en la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx). Además, es Antropometrista de Nivel 1, certificada por la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (ISAK), también cuenta con un título como Técnica en Informática, obtenido en el CBT Dr. Ezequiel Capistrán Rodríguez.



Betsy Corina Sosa García es Licenciada en Nutrición, con Maestría y Doctorado en Ciencias de la Salud por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx). Miembro del SNII, Nivel Candidato, Docente-investigadora en la Facultad de Medicina de la misma universidad. Es miembro del Comité de Bioética y colaboradora en el cuerpo académico, Cuidado y salud de la Facultad de Enfermería, así como en proyectos de investigación con aval de la Secretaría de Investigación de la UAEMéx y el Conacyt, en el cual cuenta con reconocimiento del programa Investigadoras e investigadores Conacyt.



Metformina: del tratamiento de la diabetes a un reto ambiental

Metformin: From diabetes treatment to an environmental challenge

Por Angie Michelle Dávila Estrada y Jorge Javier Ramírez García

Resumen: La metformina, un fármaco esencial para tratar la diabetes tipo 2, se excreta en gran medida sin metabolizar, y llega a las aguas residuales y ecosistemas debido a la carencia de métodos de las plantas de tratamiento para eliminarla. Este contaminante emergente altera el equilibrio hormonal en especies acuáticas, afectando la biodiversidad. Las soluciones incluyen mayor conciencia, educación sobre el tema, regulación por parte de las autoridades y financiamiento para tecnologías sostenibles. Este problema subraya la conexión entre la salud humana y ambiental, destacando la responsabilidad colectiva de proteger nuestros recursos hídricos.

Palabras clave: metformina, contaminante emergente, impacto ambiental, recursos hídricos.

Abstract: Metformin, a key drug for treating type 2 diabetes, is largely excreted unmetabolized, reaching wastewater and ecosystems due to the lack of effective removal methods in treatment plants. This emerging contaminant disrupts hormonal balance in aquatic species, threatening biodiversity. Proposed solutions include raising awareness and education on the issue, regulations by authorities, and increased funding for sustainable technologies. This problem highlights the interconnectedness of human and environmental health, emphasizing our collective responsibility to protect water resources.

Keywords: metformin, emerging contaminant, environmental impact, water resources.

LA METFORMINA: UN MEDICAMENTO ESENCIAL Y SU IMPACTO OCULTO

La metformina es uno de los medicamentos más utilizados en el mundo para tratar la diabetes tipo 2. Según la Federación Internacional de Diabetes (FID), 463 millones de personas padecen esta enfermedad, y se proyecta que esta cifra aumente a 700 millones para el 2045, equivalente a 1 de cada 13 adultos (en Kumari y Bandhakavi, 2020; Zhang *et al.*, 2021). Este fármaco, perteneciente a la familia de las biguanidas, reduce los niveles de azúcar en la sangre, mejora la sensibilidad a la insulina y disminuye la producción de glucosa en el hígado. Su eficacia y bajo costo lo convierten en la primera opción para iniciar tratamientos contra la diabetes. Sin embargo, más allá de sus beneficios médicos, la metformina plantea un problema ambiental que pasa desapercibido para muchos.

DE TU CUERPO AL AGUA QUE BEBEMOS

Tras ser consumida, la metformina no se metaboliza completamente en el cuerpo humano. Aproximadamente 70% del medicamento se excreta sin cambios a través de la orina, mientras que el resto se elimina en las heces (Tao *et al.*, 2020). Estos residuos llegan a las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no están diseñadas para eliminar este tipo de compuestos por completo. Como consecuencia, la metformina y su subproducto principal, la guanilurea, terminan en ríos, lagos e incluso fuentes de agua potable.

Estudios han detectado concentraciones significativas de este medicamento en aguas superficiales y subterráneas, lo que evidencia su persistencia en el medio ambiente. Esta presencia genera preocupación por sus efectos negativos en ecosistemas enteros (Kumari y Bandhakavi, 2020).

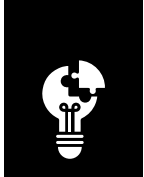
IMPACTO AMBIENTAL

La metformina es parte de los contaminantes emergentes, llamados así porque son sustancias químicas que se han detectado recientemente y pueden ser tóxicos para los organismos acuáticos, medio ambiente y salud humana. Este grupo de sustancias incluye pesticidas, cosméticos y fármacos capaces de acumularse en el ambiente. Aunque las investigaciones están en desarrollo, se sabe que este compuesto puede generar fenómenos que afectan los ciclos reproductivos de especies acuáticas debido a la alteración de su equilibrio hormonal, como la feminización de peces machos (Zorita *et al.*, 2008).

Otro riesgo es que la metformina y sus derivados se acumulen en peces y otros organismos, lo cual podría transferir estos compuestos a la cadena alimenticia, incluidos los humanos.

¿CÓMO PODEMOS SOLUCIONARLO?

La eliminación de la metformina del agua representa un desafío debido a que las plantas de tratamiento carecen de metodologías para eliminar compuestos farmacéuticos (Zhang *et al.*, 2021). Sin embargo, diversas tecnologías prometedoras ofrecen soluciones potenciales. Entre ellas, la adsorción emplea materiales como el carbón activado o las zeolitas tratadas para capturar este medicamento, mientras que la fotocatálisis utiliza luz UV y compuestos como el dióxido de titanio para descomponerla. La biodegradación, por su parte, se basa en microorganismos especializados que transforman la metformina en compuestos menos dañinos, y la electroquímica aplica procesos eléctricos que fragmentan eficientemente sus moléculas. Aunque cada método tiene ventajas y limitaciones, y su implementación a gran escala aún está



en desarrollo, estas alternativas son fundamentales para mitigar el impacto ambiental de los fármacos, incluida la metformina (Momeni *et al.*, 2016; Nasser *et al.*, 2018).

¿QUÉ PODEMOS HACER COMO SOCIEDAD?

Aunque las soluciones tecnológicas son esenciales, también necesitamos cambios culturales y de políticas públicas para enfrentar este problema:

Educación y conciencia. Es importante que las personas conozcan el impacto ambiental de los medicamentos. Por ejemplo, nunca se deben tirar medicamentos sobrantes al drenaje, existen programas para su recolección y disposición segura.

Regulación. Los gobiernos y las agencias internacionales deben establecer límites permisibles para la presencia de contaminantes farmacéuticos en el agua.

Investigación. Incrementar el financiamiento para proyectos que desarrollen tecnologías sostenibles de tratamiento de aguas residuales.

En conclusión, la metformina ha salvado vidas y ha dado esperanza a millones de personas que padecen diabetes, pero también nos recuerda que nuestras acciones tienen consecuencias en el planeta. El desafío de eliminar este y otros contaminantes emergentes del agua nos invita a reflexionar sobre la relación entre la salud humana y la salud ambiental. Proteger nuestros recursos hídricos es una responsabilidad compartida, con innovación, educación y colaboración podemos enfrentar este problema de manera efectiva. 

Referencias

- Kumari, Sravana, K., Sailajay Bandhakavi (2020). "Development and validation of stability-indicating RP-HPLC method for the simultaneous determination of ertugliflozin pidolate and metformin hydrochloride in bulk and tablets", en *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 6, núm.1. <<https://doi.org/10.1186/s43094-020-00079-1>>.
- Momeni, S. *et al.* (2016). "Copper hydroxide nanostructure-modified carbon ionic liquid electrode as an efficient voltammetric sensor for detection of metformin: a theoretical and experimental study", en *Journal of the Iranian Chemical Society*, vol. 13, núm. 6. <<https://doi.org/10.1007/s13738-016-0816-z>>.
- Nasser, Sally *et al.* (2018). "Comparative high-performance liquid chromatographic and high-performance thin-layer chromatographic study for the simultaneous determination of dapagliflozin and metformin hydrochloride in bulk and pharmaceutical formulation", en *Journal of Planar Chromatography - Modern TLC*, vol. 31, núm. 6. <<https://doi.org/10.1556/1006.2018.31.6.7>>.
- Zhang, GuoQi *et al.* (2021). "A flow injection fluorescence "turn-on" sensor for the determination of metformin hydrochloride based on the inner filter effect of nitrogen-doped carbon dots/gold nanoparticles double-probe", en *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 250. <<https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.119384>>.
- Zorita, Saioa, Pär Hallgren y Lennart Mathiasson (2008). "Steroid hormone determination in water using an environmentally friendly membrane based extraction technique", en *Journal of Chromatography A*, vol. 1192, núm. 1. <<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2008.03.030>>.



Angie Michelle Dávila Estrada es Doctora en Ciencias Químicas con especialidad en Química Analítica por parte de la UAEMéx. Actualmente se encuentra realizando su posdoctorado en la misma universidad; participa en proyectos relacionados con la remoción de fármacos en matrices acuosas mediante procesos de adsorción. Además del desarrollo y validación de métodos analíticos por cromatografía de líquidos de alta resolución.



Jorge Javier Ramírez García es Ingeniero Químico por la Universidad Veracruzana, Doctor en Ciencias con especialidad en Química Analítica por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Unidad Iztapalapa, es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNII) nivel 2. Actualmente es profesor de tiempo completo en la Facultad de Química de la UAEMéx y encargado del Laboratorio de Química Analítica en la misma facultad. Su principal línea de investigación es la remoción de fármacos en medio acuoso.

La agonía del río Lerma: acciones del Estado de México para frenarla

The agony of the Lerma River: actions of the State of Mexico to stop it

Por Dulce María Coyoli Pereyra

Resumen: El río Lerma, uno de los acuíferos más largos y relevantes para las actividades económicas de México, presenta actualmente un deterioro ambiental significativo debido a la captación de aguas residuales industriales y domésticas. Ante esto, instituciones gubernamentales, académicas y sociedad civil buscan, desde su ámbito, diversas formas de recuperar y restaurar la salud de este río. En este artículo, presentamos algunas iniciativas vigentes en el Estado de México que tratan de responder a este reto.

Palabras clave: río Lerma, aguas residuales, rescate, saneamiento.

Abstract: The Lerma River, one of the longest and most important aquifers for economic activities in Mexico, is currently experiencing significant environmental deterioration due to the capture of industrial and domestic wastewater. In response to this, government institutions, academics and civil society are seeking, within their spheres, various ways to recover and restore the health of this river. In this article, we present some current initiatives that attempt to respond to this challenge.

Keywords: Lerma River, wastewater, recovery, purification.



Dossier

El río Lerma es uno de los cuerpos de agua más importantes de México, ya que cuenta con un papel esencial en la agricultura, la industria y la generación de energía hidroeléctrica. Tiene su origen en la laguna de Chignahuapan, Almoloya del Río, perteneciente al Estado de México, y atraviesa los estados de Guanajuato, Querétaro y Michoacán hasta desembocar en el Lago de Chapala, Jalisco; comprende una longitud de más de 700 km (*Diario Oficial de la Federación*, 2006).

Sin embargo, este río también es uno de los más contaminados del país al recibir de forma constante múltiples descargas de aguas residuales provenientes de actividades cotidianas e industriales, lo cual ha ocasionado una grave afectación tanto a la salud de las comunidades aledañas como a la biodiversidad local, incluso los primeros 15 kilómetros localizados en territorio mexiquense se consideran muertos (Bastida, 2017).



Foto: Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible del Estado de México, 2019.

Por estas razones, diversos agentes en el Estado de México han emprendido acciones encaminadas al rescate y saneamiento de este cuerpo de agua.

El Gobierno del Estado de México (2024) busca abordar el problema mediante el desarrollo constante de proyectos. El más reciente es el Plan de Saneamiento y Restauración Ecológica del Río Lerma-Santiago, perteneciente al Plan Nacional Hídrico 2024-2030, cuyo objetivo es realizar un proceso restaurativo basado en el cuidado y aprovechamiento de la biodiversidad. Además, desde hace algunas décadas, la entidad federativa hace uso de plantas tratadoras de agua, como Reciclagua Ambiental S.A. de C.V., que captan las aguas residuales de diferentes empresas de Toluca y Lerma con la finalidad de limpiarlas y verterlas en el río con un menor impacto ambiental.

De igual forma, diversos centros de investigación, como el Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua y organismos académicos pertenecientes a la UAEMéx, han creado proyectos enfocados en el saneamiento del acuífero a partir de la normatividad de las descargas que recibe, la evaluación de la toxicidad en sus aguas y los riesgos que representan para las comunidades aledañas.

Asimismo, por parte de la sociedad civil, asociaciones como H₂O Lerma con encanto A.C. realizan compañías de recolección de cascarón de huevo con la finalidad de utilizarlos como una especie de filtro en algunos sectores del río; este material atrae metales pesados y logra separarlos del agua, al tiempo de adicionar minerales como calcio y magnesio a los suelos, contribuyendo así a cumplir con la filtración natural (Román, 2023).

Como se puede notar, son varios los esfuerzos que se hacen todos los días para resarcir el daño a dicho cuerpo de agua; sin embargo, no es fácil ni se realizará en un periodo corto de tiempo, sobre todo si se sigue contaminando como hasta ahora. A menos que cambiemos nuestra manera de percibir el mundo y relacionarnos con la naturaleza, no habrá esfuerzo, plan o proyecto que logre conservar en óptimas condiciones este o ningún otro recurso natural.

Este artículo forma parte de un proyecto inscrito en el Programa Investigadoras e Investigadores 2024, por lo que por este medio se extiende un agradecimiento al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (Folio CAT2024-0061). 

Referencias

- Bastida Muñoz, Mindahi Crescencio (2017). *Más allá del Sistema Lerma. La disputa por el agua en el valle de Toluca*. Red Patrimonio Biocultural de México, México. <<https://patrimonibiocultural.com/producto/mas-alla-del-sistema-lerma/>>.
- Diario Oficial de la Federación (2006). Acuerdo por el que se da a conocer el estudio técnico de los recursos hídricos del área geográfica Lerma-Chapala. <https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=4925984#:~:text=El%20R%C3%ADo%20Lerma%20es%20el,longitud%20sobrepasa%20los%20700%20km%20>.
- Gobierno del Estado de México (2024). *Primera Etapa del Plan de Saneamiento y Restauración Ecológica del Río Lerma-Santiago*. <<https://www.youtube.com/watch?v=vTnUqqlccw>>..
- Román, José Carlos (2023). "¿Purificar agua con cascarón de huevo? Así puedes apoyar el proyecto que lo hizo realidad", en *El Sol de México* <<https://www.elsoldemexico.com.mx/doble-via/ecologia/purificar-agua-con-cascar%C3%B3n-de-huevo-asi-puedes-apoyar-el-proyecto-h2o-lerma-con-encanto-9656651.html>>.



Dulce María Coyoli Pereyra es Doctora en Estudios para el Desarrollo Humano. Actualmente desarrolla una cátedra de investigación Comecyt sobre la contaminación industrial en el río Lerma, proyecto que además se encuentra adherido a la Cátedra Desarrollo Humano para la Preservación del Planeta del CIME UAEMéx, en conjunto con la Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación y la Ciencia.

