



EDUCACIÓN, CULTURA Y COMUNICACIÓN AMBIENTAL

Evaluación de riesgo ambiental por medicamentos de alta prescripción: Estrategia didáctica para su correcta disposición.

Environmental risk assessment of highly prescribed pharmaceuticals: An educational strategy for proper disposal.

Avaliação do risco ambiental de medicamentos de alta prescrição: uma estratégia educativa para a disposição adequada.

Evelyn Rubi Tamayo Rueda, Jesús Alan Reyes Silva, Ulises Iturbe Acosta

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

jesus_reyes11002@uaeh.edu.mx

Artículo científico

Enviado: 24/2/2026

Aprobado: 14/7/2026

Publicado: 15/8/2026

RESUMEN

El presente estudio evaluó el potencial de riesgo ambiental de medicamentos de alta prescripción en el Hospital General de Pachuca, Hidalgo, México y analizó el impacto de una estrategia de educación ambiental orientada a la disposición adecuada de residuos farmacéuticos. Se seleccionaron 20 principios activos y se analizaron a través de la metodología de Evaluación del Potencial de Riesgo Ambiental y a la Salud, considerando parámetros de cinética ambiental, exposición y efectos potenciales. Los cinco fármacos con mayor riesgo fueron utilizados para el diseño e implementación del taller “Disposición adecuada de medicamentos” en dos comunidades de Hidalgo: Real del Monte y Atotonilco el Grande. Se aplicaron encuestas estructuradas antes y después de la intervención, cuyos resultados se analizaron mediante las pruebas estadísticas de Chi cuadrado y McNemar. Los resultados mostraron mejoras estadísticamente significativas después del taller en el conocimiento de los fármacos, las prácticas de disposición y la percepción del riesgo ambiental y sanitario que incluyen, con un mayor impacto en la comunidad con menor nivel de escolaridad. Los hallazgos evidenciaron que la educación ambiental constituye una herramienta efectiva para promover prácticas responsables en la disposición adecuada de medicamentos y contribuir así a la mitigación de su impacto ambiental.

Palabras clave: contaminantes emergentes, educación ambiental, gestión de residuos farmacéuticos, impacto ambiental.

ABSTRACT

This study assessed the potential environmental risk of highly prescribed drugs at the General Hospital of Pachuca, Hidalgo, Mexico and analyzed the impact of an environmental education strategy aimed to the proper disposal of pharmaceutical wastes. Twenty active ingredients were selected and the Environmental and Health Risk Potential Assessment methodology was used to analyze them, considering parameters of environmental kinetics, exposure and potential effects. The five drugs with the highest risk were used to design and implement the workshop “Proper Disposal of Drugs”, conducted in two communities in Hidalgo: Real del Monte and Atotonilco el Grande. Structured surveys were administered before and after the intervention, and the results were analyzed using the statistical tests of Chi-square and McNemar. The results showed statistically significant improvements

after the workshop, in the knowledge of the drugs, their disposal practices, and the perception of environmental and health risks included, with a greater impact in the community with lower levels of education. The findings showed that environmental education is an effective tool for promoting responsible practices in the proper disposal of drugs and contributes to the mitigation of their environmental impact.

Keywords: emerging contaminants, environmental education, pharmaceutical waste management, environmental impact.

RESUMO

O presente estudo buscou avaliar o potencial de risco ambiental de medicamentos de alta prescrição no Hospital Geral de Pachuca, Hidalgo, México, e analisou o impacto de uma estratégia de educação ambiental orientada para o descarte adequado de resíduos farmacêuticos. Foram selecionados 20 princípios ativos e analisados através da metodologia de Avaliação do Potencial de Risco Ambiental e à Saúde, considerando parâmetros de cinética ambiental, exposição e efeitos potenciais. Os cinco medicamentos com maior risco foram utilizados para a concepção e implementação do workshop "Eliminação adequada de medicamentos", foram aplicados em duas comunidades de Hidalgo: Real del Monte e Atotonilco el Grande. Foram aplicados questionários estruturados antes e depois da intervenção, cujos resultados foram analisados através dos testes estatísticos qui-quadrado e de McNemar. Os resultados mostraram melhorias estatisticamente significativas no nível de conhecimento sobre os medicamentos, nas práticas de descarte e na percepção do risco ambiental e sanitário que eles representam, com maior impacto na comunidade com menor nível de escolaridade. Os achados evidenciaram que a educação ambiental é uma ferramenta eficaz para promover práticas responsáveis no manejo de medicamentos e contribuir para a mitigação do seu impacto ambiental.

Palavras-chave: contaminantes emergentes, educação ambiental, gestão de resíduos farmacêuticos, impacto ambiental.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, los medicamentos han desempeñado un papel esencial en la mejora de la salud humana, al permitir el tratamiento eficaz de enfermedades, el alivio del dolor, la mejora de la calidad de vida y la prolongación de la esperanza de vida (Alsasua *et al.*, 2011). Sin embargo, el crecimiento exponencial en su producción, acceso y consumo ha traído consigo una serie de retos ambientales y sociales que demandan atención urgente, particularmente aquellos relacionados con la generación y liberación de residuos farmacéuticos al ambiente (Freitas y Radis-Baptista, 2021).

Uno de estos retos es la aparición de los denominados contaminantes emergentes, entre los cuales se encuentran los residuos de medicamentos que terminan en el medio ambiente como resultado de su excreción tras el consumo humano o animal, así como de prácticas inadecuadas de disposición final de fármacos sobrantes o caducados (Moreno-Barragán *et al.*, 2023). Diversos estudios han demostrado que una proporción significativa de los principios activos no se metaboliza completamente en el organismo y es excretada en forma activa, ingresando a los sistemas de drenaje y a plantas de tratamiento de aguas residuales que, en muchos casos, no están diseñadas para eliminarlos de manera eficiente (Khan *et al.*, 2022).

Una vez liberados al ambiente, los medicamentos presentan características fisicoquímicas que determinan su persistencia, movilidad y potencial de bioacumulación. Entre estas propiedades destacan su elevada solubilidad en agua, que favorece su transporte en cuerpos hídricos; la presión de vapor y la constante de la ley de Henry, que influyen en su distribución entre fases ambientales; así

como el coeficiente de partición octanol-agua (Kow), indicador de su afinidad por tejidos biológicos y de su posible acumulación en organismos vivos (Rodríguez-Anaya, 2016; Kleywegt *et al.*, 2020).

La presencia de fármacos o de sus residuos en el ambiente se asocia con alteraciones en organismos acuáticos, la contaminación de fuentes de agua potable y la contribución al desarrollo de resistencia bacteriana en el caso de los antibióticos, lo que representa un riesgo tanto ambiental como sanitario. A pesar de ello, esta problemática continúa siendo poco visible para amplios sectores de la sociedad, en gran medida debido a la falta de campañas de concientización y programas de educación ambiental que orienten sobre el manejo responsable y la eliminación segura de los medicamentos (Argaluz *et al.*, 2021). En este sentido, diversas propuestas educativas han señalado que metodologías participativas, como el Aprendizaje Basado en Problemas, así como estrategias de comunicación basadas en la mercadotecnia social, pueden favorecer cambios en el conocimiento, la percepción del riesgo y las prácticas de disposición de medicamentos, promoviendo una gestión más responsable de los residuos farmacéuticos (Mex-Álvarez *et al.*, 2022; Sanabria-Pérez, 2017).

El presente estudio se centró en la limitada percepción social y las prácticas inadecuadas de disposición de medicamentos de uso humano, las cuales favorecen la liberación de residuos farmacéuticos al ambiente. El objetivo general fue evaluar el potencial de riesgo ambiental de los 20 medicamentos de mayor prescripción en el Hospital General de Pachuca de Soto, Hidalgo, México, mediante la aplicación de una metodología de evaluación de riesgo, con el fin de desarrollar una estrategia de educación ambiental orientada a su correcta disposición. De manera específica, se buscó identificar los fármacos con mayor potencial de riesgo, analizar las prácticas sociales asociadas a su eliminación y evaluar el efecto de una intervención educativa en dos comunidades del estado de Hidalgo. Se planteó como hipótesis que la implementación de una estrategia de educación ambiental mejora significativamente el nivel de conocimiento, la percepción del riesgo y las prácticas de disposición de medicamentos, contribuyendo a la reducción de su impacto ambiental. En conjunto, los resultados del estudio contribuyen al conocimiento del papel de la educación ambiental en la gestión del riesgo ambiental y sanitario asociado a los residuos farmacéuticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el año 2025 se recopiló información proporcionada por el Hospital General de Pachuca sobre los fármacos de mayor prescripción utilizados en el tratamiento de diversas patologías. El listado inicial incluyó un total de 50 medicamentos. A partir de este, se seleccionaron aquellos compuestos con una frecuencia de prescripción de urgencias mensuales comprendida entre seis y 150 unidades, excluyéndose los medicamentos con menos de cinco prescripciones mensuales. Con base en estos criterios, se obtuvo un conjunto final de 20 medicamentos para su análisis.

Para la evaluación del potencial de riesgo ambiental de los medicamentos seleccionados, se realizó una revisión bibliográfica sistemática de cada principio activo y se aplicó la metodología de Evaluación de Potencial de Riesgo Ambiental y a la Salud (EPRAS), propuesta por Rodríguez-Anaya (2016). Esta metodología considera tres componentes principales: (1) cinética ambiental, que incluye el origen, consumo, presencia en el ambiente, vías de ingreso, solubilidad en agua, presión de vapor, coeficiente de partición octanol-agua, potencial de bioacumulación, fotodegradación y excreción farmacocinética; (2) exposición y biodisponibilidad, evaluando la presencia en diferentes medios ambientales, las vías de exposición y la formación de metabolitos; y (3) efectos potenciales, considerando toxicidad aguda, genotoxicidad, efectos biológicos en organismos mamíferos y no mamíferos, resistencia bacteriana y potencial mutagénico, teratogénico y carcinogénico.

Con base en los puntajes obtenidos a partir de la metodología EPRAS, se seleccionaron los cinco medicamentos con mayor potencial de riesgo ambiental. Dichos medicamentos fueron clasificados de acuerdo con su grupo farmacéutico correspondiente, conforme al Catálogo Institucional de Medicamentos de la Comisión Interinstitucional del Cuadro Básico y Catálogo de Insumos del Sector Salud de México (Diario Oficial de la Federación, 2018).

A partir de esta clasificación, se diseñó una estrategia de sensibilización mediante el taller denominado “Disposición adecuada de medicamentos”, el cual corresponde a un estudio aplicado con enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo-comparativo y diseño cuasi experimental pre-taller/post-taller, sin grupo control. Se desarrolló durante el año 2025 y se llevó a cabo en dos comunidades de Hidalgo: una en Real del Monte y otra en Atotonilco el Grande. Estas comunidades fueron seleccionadas debido a su participación en proyectos comunitarios previos impulsados por la Fundación Hidalguense A.C., institución vinculada a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. En consecuencia, el tamaño de la muestra estuvo conformada por 41 participantes seleccionados mediante muestreo no probabilístico por conveniencia que formaban parte de los grupos comunitarios de la fundación y que asistieron de manera voluntaria al taller.

Al inicio del taller se aplicó una encuesta estructurada diagnóstica compuesta por 13 reactivos de opción múltiple. El instrumento se organizó en cuatro secciones: la sección 1 permitió caracterizar el perfil sociodemográfico (edad, nivel de escolaridad y lugar de residencia); la sección 2 evaluó el conocimiento previo sobre la disposición final de medicamentos; la sección 3 exploró las prácticas de almacenamiento y eliminación de medicamentos; y la sección 4 analizó la percepción de riesgos asociados al manejo inadecuado de medicamentos y el interés en recibir información adicional sobre el tema (tabla 1).

Tabla 1. Preguntas organizadas en las secciones 2, 3 y 4 de la encuesta diagnóstica.

Sección	Preguntas
2. Conocimiento previos sobre disposición final.	A. ¿Revisan la fecha de caducidad antes de consumir sus medicamentos? B. ¿Ha recibido información sobre qué hacer con los medicamentos sobrantes o caducos? C. ¿Reconoce alguna campaña informativa sobre la disposición adecuada de medicamentos? D. ¿Identifica correctamente los contenedores para desechar estos residuos?
3. Conocimiento/ prácticas de almacenamiento y eliminación.	E. ¿Reconoce los medicamentos como residuos peligrosos? F. ¿Suele desechar los medicamentos en otro lugar diferente a los contenedores especializados? G. ¿Suele revisar la fecha de caducidad de sus medicamentos con regularidad en caso de guardarlos?
4. Percepción de riesgos e interés en recibir información.	H. ¿Suele completar los tratamientos en el tiempo indicado? I. ¿Suele automedicarse con los fármacos sobrantes? J. ¿Considera que los medicamentos son una amenaza a la salud si no se desechan correctamente? K. ¿Reconoce que la disposición inadecuada de medicamentos representa un riesgo ambiental importante? L. ¿Considera que es importante recibir información sobre este tema? M. ¿Considera que las actividades lúdicas del taller fueron útiles para mejorar su comprensión y hábitos?

Fuente: Elaborada por los autores.

Considerando la clasificación de grupos farmacéuticos, el taller se estructuró en tres rubros principales: (1) antibióticos, (2) antidiabéticos y (3) antiinflamatorios y analgésicos. Cada rubro se abordó en una sesión de 90 minutos, durante la cual se trataron contenidos relacionados con la definición de medicamentos, mecanismos de acción, riesgos ambientales y a la salud derivados de su manejo inadecuado, así como prácticas recomendadas para su correcta disposición final. Las sesiones incluyeron actividades lúdicas individuales y grupales orientadas a favorecer la apropiación del conocimiento y la reflexión colectiva en torno a la problemática. Al finalizar la intervención educativa, se aplicó una segunda encuesta utilizando el mismo instrumento (*tabla 1*), con el fin de evaluar los cambios en conocimientos, actitudes y prácticas.

Los resultados obtenidos a partir de las encuestas pre y post intervención se analizaron mediante la prueba de Chi cuadrada (χ^2), enfocada en detectar diferencias estructurales en la distribución de frecuencias de las respuestas (sí/no) entre las evaluaciones pre y post-taller. Para este análisis, se calculó el porcentaje de respuestas afirmativas para cada ítem a partir de la proporción de respuestas positivas respecto al total de respuestas obtenidas. Adicionalmente, debido a que las respuestas correspondieron a mediciones pareadas realizadas a los mismos participantes, se empleó la prueba estadística de McNemar para evaluar los cambios en las respuestas dicotómicas (sí/no) entre las evaluaciones pre y post intervención. El nivel de significancia estadística se estableció en $p < 0.05$. El análisis estadístico se realizó utilizando el software PSPP versión 2.0.1 para la organización de la base de datos y el procesamiento de la información.

El estudio encuentra su principal limitación en el tamaño de la muestra, el cual dependió de la participación voluntaria en la estrategia educativa, asimismo, no se consideró un seguimiento a largo plazo que permitiera evaluar la permanencia de los efectos de la intervención educativa.

RESULTADOS

La información obtenida se analizó en dos vertientes: la evaluación del potencial de riesgo ambiental de los medicamentos de mayor prescripción y la aplicación de una estrategia educativa orientada a la disposición adecuada de medicamentos.

A partir del análisis de los medicamentos con mayor frecuencia de prescripción en el Hospital General de Pachuca, se identificaron 20 principios activos: paracetamol (PA), naproxeno (NA), cefepima (CE), meropenem (ME), colistimetato (CO), ceftriaxona (CEF), linezolid (LI), claritromicina (CL), imipenem (IM), cilastatina (CI), ciprofloxacino (CIP), eritropoyetina (ER), vasopresina (VA), micofenolato de mofetilo (MM), tacrolimus (TR), terlipresina (TE), dapagliflozina (DA), citarabina (CIT), levetiracetam (LE) y bupivacaína (BU); los cuales se emplean en el tratamiento de enfermedades crónicas y agudas.

De los 20 medicamentos evaluados mediante la metodología EPRAS, 16 se clasificaron con potencial de riesgo ambiental alto (58–75 puntos), tres con riesgo intermedio (39–57 puntos) y uno con riesgo bajo (20–38 puntos). Ningún fármaco presentó valores correspondientes a riesgo nulo (<19 puntos), de acuerdo con la escala de interpretación propuesta por Sánchez-Olivares *et al.* (2021). Con base en los puntajes obtenidos, se seleccionaron los cinco medicamentos con mayor valor total para su análisis detallado (*figura 1*).

Figura 1. Evaluación del potencial de riesgo ambiental de los 20 medicamentos de mayor prescripción del Hospital General de Pachuca.

Parámetros		Medicamentos																			
		PA	NA	CE	ME	CO	CEF	LI	CL	IM	CI	CIP	ER	VA	MM	TR	TE	DA	CIT	LE	BU
Cinética ambiental	Origen	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	4	4	4	5	5	5
	Consumo	5	5	4	2	3	5	3	2	3	3	2	2	3	3	3	2	2	2	4	5
	Presencia	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	3	1	5	2	2	1	2	2	2
	Ingreso	5	5	3	2	3	5	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	5
	Solubilidad en agua (a)	3	3	3	4	3	5	5	4	5	1	3	1	1	3	3	5	4	3	3	5
	Solubilidad en agua (b)	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	1	1	5	5	1	4	5	5	5
	Presión de vapor	4	4	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	5	5	2	4	5
	Bioconcentración (BCF)	3	3	3	2	1	3	3	3	3	3	3	1	1	3	1	3	4	2	3	4
	Coefficiente de partición (Log P)	3	4	2	2	1	3	3	4	1	1	3	1	1	4	4	2	5	2	2	4
	Coefficiente de partición (Log Kow)	2	4	1	2	1	2	3	4	1	2	2	2	2	4	1	1	4	1	1	4
Exposición, disponibilidad y sector población al expuesto	Fotodegradación	3	3	3	1	1	1	3	1	1	1	3	1	3	1	1	3	4	1	1	1
	Excreción Farmacocinética	5	5	5	4	5	4	5	3	4	4	4	1	2	5	3	2	4	1	4	2
	Presencia en más de un medio	5	4	3	3	1	3	4	4	4	3	4	1	1	1	1	1	4	4	4	1
	Presencia en diferentes medios acuáticos	5	5	2	1	1	2	3	4	2	1	5	1	1	1	1	1	3	2	2	1
	Exposición	5	5	4	3	4	5	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	5
Efectos potenciales y reportados	Vías de exposición	5	3	2	2	2	5	5	2	5	2	2	5	2	5	5	2	3	5	5	2
	Formación de metabolitos	4	1	3	2	1	4	4	3	3	1	4	1	1	3	4	3	3	4	3	4
	Daño genotóxico	3	2	2	1	2	2	1	5	1	1	1	1	1	3	1	1	2	5	1	1
	Resistencia bacteriana	1	1	3	4	4	4	4	3	3	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Efecto biológico (Mamíferos)	4	1	4	1	1	4	4	4	1	1	1	1	1	4	4	1	4	4	4	4
	Efecto biológico (No mamíferos)	4	1	1	4	4	2	4	3	1	1	3	1	1	4	1	1	4	1	1	1
	Potencial tóxico	4	3	4	3	3	2	2	4	2	2	3	1	2	4	2	4	5	5	3	3
	Potencial mutágeno	1	1	1	3	3	3	2	4	1	1	1	1	1	4	1	1	2	1	2	1
	Potencial teratogénico	1	1	1	1	3	3	1	4	1	1	1	1	1	4	1	1	2	4	1	1
	Potencial carcinogénico	1	1	1	2	2	4	3	1	1	3	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1
TOTAL		88	77	68	63	62	81	82	85	61	55	72	38	40	82	58	54	83	69	71	73
5 VALORES MÁS ALTOS		88	77	68	63	62	81	82	85	61	55	72	38	40	82	58	54	83	69	71	73

Fuente: Elaborada por los autores.

El paracetamol presentó el mayor puntaje total, con 88 puntos. Su presencia como residuo farmacéutico fue reportada en diversas fuentes incluyendo hogares, hospitales, centros de salud, farmacias y uso en medicina veterinaria (Olivares-Muñoz *et al.*, 2023). Se registró una solubilidad en agua de 14 mg L⁻¹. En términos farmacocinéticos, se documentó que aproximadamente el 90% de la dosis administrada se excreta sin modificación química. Su presencia fue reportada en agua, suelo y organismos vivos, con vías de exposición oral e intravenosa (National Center for Biotechnology Information, 2025a).

La claritromicina alcanzó un puntaje total de 85 puntos. Su uso fue reportado en entornos domésticos, hospitalarios y hospitales veterinarios. Presentó una solubilidad en agua de 33 mg L⁻¹, característica que favorece su dispersión en medios acuáticos. Asimismo, se documentaron efectos genotóxicos asociados a su exposición (National Center for Biotechnology Information, 2025c).

El linezolid obtuvo un valor total de 83 puntos. Se registró una presión de vapor cercana a cero (0.0 ± 1.8 mmHg), lo que indicó baja volatilidad y elevada estabilidad ambiental (Knox *et al.*, 2024). Su coeficiente de partición log Kow fue de 4.42, valor asociado a una alta lipofilia y potencial de bioacumulación. Además, se reportan efectos tóxicos en organismos acuáticos, procariotas y mamíferos (National Center for Biotechnology Information, 2025e).

La dapagliflozina presentó un puntaje total de 82 puntos. Se ha descrito como un compuesto ligeramente soluble en agua con ≈0.28 mg mL⁻¹ a 25 °C, lo que favorece su presencia en cuerpos de agua y su potencial de movilidad en ecosistemas hídricos (Kang y Kim, 2023). Se documentó que el 84% de la dosis administrada se excreta sin transformación metabólica (National Center for Biotechnology Information, 2025d). Su origen incluyó fuentes hospitalarias y veterinarias.

La ceftriaxona alcanzó un puntaje total de 81 puntos. Su uso fue reportado en hogares, hospitales y aplicaciones veterinarias. Presentó una solubilidad en agua de 1005 mg L⁻¹ a 25 °C (National Center for Biotechnology Information, 2025b) y múltiples vías de exposición en contextos comunitarios, hospitalarios y veterinarios (Myers *et al.*, 2022).

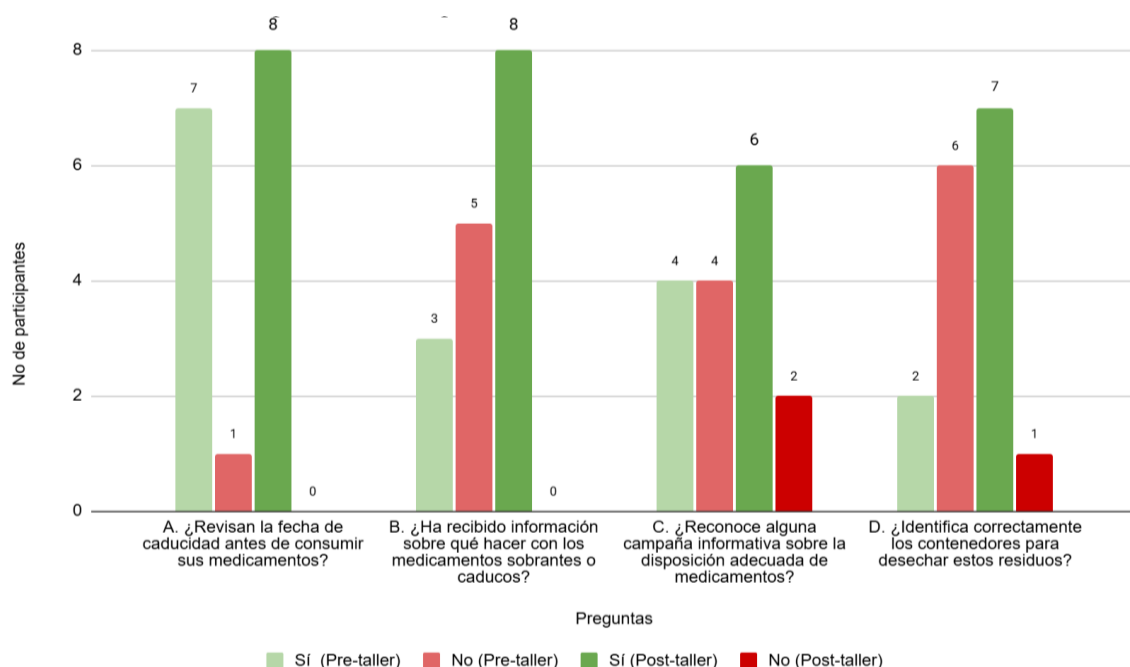
Los cinco fármacos con mayor potencial de riesgo ambiental se agruparon en tres categorías farmacéuticas: antibióticos (claritromicina, linezolid y ceftriaxona), antiinflamatorios y analgésicos (paracetamol) y antidiabéticos (dapagliflozina).

El primer grupo de análisis en la comunidad en Real del Monte contó con la participaron ocho personas. El rango de edad se ubicó entre 58 y 81 años. Predominó el sexo femenino y el nivel educativo superior concluido. Todos los participantes reportaron residencia permanente y afiliación a alguna institución de seguridad social.

El análisis de los resultados se concentró en las secciones 2, 3 y 4 del instrumento aplicado antes y después del taller, registrándose el número absoluto de respuestas afirmativas y negativas para cada ítem.

En la sección 2, correspondiente al conocimiento previo sobre la disposición final de medicamentos, el número de participantes que identificaron correctamente los contenedores especializados aumentó de tres en el instrumento pre-taller, a ocho en el post-taller. El reconocimiento de haber recibido información previa pasó de cuatro a nueve respuestas afirmativas. La revisión de la fecha de caducidad antes del consumo se incrementó de seis a nueve participantes (*figura 2*).

Figura 2. Frecuencia absoluta de respuestas afirmativas y negativas en la sección 2 del instrumento aplicado antes y después del taller en la comunidad de Real del Monte.

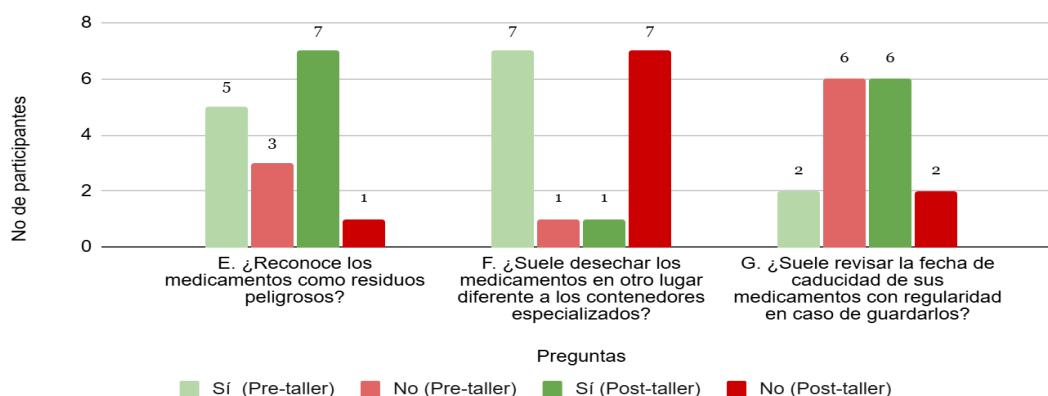


Fuente: Elaborada por los autores.

En la sección 3, relacionada con prácticas de almacenamiento y eliminación, el reconocimiento de los medicamentos como residuos peligrosos aumentó de seis a ocho respuestas afirmativas. La revisión periódica de la fecha de caducidad se incrementó de tres a siete participantes. Asimismo, se observó

una disminución de cuatro personas en las respuestas negativas relacionadas con el desecho en sitios no autorizados (figura 3).

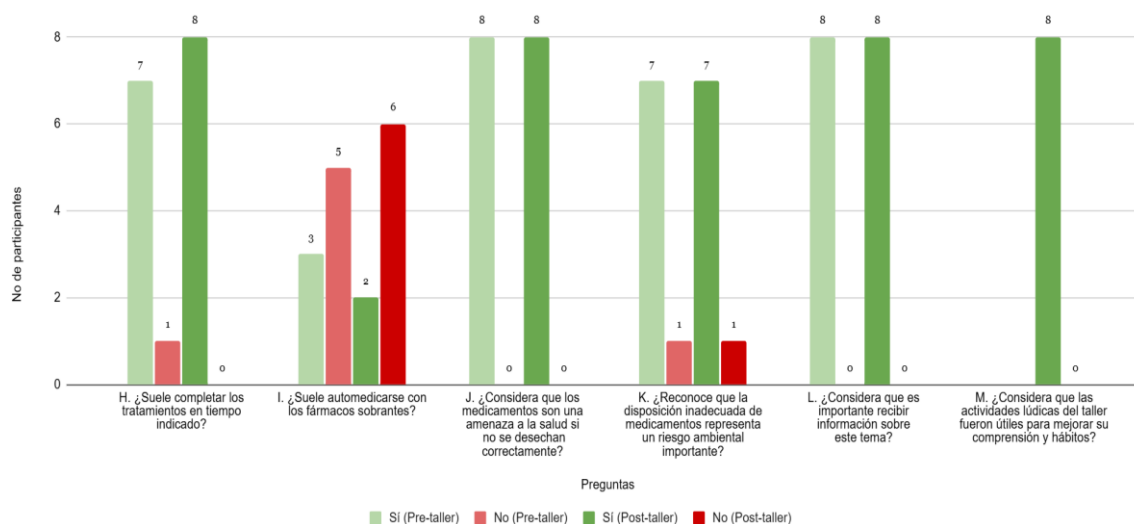
Figura 3. Frecuencia absoluta de respuestas afirmativas y negativas en la sección 3 del instrumento aplicado antes y después del taller en la comunidad de Real del Monte.



Fuente: Elaborada por los autores.

En la sección 4, vinculada a la percepción de riesgos e interés informativo, el número de participantes que consideraron a los medicamentos como una amenaza para la salud y el ambiente cuando no se desechan adecuadamente se mantuvo, al igual que el interés por recibir información adicional. La frecuencia de automedicación reportada mostró una disminución de 1 en las respuestas afirmativas (figura 4).

Figura 4. Frecuencia absoluta de respuestas afirmativas y negativas en la sección 4 del instrumento aplicado antes y después del taller en la comunidad de Real del Monte.



Fuente: Elaborada por los autores.

La prueba de chi cuadrado aplicada a la distribución global de las respuestas no mostró diferencias estadísticamente significativas ($\chi^2=29.911$, $gl=25$, $p=0.228$). De manera complementaria, el análisis de las frecuencias de respuestas afirmativas y negativas mostró valores de $p=0.00569$ y $p=0.00111$, respectivamente (tabla 2).

Tabla 2. *Análisis de la distribución de frecuencias afirmativas y negativas en Real del Monte.*

Preguntas	Pre-taller		Post-taller	
	Sí	No	Sí	No
A	8	2	9	1
B	4	6	9	1
C	5	5	7	3
D	3	7	8	2
E	6	4	8	2
F	8	2	2	8
G	3	7	7	3
H	8	2	9	1
I	4	6	3	7
J	9	1	9	1
K	8	2	8	2
L	9	1	9	1
Total	75	45	88	32
Valor de p	0.00569		0.00111	

Fuente: *Elaborada por los autores.*

El análisis de diferencias cuadráticas se obtuvo a partir del porcentaje de percepción de respuestas afirmativas pre y post-taller, cuya diferencia fue elevada al cuadrado para cada ítem. Posteriormente, se calculó el porcentaje de contribución mediante la ecuación $\left[\left(\frac{PL_x \times 100}{\sum(PL)}\right)\right]$, donde PL corresponde a la diferencia cuadrática de cada pregunta y x identifica cada ítem evaluado.

Lo que permitió identificar que las preguntas B, D y F concentraron más del 75 % de la variación total observada en las respuestas afirmativas; estos ítems concentraron los principales cambios registrados tras la aplicación del taller (tabla 3).

Tabla 3. *Diferencias al cuadrado de respuestas afirmativas y porcentajes en Real del Monte.*

Pregunta (x)	(Pre y Post-taller) ² Si (PL)	Porcentaje diferencia de percepción
A	0	0.88495575
B	25	22.1238938
C	4	3.53982301
D	25	22.1238938
E	4	3.53982301
F	36	31.8584071
G	16	14.159292
H	1	0.88495575
I	1	0.88495575
J	0	0
K	0	0
L	0	0
Total	113	0.88495575

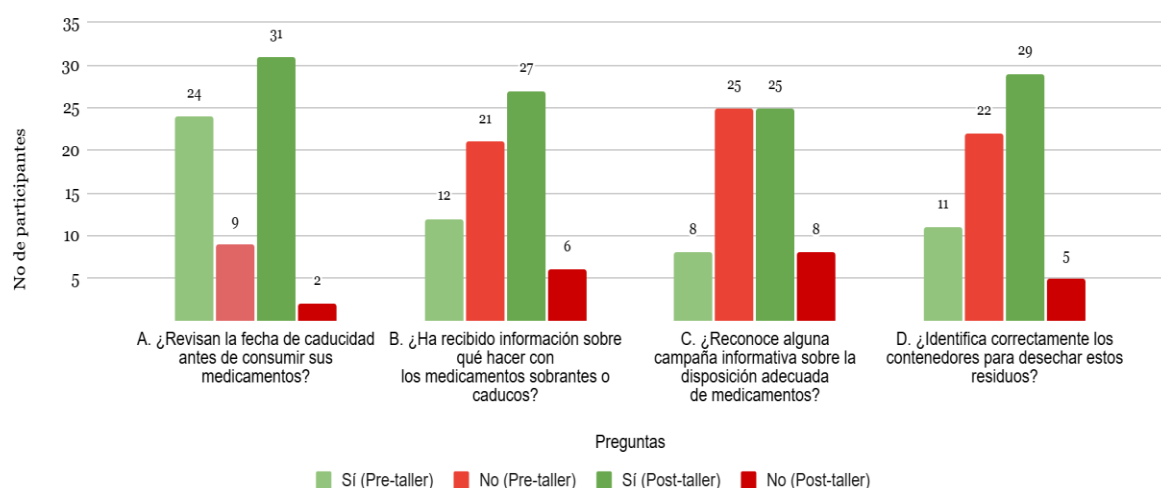
Fuente: *Elaborada por los autores.*

Sin embargo, la prueba de McNemar evidenció diferencias estadísticamente significativas únicamente en las preguntas F y L ($p < 0.05$), mientras que el resto de los ítems no mostró diferencias significativas. Estos resultados indican que, aunque se observaron cambios descriptivos en varias respuestas después del taller, las modificaciones estadísticamente significativas se concentraron en aspectos específicos relacionados con las prácticas de disposición adecuada de medicamentos.

El segundo grupo de análisis en la comunidad de Atotonilco el Grande, participaron 33 personas. El rango de edad se ubicó entre 60 y 89 años. Veintidós participantes fueron mujeres y once hombres. En cuanto al nivel educativo, 14 reportaron no contar con escolaridad formal y seis indicaron haber alcanzado el nivel de educación superior. Aproximadamente la mitad reportó no contar con afiliación a servicios de salud y en relación con la procedencia 17 personas residían en la zona urbana y el resto en áreas rurales o suburbanas.

En la sección 2, se registraron incrementos en todos los ítems evaluados. La identificación de contenedores especializados aumentó de 12 a 29 respuestas afirmativas. El reconocimiento de campañas informativas pasó de 8 a 25 respuestas afirmativas y la revisión de fechas de caducidad se incrementó de 21 a 31 participantes (*figura 5*).

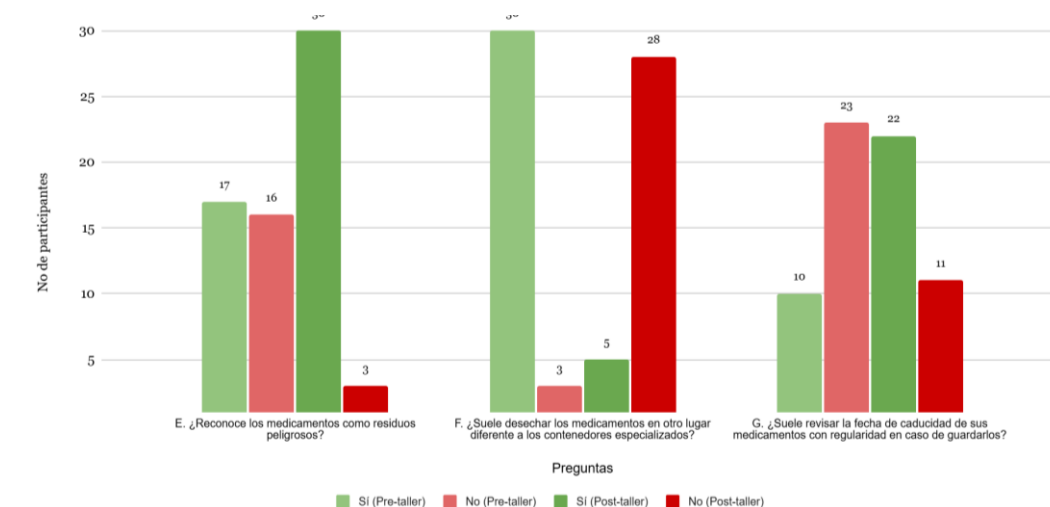
Figura 5. Frecuencia absoluta de respuestas afirmativas y negativas en la sección 2 del instrumento aplicado antes y después del taller en la comunidad Atotonilco el Grande.



Fuente: Elaborada por los autores.

En la sección 3, el reconocimiento de los medicamentos como residuos peligrosos aumentó de 17 a 30 respuestas afirmativas. La revisión regular de fechas de caducidad pasó de 10 a 22 participantes y se observó una disminución de 25 en las respuestas relacionadas con el desecho inadecuado (*figura 6*).

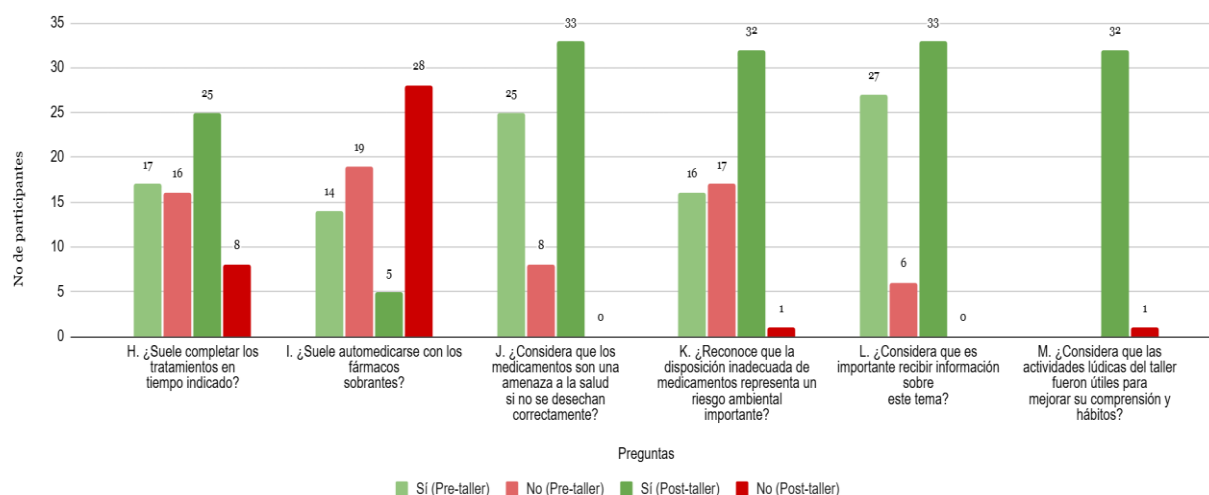
Figura 6. Frecuencia absoluta de respuestas afirmativas y negativas en la sección 3 del instrumento aplicado antes y después del taller en la comunidad Atotonilco el Grande.



Fuente: Elaborada por los autores.

En la sección 4, la percepción de riesgos ambientales y sanitarios asociados al manejo inadecuado mostró un incremento, alcanzando valores cercanos a la totalidad de la muestra. El interés por recibir información adicional se manifestó de manera unánime (figura 7).

Figura 7. Frecuencia absoluta de respuestas afirmativas y negativas en la sección 4 del instrumento aplicado antes y después del taller en la comunidad de Atotonilco el Grande.



Fuente: Elaborada por los autores.

Estadísticamente la prueba de chi cuadrada aplicada a la distribución global de las respuestas mostró diferencias estadísticamente significativas ($\chi^2=209.16$, $gl=25$, $p<0.000001$). De manera complementaria, el análisis de las frecuencias de respuestas afirmativas y negativas presentó valores de $p=1.0409 \times 10^{-25}$ y $p=2.7048 \times 10^{-46}$, respectivamente (tabla 4).

Tabla 4. Análisis de la distribución de frecuencias afirmativas y negativas en Atotonilco el Grande

Preguntas	Pre-taller		Post-taller	
	Sí	No	Sí	No
A	24	9	31	2
B	12	21	27	6
C	8	25	25	8
D	11	22	28	5
E	17	16	30	3
F	30	3	5	28
G	10	23	22	11
H	17	16	25	8
I	14	19	5	28
J	25	8	33	0
K	16	17	32	1
L	27	6	33	0
Total	223	197	308	112
Valor de p	1.0409×10^{-25}		2.7048×10^{-46}	

Fuente: Elaborada por los autores.

El análisis de diferencias cuadráticas indicó que las preguntas B, C, D, E, F y K concentraron más del 75 % de la variación total observada (tabla 5).

Tabla 5. Diferencias al cuadrado de respuestas afirmativas y porcentajes en Atotonilco el Grande.

Pregunta (x)	(Pre y Post-taller) ² Sí (PL)	Porcentaje diferencia de percepción
A	49	2.138804016
B	225	9.821038848
C	289	12.61457879
D	289	12.61457879
E	169	7.376691401
F	625	27.28066347
G	144	6.285464863
H	64	2.793539939
I	81	3.535573985
J	64	2.793539939
K	256	11.17415976
L	36	1.571366216
Total	2291	2.138804016

Fuente: Elaborada por los autores.

Asimismo, la prueba de McNemar evidenció diferencias estadísticamente significativas en los ítems B, C, D, E, F, H, J, K y L ($p < 0.05$), mientras que las preguntas A, G e I no presentaron cambios significativos. Estos resultados corroboran un incremento en el conocimiento y una mejora en las prácticas relacionadas con la disposición adecuada de medicamentos después de la implementación del taller.

El análisis conjunto de las frecuencias absolutas mediante la prueba de chi cuadrada arrojó valores de $p=6.3393 \times 10^{-30}$ para las respuestas afirmativas y $p=7.5204 \times 10^{-57}$ para las negativas.

DISCUSIÓN

La evaluación del peligro que una sustancia química representa al incorporarse a los componentes ambientales (agua, suelo, aire y organismos vivos) se fundamenta en el análisis integrado de diversos parámetros, entre los que se incluyen sus propiedades fisicoquímicas, cinética ambiental, procesos de degradación química y biótica, potencial de bioacumulación y toxicidad (Baaloudj *et al.*, 2025). En el caso de los productos farmacéuticos, estos factores adquieren especial relevancia debido a su diseño biológicamente activo y a su liberación continua al ambiente.

En este contexto, el monitoreo ambiental sistemático y de largo plazo resulta esencial para identificar zonas de riesgo, posibles efectos acumulativos derivados de la presencia de fármacos en matrices ambientales y diseñar intervenciones eficaces (World Health Organization, 2012). No obstante, los sistemas de vigilancia ambiental continúan siendo limitados en numerosos países lo que restringe la disponibilidad de información para la toma de decisiones. Ante este escenario, la metodología EPRAS se consolida como herramienta útil para estimar de manera preliminar el impacto de los medicamentos en el ambiente, así como para orientar estrategias regulatorias y de mitigación (Rodríguez-Anaya, 2016).

En este estudio, la aplicación de la EPRAS permitió identificar un conjunto de principios activos con alto potencial de riesgo ambiental, lo que proporcionó un criterio técnico para su selección dentro de la estrategia educativa. Este enfoque integrador resulta relevante, ya que vincula el análisis de riesgo con acciones de educación ambiental dirigidas a la población, superando aproximaciones que abordan ambos componentes de forma independiente.

La educación ambiental, entendida como una herramienta de gestión integral del conocimiento, constituye un elemento clave para promover prácticas adecuadas en la disposición final de medicamentos y para fortalecer la comprensión de sus efectos sobre el medio ambiente. Esta estrategia favorece procesos de concientización que operan desde el ámbito individual hasta el colectivo (Reyes-Díaz *et al.*, 2023). Estudios previos han documentado que la población presenta un bajo nivel de familiaridad con los contaminantes emergentes, incluidos los medicamentos, lo que refuerza la necesidad de difundir información clara y accesible sobre esta problemática (Díaz *et al.*, 2022).

Los resultados obtenidos en este trabajo mostraron que la implementación de una intervención educativa local se asoció con cambios estadísticamente significativos en la distribución de las respuestas relacionadas con el conocimiento, las prácticas de disposición y la percepción del riesgo, al considerar de forma conjunta ambas comunidades. Estos hallazgos son consistentes con investigaciones previas que han reportado mejoras en la percepción y el manejo adecuado de medicamentos tras intervenciones educativas dirigidas a distintos grupos poblacionales. Por ejemplo, Jarvis *et al.* (2009) documentaron incrementos significativos en la conciencia ambiental y en el reconocimiento de métodos adecuados de eliminación de medicamentos tras una campaña educativa dirigida a farmacéuticos. De manera similar, Alfian *et al.* (2021) reportaron cambios en las prácticas de disposición únicamente después de la implementación de educación ambiental directa en comunidades con bajo nivel de conocimiento previo.

Las diferencias observadas entre las comunidades aquí estudiadas sugieren que el contexto socioeducativo puede influir en la magnitud de los cambios registrados. En la comunidad de Real del Monte, donde predominó una población con mayor nivel de escolaridad, los cambios se concentraron en un número reducido de ítems, lo que sugiere un reforzamiento de conocimientos previos más que una modificación sustancial de prácticas. En contraste, en la comunidad de Atotonilco el Grande, caracterizado por una menor escolaridad promedio, se observaron cambios en

un mayor número de ítems, lo que coincide con reportes que señalan que las intervenciones educativas tienden a generar mayores beneficios en poblaciones con menor acceso previo a información y recursos educativos (Cutler y Lleras-Muney, 2010; Cohen y Syme *et al.*, 2013).

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentra el tamaño de muestra, condicionado por la participación voluntaria. Asimismo, el diseño del estudio no permite evaluar la persistencia de los cambios observados a largo plazo, por lo que investigaciones futuras podrían incorporar seguimientos temporales y muestras más amplias para fortalecer la evidencia.

A pesar de estas limitaciones, los resultados aportan evidencia empírica sobre la utilidad de integrar herramientas de evaluación de riesgo ambiental con estrategias de educación ambiental comunitaria, lo que representa una vía pertinente para el abordaje del problema asociado a la disposición inadecuada de medicamentos y su presencia en el ambiente.

CONCLUSIONES

Se identificaron medicamentos con alto potencial de riesgo ambiental a partir de su frecuencia de prescripción y de la aplicación de una metodología de evaluación de riesgo, lo que permitió vincular el análisis técnico con una estrategia educativa comunitaria. Los resultados mostraron que la intervención educativa se asoció con cambios en el conocimiento, la percepción del riesgo y las prácticas relacionadas con la disposición final de medicamentos, con mayor alcance en poblaciones con menor acceso previo a información. Se evidenció que la educación ambiental constituye una herramienta pertinente para abordar la problemática de los residuos farmacéuticos desde un enfoque preventivo y participativo. Asimismo, se observó que este tipo de estrategias, adaptadas al contexto socioeconómico y cultural, pueden replicarse en otros escenarios y sectores. Finalmente, se reconoció la necesidad de fortalecer los marcos regulatorios y las políticas públicas orientadas al manejo, control y disposición final de medicamentos, así como de evaluar la permanencia de los cambios observados mediante estudios de seguimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfian, S. D., Insani, W. N., Halimah, E., Qonita, N. A., Jannah, S. S., Nuraliyah, N. M., Supadmi, W., Gatera, V. y Abdulah, R. (2021). Lack of awareness of the impact of improperly disposed of medications and associated factors: a cross-sectional survey in Indonesian households. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 630434. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.630434>
- Alsasua, Á., Blanco, E., D'Ocon, M. P., Faura, C. C., Iglesias, M. D. C., Ceballos, M. L. D., y Tejerina, M. (2011). Aportaciones de los medicamentos a la salud y calidad de vida de los pacientes (II). *Actualidad en farmacología y terapéutica*, 9(4), 279-290. <https://acortar.link/r5seQt>
- Argaluz, J., Domingo-Echaburu, S., Orive, G., Medrano, J., Hernández, R. y Lertxundi, U. (2021). Environmental pollution with psychiatric drugs. *World Journal Psychiatr*, 11(10), 791-804. <http://dx.doi.org/10.5498/wjp.v11.i10.791>
- Baaloudj, O., Scrano, L., Bufo, S. A., Modley, L. A. S., Lelario, F., Zizzamia, A. R., Emanuele, L. y Brienza, M. (2025). Environmental fate, ecotoxicity, and remediation of heterocyclic pharmaceuticals as emerging contaminants: A review of long-term risks and impacts. *Organics*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.3390/org6010001>
- Cohen, A. K. y Syme, S. L. (2013). Education: A missed opportunity for public health intervention. *American Journal of Public Health*, 103(6), 997-1001. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2012.300993>

- Cutler, D. M. y Lleras-Muney, A. (2010). Understanding differences in health behaviors by education. *Journal of Health Economics*, 29(1), 1-28. <https://doi.org/10.1016/j.jhealeco.2009.10.003>
- Diario Oficial de la Federación. (2018). *Edición 2018 del cuadro básico y catálogo de medicamentos*. Comisión Interinstitucional del Cuadro Básico y Catálogo de Insumos del Sector Salud. <https://acortar.link/PmF6p1>
- Díaz, B. R. B., Sanz-Rosa, D., Pozo, B. S., Caro, J. L. y Barbero, M. H. (2022). Dolor, calidad de vida y salud mental en pacientes con gonalgia por gonartrosis: estudio de casos y controles. *Medicina de Familia. SEMERGEN*, 48(1), 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.semerg.2021.07.005>
- Freitas, L. D. A. A., y Radis-Baptista, G. (2021). Pharmaceutical pollution and disposal of expired, unused, and unwanted medicines in the Brazilian context. *Journal of xenobiotics*, 11(2), 61-76. <https://doi.org/10.3390/jox11020005>
- Jarvis, C. I., Seed, S. M., Silva, M. y Sullivan, K. M. (2009). Educational campaign for proper medication disposal. *Journal of the American Pharmacists Association*, 49(1), 65-68. <https://doi.org/10.1331/JAPhA.2009.08032>
- Kang, S. J. y Kim, J. E. (2023). Development of clinically optimized sitagliptin and dapagliflozin complex tablets: pre-formulation, formulation, and human bioequivalence studies. *Pharmaceutics*, 15(4), 1246. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15041246>
- Khan, S., Naushad, M., Govarthanan, M., Iqbal, J. y Alfadul, S. M. (2022). Emerging contaminants of high concern for the environment: Current trends and future research. *Environmental Research*, 207, 112609. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112609>
- Kleywegt, S., Pileggi, V., Yang, P., Hao, C., Zhao, X., Rocks, C., Thach, S., Cheung, P. y Whitehead, B. (2020). Pharmaceuticals, hormones and bisphenol A in untreated source and finished drinking water in Ontario, Canada. *Science of the Total Environment*, 720, 137532. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.01.010>
- Knox, C., Wilson, M., Klinger, C. M., Franklin, M., Oler, E., Wilson, A., Pon, A., Cox, J., Chin, N. E. L., Strawbridge, S. A., Garcia-Patino, M., Kruger, R., Sivakumaran, A., Sanford, S., Doshi, R., Khetarpal, N., Fatokun, O., Doucet, D., Zubkowski, A., Rayat, D. Y., Jackson, H., Harford, K., Anjum, A., Zakir, M., Wang, F., Tian, S., Lee, B., Liigand, J., Peters, H., Wang, R. Q. R., Nguyen, T., So, D., Sharp, M., da Silva, R., Gabriel, C., Scantlebury, J., Jasinski, M., Ackerman, D., Jewison, T., Sajed, T., Gautam, V. y Wishart, D. S. (2024). DrugBank 6.0: the DrugBank Knowledgebase for 2024. *Nucleic Acids Research*, 52(D1), D1265-D1275. <https://doi.org/10.1093/nar/gkad976>
- Mex-Álvarez, R. M. de J., Garma-Quen, P. M., Guillen-Morales, M. M., Sarabia-Alcocer, B., Guillermo-Chuc, G., Yanez-Nava, D. y Novelo-Pérez, M. I. (2022). Aplicación de la mercadotecnia social en salud ambiental para la gestión de botiquines domésticos. *Scientific Journal of Applied Social and Clinical Science*, 2(24). <https://doi.org/10.22533/at.ed.2162242225119>
- Moreno-Barragán, A. S., Benalcázar-Pozo, C. A. y Bermúdez-del Sol, A. (2023). Contaminación ambiental por productos farmacéuticos y su impacto en la salud humana. *Revista de Ciencias Médicas de Pinar del Río*, 27, 1. <https://acortar.link/oGVFm9>
- Myers, J., Hennessey, M., Arnold, J. C., McCubbin, K. D., Lembo, T., Mateus, A., Kitutu, F. E., Samanta, I., Hutchinson, E., Davis, A., Mmbaga, B. T., Nasuwa, F., Gautham, M. & Clarke, S. E. (2022).

- Crossover-use of human antibiotics in livestock in agricultural communities: A qualitative cross-country comparison between Uganda, Tanzania and India. *Antibiotics*, 11(10), 1342. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11101342>
- National Center for Biotechnology Information. (2025a). *PubChem Compound Summary for CID 1983, Acetaminophen*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Acetaminophen>
- National Center for Biotechnology Information. (2025b). *PubChem Compound Summary for CID 5479530, Ceftriaxone*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ceftriaxone>
- National Center for Biotechnology Information. (2025c). *PubChem Compound Summary for CID 84029, Clarithromycin*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Clarithromycin>
- National Center for Biotechnology Information. (2025d). *PubChem Compound Summary for CID 9887712, Dapagliflozin*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Dapagliflozin>
- National Center for Biotechnology Information. (2025e). *PubChem Compound Summary for CID 441401, Linezolid*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Linezolid>
- Olivares-Muñoz, A., Canales-Rubio, M., Bravo-Ramos, J. L., de Jesús Medina-Magariño, E. y Espín-Iturbe, L. T. (2023). Paracetamol contra el dolor en animales domésticos. *Bioagrobiencias*, 16(1), 1-9. <http://doi.org/10.56369/BAC.4846>
- Reyes-Díaz, M. G., Tovar-Torres, J. V., Trillo-Cárdenas, A. D., Peña-Donayre, C. J., Orellana-Torres, G. del P., Hernández-Baldeón, M. A. y Argota-Pérez, G. (2023). Uso y desecho de medicamentos del botiquín familiar desde la educación ambiental. *Biotempo*, 20(1), 91-96. <https://doi.org/10.31381/biotempo.v20i1.5717>
- Rodríguez-Anaya, A. (2016). *Potencial de riesgo y efectos biológicos en Danio rerio por presencia en el ambiente de fármacos antiinflamatorios no esteroideos (AINEs) de alto consumo* [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México]. Repositorio Institucional. <https://acortar.link/TYHgLb>
- Sánchez-Olivares, M. A., Gaytán-Oyarzun, J. C., Prieto-García, F. y Cabrera-Cruz, R. B. E. (2021). Evaluación Rápida de Potencial de Riesgo Genotóxico (ERPRG) asociada a metales pesados en agua potable: Caso de estudio Zimapán, Hidalgo, México. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 9(17), 114-120. <https://doi.org/10.29057/icbi.v9i17.7140>
- Sanabria-Pérez, F. J. (2017). Disposición final de residuos de medicamentos generados en los hogares de Tuxpan, Veracruz [Tesis de licenciatura, Universidad Veracruzana, México]. Repositorio Institucional. <https://doi.org/10.29057/icbi.v9i17.7140>
- World Health Organization. (2012). *Pharmaceuticals in drinking-water*. World Health Organization Press. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241502085>

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Pablo Octavio Aguilar, de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), México, por su apoyo técnico y orientación en el desarrollo de los análisis estadísticos, así como en la aplicación de las pruebas y la interpretación de los resultados de este estudio.