

Artículo

Fugas de agua en sanitarios en hidalgo, México: hábitos de atención, causas reportadas y retos para la eficiencia hídrica

Miriam Edith Pérez-Romero^{1,*}, Ignacio Ventura-Cruz² y Donaji Jiménez-Islas³

¹ Tecnológico Nacional de México/Campus Instituto Tecnológico Superior de Huichapan.División de Ingeniería Industrial, México

² Tecnológico Nacional de México/Campus Instituto Tecnológico Superior de Huichapan.División de Ingeniería Mecatrónica, México

³ Tecnológico Nacional de México/Campus Instituto Tecnológico Superior de Huichapan.División de Ingeniería en Energías Renovables, México

* Correspondencia: meperez@iteshu.edu.mx.

Resumen: La crisis hídrica en el planeta ha generado acciones y programas que promueven la optimización, racionalización y aprovechamiento integral del agua. Sin embargo, el desperdicio por fugas en la conducción y almacenamiento provocan problemas ambientales, sociales y económicos. La magnitud del problema es desconocida en volumen e impacto, por ello en el presente proyecto se buscó identificar la frecuencia, las causas y las prácticas de atención ante fugas en sanitarios para proponer medidas de mejora en la cultura de prevención y eficiencia hídrica. La metodología siguió un enfoque cuantitativo-descriptivo y un diseño transversal. Se elaboró un cuestionario que fue aplicado a 345 participantes. Se identificó que el 87% de los entrevistados tiene inodoros con descargas de agua menores a 10 litros, lo que indica el cambio de tecnología (sistema de doble descarga) con respecto a los sistemas de liberación de agua tradicionales que utilizan sapo (válvula obturadora de descarga o empaque flexible de hule). Además, solo el 31% de los entrevistados no identifica fugas de agua en inodoros, por el contrario, el 69% las presenta de forma periódica los tiene y la mayoría (57%) no realiza con frecuencia el mantenimiento preventivo que pudiera minimizar el problema. El 64% de las problemáticas planteadas son atribuidas a la válvula obturadora de descarga (comúnmente denominada sapo), la cual presenta principalmente fallas técnicas de operación por desgaste o desalineación. Por último, cabe resaltar que se encontró que para arreglar una fuga transcurren en la mayoría de los casos (71%) menos de 24 horas.

Palabras clave: Gestión hídrica, fugas domésticas, mantenimiento de sanitarios, cultura de prevención

Citar este trabajo: Pérez-Romero, M. E.; Ventura-Cruz, I.; Jiménez-Islas, D.
Título: Análisis de la pérdida de agua por fugas en sanitarios en el Estado de Hidalgo, México. RELITEC'S 2026, 9^a, edición

Recibido: 17-06-2026

Aceptado: 24-07-2026

Publicado: 31-07-2026

1. Introducción

La extensa urbanización y la creciente industrialización global son algunos de los principales factores que han conducido a la emergencia de una crisis hídrica en el mundo actual [1]. El agua es un elemento vital para reducir la carga mundial de enfermedades, mejorar la salud, potenciar el bienestar y la productividad de las poblaciones, así como para la producción y preservación de una serie de beneficios y servicios ecosistémicos de los que goza la sociedad [2]. No obstante, el desarrollo antropogénico actual implica el reto de satisfacer las necesidades comunitarias de una diversidad de usuarios en constante crecimiento [3]. En efecto, las extracciones de agua dulce para su uso en los diferentes sectores socioeconómicos se han incrementado entre seis y siete veces desde el año 1900, registrando una baja o casi nula tasa de recuperación después de su utilización [1].

En el contexto de México, las dinámicas de cambio de uso de suelo, la diversificación de las actividades económicas y la acelerada urbanización amenazan fuertemente el ciclo natural del agua; a este panorama se suma el avanzado deterioro de diversas cuencas y acuíferos del país, lo cual representa un riesgo importante para la salud humana, los sistemas de producción, la adaptación al cambio climático y el ejercicio de los derechos

humanos fundamentales [4]. Ante esta situación, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP por sus siglas en inglés) ha planteado el Objetivo de Desarrollo Sostenible #6: Agua Limpia y Saneamiento, justificado en que las últimas décadas han acentuado la escasez de recursos de agua dulce, provocando crisis hídricas severas en diversas regiones del planeta [5]. En sintonía con estas acciones globales, en México el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) se ha integrado dentro de sus Programas Nacionales Estratégicos un apartado específicamente dedicado al agua, invitando con ello a investigadores y académicos a sumar esfuerzos en pro de vías efectivas, equitativas y justas para fomentar un uso eficiente del recurso [4].

Las complejidades demográficas y ambientales contemporáneas motivan la constante búsqueda de metodologías y enfoques orientados a respaldar el uso racional del agua. Entre estas aproximaciones destaca aquella que propone evaluar la gestión del recurso desde tres ópticas distintas e íntimamente relacionadas entre sí: eficiencia, suficiencia y coherencia; donde la primera implica hacer más con menos, la segunda consumir estrictamente lo justo, y la última aplicar todos los recursos tecnológicos al alcance para maximizar el ahorro del líquido [3]. La crisis hídrica actual exige la adopción urgente de una gestión sostenible que atienda las necesidades de las poblaciones y salvaguarde este recurso vital, el cual se encuentra crecientemente amenazado por la contaminación, los efectos del cambio climático y la sobreexplotación. Los escenarios de escasez de agua, sequía recurrente y conflictos sociales por su acceso ya constituyen una realidad en múltiples latitudes y tienden a agravarse de no implementarse medidas de mitigación inmediatas.

Dentro de la diversidad de opciones existentes para la conservación y el uso eficiente del agua, la detección oportuna de pérdidas e infiltraciones se posiciona como uno de los primeros pasos fundamentales. Al respecto, diversos trabajos de investigación se han enfocado en estudiar las fugas dentro de las redes generales de distribución. Por ejemplo, Delgado [6] aplicó el método de los procesos de jerarquía analítica enfocado a la gestión de pérdidas de agua en redes de abastecimiento. En el mismo sentido, Rodríguez et al. [7] propusieron la implementación de sistemas embebidos para detectar y controlar fugas en sistemas de abastecimiento domiciliario, mientras que Chávez-Guzmán et al. [8] desarrollaron recientemente un prototipo virtual en Matlab y Simscape enfocado en la detección de fugas de agua potable en sistemas de tuberías. Es importante destacar que estas investigaciones se han concentrado principalmente en los sistemas e infraestructura de tuberías principales que suministran el recurso.

Sin embargo, las pérdidas en el sector residencial y de servicios representan un área de oportunidad crítica; tan solo en los hogares se estima una pérdida diaria promedio de 112 litros de agua por fugas domésticas [9], volumen que difícilmente se recupera y que no es aprovechado en ninguna actividad de importancia. En respuesta a esto, existen antecedentes orientados al monitoreo y control de fugas en espacios habitacionales, tales como el diseño presentado por Gama-Moreno et al. [10], quienes desarrollaron una interfaz para la detección de fugas en casas-habitación a partir de dispositivos electrónicos y aplicaciones de software orientadas a evaluar patrones de consumo y, ante una falla, enviar alertas mediante mensajes de texto a través de la red GSM para posibilitar el cierre del suministro.

Desde el punto de vista académico y científico, la presente investigación contribuye a ampliar el conocimiento sobre las pérdidas de agua dentro de los sanitarios, aportando información relevante para el diseño de estrategias de gestión sostenible del recurso, lo cual se considera necesario dada la alta presión hídrica que se experimenta principalmente en la región central del país. Desde una perspectiva social, el trabajo busca generar conciencia sobre el impacto de las fugas de agua en sanitarios, fomentando una cultura de

cuidado ambiental basada en la identificación y el mantenimiento oportuno de las mismas. Partiendo del contexto expuesto con antelación, el objetivo del presente trabajo fue identificar la frecuencia, las causas y las prácticas de atención ante fugas en sanitarios reportadas por diferentes sectores de actividad en el Estado de Hidalgo, México, para proponer medidas de mejora en la cultura de prevención y eficiencia hídrica.

2. Materiales y Métodos

La investigación se fundamentó en un enfoque cuantitativo y de alcance descriptivo, orientado a registrar y analizar la frecuencia con la cual se presentan fugas de agua, así como las causas, sin intervenir en las situaciones observadas [11]. El diseño del estudio fue de tipo seccional o transversal, recolectando la información en un único periodo correspondiente a los meses de julio y agosto del año 2023. El marco conceptual que guió el diseño metodológico consideró que la problemática de las fugas e infiltraciones es un factor crítico global que atenta contra la gestión justa y sostenible del recurso hídrico [12], [14]. De manera específica, se abordó el problema evaluando las fases hidrológicas operativas de extracción, distribución, consumo, eliminación y reúso [15], centrándose de forma detallada en las pérdidas económicas y de volumen que ocurren por averías físicas o desgaste en tuberías y uniones [16], [17]. Asimismo, para contextualizar el comportamiento de los usuarios, se estructuró el levantamiento técnico evaluando los principales equipos de consumo y descarga al interior de los inmuebles, tales como sanitarios convencionales, sistemas de doble pulsador, urinarios y tecnologías de descarga controlada [18], [19], [20], [21].

La población objeto de estudio se conformó por tres segmentos del sector de actividad del entorno urbano: casas-habitación, instituciones educativas y empresas o negocios locales del estado de Hidalgo, México. Para determinar el tamaño de la muestra idónea, se utilizó la ecuación clásica para poblaciones infinitas o desconocidas [22], expresada en la Ecuación 1:

$$n = \frac{Z^2 N p q}{e^2 (N-1) + Z^2 p q} \quad \text{Ecuación 1}$$

Tabla 1. Parámetros de configuración del muestreo estadístico

Parámetro	Descripción	Valor asignado
Z	Nivel de confianza	95% ($Z = 1.96$)
p	Variabilidad positiva	50% (0.50)
q	Variabilidad negativa	50% (0.50)
e	Margen de error aceptable	5% (0.05)
n	Tamaño de muestra resultante	383 personas

Fuente: Elaboración propia

Aunque se calculó un tamaño de muestra representativo de 383 unidades para un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, la muestra final recolectada fue de 345 participantes. Esta diferencia (38 participantes) se atribuye a limitantes logísticas y de acceso a los sectores de instituciones educativas y empresas durante el periodo de recolección, así como a la depuración técnica de cuestionarios que presentaron inconsistencias, datos incompletos o falta de validación. No obstante, el tamaño de la muestra alcanzado es suficiente para identificar tendencias significativas y proporcionar una base diagnóstica en el área que se ha planteado estudiar.

La técnica seleccionada para la recolección de información primaria fue la encuesta, utilizando como herramienta un cuestionario estructurado que integró un total de 15 preguntas cerradas, de opción múltiple y de escala psicométrica, además de preguntas abiertas para la aportación de datos cuantitativos directos. El instrumento de recolección fue validado mediante el juicio de un grupo de 8 expertos para asegurar la validez de contenido y constructo. Previo al despliegue definitivo en campo, se desarrolló una

prueba piloto implementando el cuestionario inicial con un grupo focalizado de 20 personas; los datos derivados de este ensayo permitieron realizar ajustes de sintaxis y validación de constructo para consolidar la versión final del instrumento técnico.

La recolección de la información en campo se ejecutó directamente con fuentes primarias. Durante este proceso, se garantizó el anonimato y la confidencialidad de los participantes, informando previa y claramente sobre el propósito académico del estudio. Asimismo, se solicitó el consentimiento informado tácito mediante la participación voluntaria, cumpliendo con los estándares de integridad ética en la investigación. Los datos crudos obtenidos mediante los cuestionarios validados se compilaron y estructuraron digitalmente en una hoja de cálculo en formato genérico, cabe señalar que las fugas y sus causas fueron reportadas por los participantes, no habiendo verificación alguna mediante inspección directa. Para el procesamiento, análisis e interpretación analítica de los resultados, se emplearon herramientas de estadística descriptiva parametrizada, procediendo al cálculo de distribuciones de frecuencia, tasas porcentuales acumuladas y la generación de representaciones gráficas para la discusión de los hallazgos.

3. Resultados

Se obtuvo un total de 345 respuestas válidas, de las cuáles 312 (90.4%) corresponden a casa-habitación, 13 (3.8%) a empresa o negocio y 20 (5.8%) a escuelas. Dentro de la categoría casa-habitación, se realizó una separación por tipo de vivienda, de las 312 respuestas, 279 (89.4%) se identificaron como casas y 33 (10.6%) fueron departamentos; esta diferenciación se considera pertinente, ya que el mantenimiento en edificios multifamiliares suele presentar desafíos distintos a los de las viviendas unifamiliares. La Figura 1 ilustra esta distribución, subrayando la relevancia del entorno doméstico en el estudio del desperdicio hídrico.

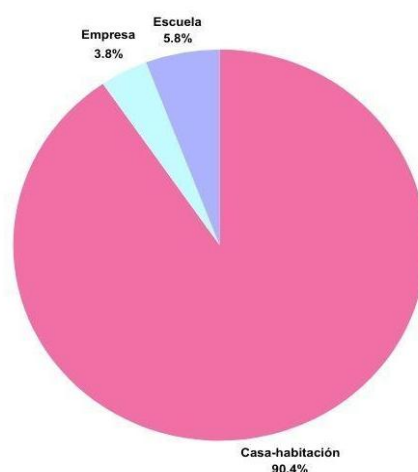


Figura 1. Distribución de las respuestas por objeto de análisis.

Fuente: Elaboración propia

Guerrero [19] señaló que al interior de las oficinas, casas o empresas la zona del baño es la que presenta mayor desperdicio de agua, derivado entre otras razones, por las descargas de agua constantes en el sanitario. Lo anterior se relaciona directamente al número de personas que viven, estudian o laboran en los distintos lugares, por ello, se agregó al cuestionario una pregunta acerca del número de personas que viven en el lugar, esto cuando se refiere a casa-habitación y al número de personas que normalmente asisten al lugar cuando se refiere a escuela o empresa/negocio. Los resultados de esas preguntas se muestran en la Tabla 2. Se observa que en la mayoría de las casas (102, 36.56%) viven de 5 personas a más, en el extremo opuesto son muy pocas las casas (4, 1.43%) las que son habitadas por una persona. Respecto a los departamentos estos son habitados en su mayoría por 2 personas (12, 36.36%) y al contrario de las casas, los departamentos que son

habitados por 5 o más personas son los menos (1, 3.03%). En cuanto a las escuelas y negocios, los resultados respecto al número de personas que asisten normalmente al lugar se muestran en la Tabla 3. En la mayoría de las escuelas (9, 45%) asisten de 200 personas a más; mientras que, en el caso de los negocios, en la mayoría (5, 38.5%) asisten de 1 a 24 personas diariamente.

Tabla 2. Número de personas que habitan la casa/departamento

Número de personas	Casa	Departamento
1	4	5
2	29	12
3	62	7
4	82	8
5	102	1
Total	279	33

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Distribución de escuelas y negocios según número de personas usuarias

Número de usuarios	Escuelas	Negocios
De 1 a 24	4 (20%)	5 (38.5%)
De 25 a 49	3 (15%)	2 (15.4%)
De 50 a 99	2 (10%)	4 (30.8%)
De 100 a 199	2 (10%)	0 (0%)
200 o mas	9 (45%)	2 (15.4%)
Total	20	13

Fuente: Elaboración propia

También se preguntó acerca del número de sanitarios que se tienen en los diferentes lugares, se observó que en el caso de las escuelas y negocios el número de sanitarios se relaciona directamente con el número de personas que asisten al lugar, se encontró que la mayoría de las escuelas (10, 50%) tienen de 20 sanitarios a más; mientras que en el caso de los negocios la mayoría (8, 61.5%) tienen de 1 a 5 sanitarios; en el párrafo anterior se mencionó que en la mayoría de escuelas entrevistadas asisten de 200 personas en adelante (opción más grande a elegir), mientras que en la mayoría de los negocios entrevistados asisten de 1 a 24 personas (opción más pequeña a elegir). En el caso de los hogares, tanto las casas como los departamentos cuentan en su mayoría (152, 54.48%; 29, 87.88% respectivamente) con 1 sanitario; haciendo énfasis en lo mencionado anteriormente, en la mayoría de las casas viven 5 o más personas.

Un dato que también era de interés conocer fue ¿De cuántos litros de agua es el depósito de agua del sanitario? Aquí se les agregó el comentario de que en caso de que sean varios y de diferente capacidad, considerar el de mayor capacidad. En la Figura 2 se observa que el 42.6% de los encuestados utiliza modelos de bajo consumo (menos de 5 litros por descarga), un avance importante considerando que los sanitarios de alta eficiencia pueden reducir el consumo hasta en un 76% en comparación con modelos convencionales de mayor capacidad [23]. No obstante, persiste un 44.1% de usuarios con depósitos de entre 5 y 10 litros, lo que representa un área de oportunidad crítica para la modernización tecnológica y la reducción del flujo base. Además, se identificó que 8.4% de los encuestados cuentan con depósitos con capacidad superior a 10 litros e inferior a 15 litros, por último, 4.9% con una capacidad superior a los 15 litros.

Los resultados del estudio revelan que la mayoría de los sanitarios en los hogares, empresas y escuelas encuestadas tienen una capacidad de depósito entre 5 y 10 litros, lo cual coincide con lo reportado por Giordana et al. [18], quienes señalan que la descarga media de los sanitarios es de 9-10 litros. En este punto se puede identificar que existe una oportunidad para mejorar la eficiencia del uso del agua en los sanitarios mediante la

instalación de modelos con depósitos de menor capacidad o con sistemas de descarga dual, en apego a lo establecido por la NOM-002-CONAGUA-2021 [24], norma oficial mexicana que establece que los límites máximos de consumo por descarga no deben exceder los 6 litros, asimismo, promueve el uso de tecnologías de doble descarga (4.2/6 litros).

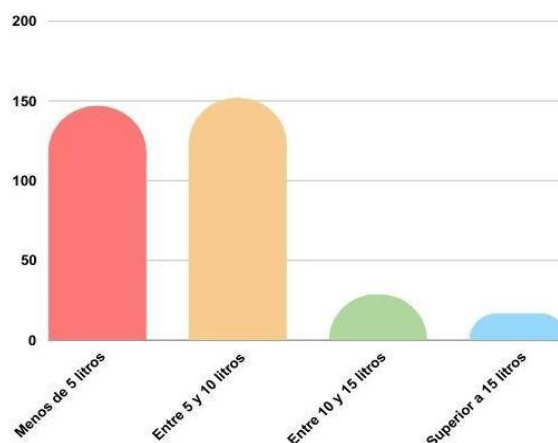


Figura 2. Depósitos de agua del sanitario de acuerdo con el número de litros.

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó una pregunta relacionada con la frecuencia en que se presentan fugas de agua en su sanitario (sanitario). A partir de las respuestas, mismas que se muestran en la Figura 3, se observa que la mayoría de los sanitarios (72%) no presentan fugas de agua (30%, 105) o las presentan con poca frecuencia (anualmente) (42%, 146). Una minoría significativa de sanitarios (24%) presentan fugas de agua con frecuencia mensual (8%, 29) o semestral (16%, 54). Las fugas semanales de agua son poco comunes (3%, 11). Se considera que los resultados anteriores son algo positivo, ya que las fugas de agua pueden ser una fuente importante de desperdicio y pueden aumentar significativamente el consumo de agua. En contextos similares, se ha documentado que un sanitario con fugas continuas puede perder entre 200 y 500 litros de agua por hora [25].

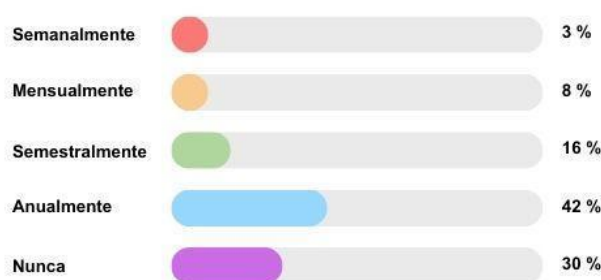


Figura 3. Frecuencia de fugas en sanitarios.

Fuente: Elaboración propia

Se preguntó también sobre la frecuencia en que se da mantenimiento preventivo al sanitario (inodoro), los resultados se presentan en la Figura 4. El 13.6% (47) de las respuestas indican que dan mantenimiento preventivo de manera mensual, el 13.3% (46) señalan que el mantenimiento lo realizan de manera semestral y un 17.1% (59) indican que es de forma anual. Sin embargo, la mayoría, es decir, el 55.9% (193) realizan mantenimiento únicamente cuando hay fugas o algún otro tipo de problema, por lo tanto, se puede decir en estos casos que el sanitario no recibe mantenimiento preventivo, en lugar de ello el mantenimiento es del tipo correctivo. Lo anterior puede ser un punto de alarma, ya que el mantenimiento preventivo puede ayudar a prevenir fugas,

obstrucciones y otros problemas con los sanitarios, lo que puede ahorrar dinero y evitar molestias.

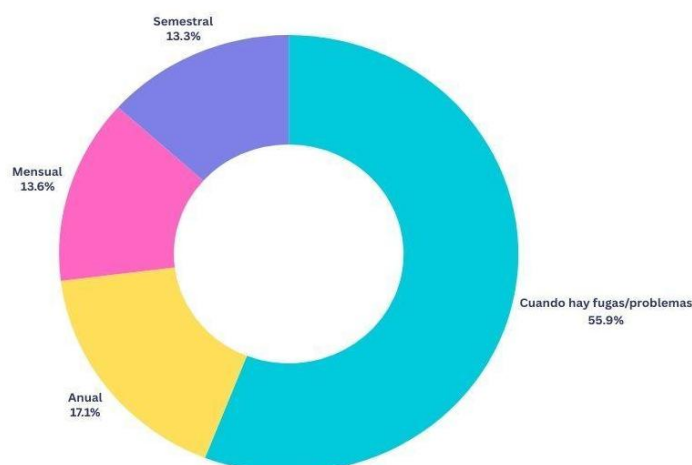


Figura 4. Frecuencia de mantenimiento preventivo al sanitario.

Fuente: Elaboración propia.

Se cuestionó acerca de la importancia del uso adecuado del agua. En la Figura 5 se presentan los resultados, los cuales revelan que existe una gran conciencia entre la población sobre la importancia del uso adecuado del agua, el 98.3% eligieron las respuestas “importante” (12.8%, 44), “muy importante” (33.9%, 117) y “demasiado importante” (51.6%, 178). Esto es positivo, ya que el uso adecuado del agua es esencial para la conservación de este recurso vital. Cabe destacar que el uso adecuado del agua no solo es fundamental para la sostenibilidad ambiental, sino que también genera beneficios económicos y contribuye a la mejora de la salud pública, al reducir enfermedades y aumentar la productividad [26]. El uso eficiente del agua puede ayudar a reducir la cantidad que se paga por el agua consumida, disminuir la presión sobre los recursos hídricos y prevenir enfermedades relacionadas con el agua contaminada, principalmente.

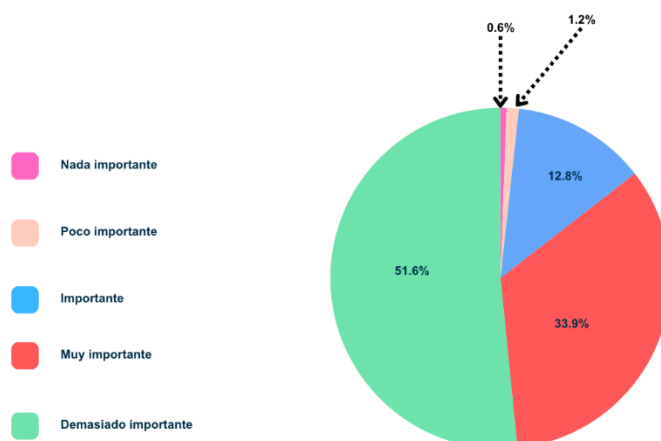


Figura 5. Importancia del uso adecuado del agua.

Fuente: Elaboración propia.

Se preguntó además acerca de las razones que ocasionan las fugas en el sanitario, cuando éstas se han detectado. A partir de los resultados que se muestran en la Figura 6, se observa que las causas más comunes de las fugas se atribuyen al deterioro de componentes internos: empaques dañados (32.4%) y fallas en el sapo (31.6%). A pesar de la frecuencia de estos incidentes, el 55.9% de la muestra realiza mantenimiento de tipo correctivo, es decir, solo cuando la falla es evidente. Esta falta de mantenimiento

preventivo es preocupante, dado que las fugas no detectadas pueden representar aproximadamente el 13% del consumo total de agua en una vivienda promedio [27].

Otro factor de causa de fugas fue que el sapo se queda arriba, con el 27.3% de las respuestas. En este apartado se dio la opción a mencionar algunas otras causas, las respuestas fueron: la acumulación de sarro que provoca que no selle bien, los herrajes son antiguos, la taza del baño se despegó, las mangueras están dañadas, el agua se desborda del tinaco y descuido del usuario. Se observa que las causas principales están relacionadas con el deterioro de los componentes del mecanismo de descarga, como el sapo y los empaques. Lo anterior indica que es importante realizar inspecciones periódicas de estos componentes y reemplazarlos cuando sea necesario para evitar fugas.



Figura 6. Causas principales de las fugas de agua en los sanitarios.

Fuente: Elaboración propia.

Para conocer la rapidez con la cual se atienden las fugas de agua, se preguntó lo siguiente: cuando ha detectado fugas en el sanitario (sanitario), aproximadamente ¿Cuánto tiempo transcurre entre que usted detecta la fuga y la arregla? En la Figura 7 se presentan los resultados, los cuáles muestran que la mayoría de las personas (241, 69.9%) reparan las fugas antes de transcurridas 24 horas. Otra parte importante (83, 24.1%) reparan la fuga en menos de una semana. Son pocas las personas que respondieron que la fuga es reparada en menos de un mes (13, 3.8%) y todavía menos las personas que respondieron que reparar la fuga no es prioridad (8, 2.3%). Esto indica que existe una buena conciencia sobre la importancia de reparar las fugas de manera oportuna. Sin embargo, también se observa que una minoría significativa deja pasar el tiempo para arreglar las fugas lo que se traduce en un desperdicio importante de agua. Las razones por las cuáles se demora la reparación de las fugas es algo que no se abordó en este cuestionario; de acuerdo con la experiencia se considera que algunas de ellas podrían ser el no contar con los materiales y/o herramientas necesarias, el no saber realizarlo y estar a la espera de disponibilidad de un plomero o alguna otra persona que realice este tipo de trabajo.

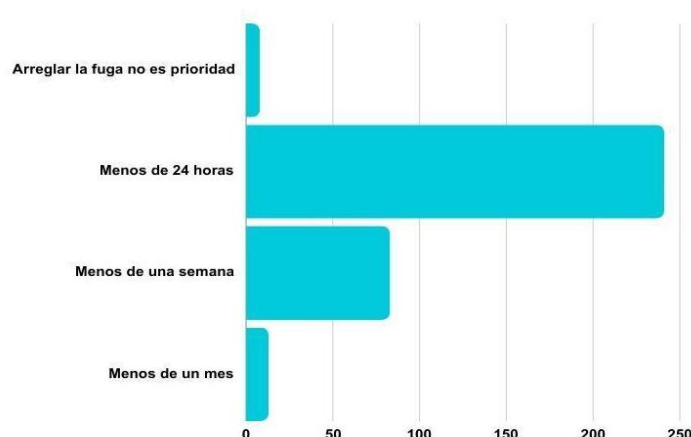


Figura 7. Tiempo en que tardan en arreglarse las fugas de agua en los sanitarios.

Fuente: Elaboración propia.

A las escuelas y empresas/negocios también se les preguntó si cuentan con un programa de cuidado del agua. Más de la mitad (60%) de las escuelas y casi la mitad (46%) de las empresas/negocios que participaron en la encuesta, cuentan con un programa de cuidado del agua, lo que demuestra un compromiso con la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental, ver Figura 8. Estos programas no solo ayudan a reducir el consumo de agua y el costo asociado, sino que también contribuyen a la conservación de este recurso para las generaciones futuras. Los programas de cuidado del agua en escuelas y empresas/negocios pueden incluir una variedad de medidas, como la instalación de grifos y sanitarios de bajo flujo, la realización de talleres de sensibilización sobre el uso responsable del agua, la implementación de sistemas de riego eficientes y la detección y reparación de fugas.



Figura 8. Porcentaje de escuelas y empresas/negocios que cuenta con un programa de cuidado del agua.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, los datos sugieren que la transición hacia infraestructura más moderna es una necesidad en cuestión de ahorro de agua. La implementación de sanitarios de monitoreo puede llevar a una reducción promedio del 30.22% en el consumo total de un inmueble [28]. En este estudio, el alto porcentaje de usuarios (98.3%) que considera importante el uso adecuado del agua contrasta con la persistencia de infraestructuras obsoletas, lo que indica que la barrera para la eficiencia hídrica podría ser más económica o técnica que de conciencia ambiental. En este sentido, las campañas de sensibilización deben trascender la teoría y fortalecer la capacidad técnica de los usuarios para la autogestión de sus reparaciones domésticas, evitando así que el desconocimiento perpetúe el desperdicio [29]. Dicha brecha en la implementación operativa coincide con hallazgos en otros contextos, donde se evidencia una falta de socialización de resultados y de convocatorias de capacitación ampliadas.

4. Discusión

Aunque la mayoría de los encuestados (69.9%) repara las fugas en menos de 24 horas, el volumen de agua perdido en ese lapso puede ser masivo. Anteriormente se señaló que

investigaciones internacionales han demostrado que un solo sanitario con fugas continuas puede desperdiciar entre 200 y 500 litros de agua por hora [25]. Esto implica que, incluso una reparación "rápida" de un día, podría resultar en la pérdida de hasta 12,000 litros de agua potable, volumen equivalente al consumo de más de 100 personas en entornos residenciales optimizados [25].

La detección de las fugas de agua puede resultar un desafío, especialmente en entornos con numerosos accesorios de plomería como los baños [30]. En este sentido, coincidimos con los autores antes citados, pues de manera específica encontramos que las causas de las fugas en sanitarios pueden ser por diversas causas: 1) Que los empaques se han dañado, 2) Que el sapo no sella bien, 3) Que el sapo se queda arriba 4) La acumulación de sarro, 5) La antigüedad de los accesorios, 6) La taza del baño se despegó, 7) Las mangueras están dañadas, 8) El agua se desborda del tinaco y 9) El descuido del usuario. Se observó que la mayoría de las respuestas señalan que las causas principales están relacionadas con el deterioro de los componentes del mecanismo de descarga, como el sapo y los empaques. Además, es importante señalar que la baja frecuencia de fugas reportada puede estar influida no solo por su ocurrencia real, sino también por limitaciones en su detección por parte de los usuarios, ya que algunas fallas requieren la inspección del mecanismo interno del sanitario como se menciona previamente.

Por otra parte, la dependencia del mantenimiento correctivo (55.9%) sugiere una brecha en la cultura de prevención. En otros contextos, se ha observado que las fugas representan aproximadamente el 13% del consumo total de agua en una vivienda promedio [27]. La falta de inspecciones periódicas no solo agrava el desperdicio del recurso, sino que genera un impacto económico directo; las fugas no visibles pueden generar costos adicionales considerables en el presupuesto anual de un hogar [31].

A pesar de que el 98.3% de los encuestados considera "importante" el uso adecuado del agua, la persistencia de prácticas de mantenimiento reactivo indica que la conciencia no siempre se traduce en acción técnica preventiva. Esto concuerda con estudios que señalan que, aunque existe una alta percepción de la importancia del recurso, la falta de programas de educación ambiental y conocimientos técnicos sobre la cuantía del desperdicio limita la eficiencia real en el hogar [29]. La implementación de tecnologías de medición inteligente (smart metering) podría ser una solución futura para identificar estos eventos de "flujo base" alto que los usuarios suelen ignorar [32].

Finalmente, los resultados muestran una oportunidad de mejora en la infraestructura, el reemplazo de sanitarios obsoletos por modelos de alta eficiencia ha demostrado reducir el consumo total de agua en edificios en un promedio del 30.22% [28]. Lo anterior es particularmente relevante para el 44.1% de la muestra que aún utiliza depósitos de 5 a 10 litros.

5. Conclusiones

Las fugas de agua en los sanitarios existen con una frecuencia principalmente anual, ocasionadas en su mayoría por fallas en los componente internos. A partir de los resultados que se obtuvieron de las 345 encuestas realizadas, se puede concluir que existe conciencia entre la población e instituciones sobre la importancia del uso del agua. Aun así hay distintas áreas de oportunidad para hacer más eficiente el uso del agua, entre las que se detectaron las siguientes: fomentar la instalación de sanitarios con depósitos de menor capacidad o con sistemas de descarga dual; fomentar el hábito de una revisión y mantenimiento periódicos en sanitarios para prevenir las fugas de agua o en su caso para detectar posibles daños y repararlos antes de tener la fuga, además de fomentar la reparación inmediata de las fugas; al momento de realizar la instalación del sanitario o de realizar mantenimiento es indispensable seguir las instrucciones del fabricante. En el caso

particular de escuelas y empresas fomentar la adopción de un programa de cuidado del agua y su puesta en práctica; esto para aquellas organizaciones que no cuentan aún con ello, es necesario que en dicho programa se destaque la importancia de la participación de la comunidad educativa o empresarial en el éxito de los programas y además de ser generador de hábitos que puede llevar al entorno familiar.

Dada la importancia que tiene el agua en nuestras vidas, las fugas de agua en los sanitarios son una preocupación importante y requiere de métodos de detección para abordar el problema lo más rápido posible. Una de las principales limitaciones del estudio radica en la heterogeneidad de la población analizada, así como en el tamaño reducido de la muestra para los sectores de escuelas y empresas/negocios, principalmente debido a que pueden presentar diferencias en sus prácticas de uso, mantenimiento y gestión de los sanitarios, lo que podría influir en la presencia y atención de fugas de agua. Por otra parte, la ausencia de variables relacionadas con la caracterización socioeconómica de las viviendas y las condiciones del servicio de agua que restringe el alcance interpretativo de los resultados.

Se recomienda que futuras investigaciones aborden de manera específica cada tipo de usuario, lo que permitiría profundizar en el análisis de relaciones entre variables, tales como características del hogar y la ocurrencia de fugas, con el fin de identificar patrones y factores explicativos del fenómeno, además de realizar comparaciones entre distintos contextos. Además de desarrollar tecnologías que promuevan el uso eficiente del agua y que contengan las fugas en caso de presentarse.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el apoyo económico recibido para la realización del proyecto "Desarrollo de un dispositivo para la reducción de fugas de agua en sanitarios" del cuál surgió el presente artículo.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Referencias

1. Saquib, S., Gupta, A., & Joshi, A. (2022). Emerging water crisis: Impact of urbanization on water resources and constructed wetlands as a nature-based solution (NbS). *Current Directions in Water Scarcity Research*, 447–468. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-91838-1.00021-x>
2. SEMARNAT & CONAGUA. (2015). Cuidemos el agua que mueve a México. Disponible en: https://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/carrera_agua_2015.pdf
3. Bautista-Capetillo, C., González-Pérez, G.A. & Badillo-Almaraz, H. (2021). Aprovechamiento histórico de los recursos hídricos. Evolución de obras hidráulicas en el estado de Zacatecas. *Decumanus, Revista Interdisciplinaria sobre Estudios Urbanos*, 6(6), 1-20.
4. CONAHCYT (2023). Programas nacionales estratégicos. Disponible en: <https://conacyt.mx/pronaces/>
5. UNDP (2022). Sustainable Development Goals. Disponible en: https://www.undp.org/sustainable-development-goals?utm_source=EN&utm_medium=GSR&utm_content=US_UNDP_PaidSearch_Brand_English&utm_campaign=CENTRAL&c_src=CENTRAL&c_src2=GSR&gclid=Cj0KCQiA_P6dBhD1ARIsAAGI7HDuLWi0ZbABYjVUfQMh82PGWrMgp1gN2xdrM0jJhIXoe3l9HydQT_saAsUrEALw_wcB
6. Delgado, X. V. (2011). Aplicación del método de las jerarquías analíticas (AHP) a la gestión de pérdidas de agua en redes de abastecimiento. Tesis doctoral del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia.
7. Rodriguez, C., Mamani, I. & Herrera, A. (2019). Smartwater para la detección de fugas de agua. XXV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/91186/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
8. Chávez-Guzmán, M., Monjaraz-Izquierdo, E.E., Galván-Guerra, R. & Tolentino-Eslava, R. (2022). Prototipo virtual para la detección de fugas de agua potable. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 10(6), 52-57. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10iEspecial6.9003>
9. Fundación Aquae. (2022). ¿Sabes cuánta agua consumes a diario?. Disponible en: <https://www.fundacionaquae.org/sabes-cuanta-agua-consumes-a-diario/>
10. Gama, L.A., Sánchez, M.A. & Ochoa, C. de J. (2020). Diseño de una interfaz para la detección de fugas de agua. Repositorio Universitario de la DGTIC. Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.11/num2/art23/int23.htm>
11. Bernal, C.A. (2010). Metodología de la investigación. Prentice Hall.
12. Debaere, P., Richter, B. D., Davis, K. F., Duvall, M. S., Gephart, J. A., O'Bannon, C. E., Pelnik, C., Powell, E. M., & Smith, T. W. (2014). Water markets as a response to scarcity. *Water Policy*, 16(4), 625–649. <https://doi.org/10.2166/wp.2014.165>
13. Delorit, J. D., & Block, P. J. (2018). Promoting Competitive Water Resource Use Efficiency at the Water-Market Scale: An Intercooperative Demand Equilibrium-Based Approach to Water Trading. *Water Resources Research*, 54(8), 5394–5421. Portico. <https://doi.org/10.1029/2017wr022323>
14. Salehi, M. (2022). Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis. *En Environment International*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106936>
15. Rivera, P., & Aguilar, A. G. (2015). La gestión integral del agua en zonas urbanas: caso de estudio Zacatecas-Guadalupe, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(3), 125-142.
16. Adedeji, K. B., Hamam, Y., Abe, B. T., & Abu-Mahfouz, A. M. (2017). Towards Achieving a Reliable Leakage Detection and Localization Algorithm for Application in Water Piping Networks: An Overview. *IEEE Access*, 5, 20272–20285. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2752802>
17. Gámez A. (2021). Aplicación de técnicas de machine learning para la detección de fugas en una tubería horizontal que transporta una mezcla de agua y glicerol. Tesis de pregrado. Universidad de la Costa. <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/8874/Aplicaci%3b%20de%20t%3a9cnicas%20de%20machine%20Learning%20para%20la%20detecci%3b%20de%20fugas%20en%20una%20tuber%3ada%20horizontal%20que%20transporta%20una%20mezcla%20de%20agua%20y%20glicerol.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
18. Giordana, R., Alos, F. J., Li Gambi, L.A., Rustan, G. (2013). Una revisión de los dispositivos ahorradores de agua para los edificios. Memorias del Primer Congreso Iberoamericano de Protección, Gestión, Eficiencia, Reciclado, y Reúso del Agua. Universidad Nacional de Córdoba. <http://hdl.handle.net/11086/29560>
19. Guerrero, T.O.D. (2017). Plan de negocios para la creación de una empresa que fabrique y comercialice baños inteligentes y sustentables enfocado a empresas en el distrito. Universidad de las Américas, Tesis de pregrado.
20. Arellano, A., Izurieta, C., Bravo, C., Merino, A., & Yépez, D. (2019). Desperdicio de agua a través del equipo sanitario. *Revista Digital Novasinergia*, 2(2), 68-74. <https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.04.07>
21. Izurieta, C., Arellano, A., & Muñoz, G. (2022). La Demografía y el Consumo de Agua Potable en los Estratos Socio Económicos Urbanos. Fomento de La Investigación y Publicación En Ciencias Administrativas Económicas y Contables (FIPCAEC), 7(31), 809-829. <https://doi.org/10.23857/fipcaec.v7i1.552>
22. Pérez-Romero, M. E. & Flores-Romero, M. B. (2020). Madurez de la Mipyme de servicios turísticos de Tecozautla, Hidalgo, México. *Mercados y negocios*, 1(41), 63-84.

23. Rodríguez, A. T., & Martínez, F. M. (2021). La gestión de la oferta de agua: el caso de la zona metropolitana de Guadalajara. *Expresión Económica*, 47, 31. <https://doi.org/10.32870/eera.vi47.1129>
24. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2022). Norma Oficial Mexicana NOM-002-CONAGUA-2021, Aparatos y accesorios de uso sanitario. *Diario Oficial de la Federación*, 29 de noviembre de 2022.
25. Zang, J., Kumar, M., & Werner, D. (2024). Sustainable water management in purpose-built student accommodation. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2851360/v2>
26. OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos). (2011). Benefits of investing in water and sanitation: An OECD perspective. OECD Publishing.
27. Fuentes, H., & Mauricio, D. (2020). Smart water consumption measurement system for houses using IoT and cloud computing. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(9). <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08535-4>
28. Freitas, L. L. G., Kalbusch, A., Henning, E., & Walter, O. M. F. C. (2021). Using Statistical Control Charts to Monitor Building Water Consumption: A Case Study on the Replacement of Toilets. *Water*, 13(18), 2474. <https://doi.org/10.3390/w13182474>
29. Moreira-Segura, C., Araya-Rodríguez, F., & Charpentier-Esquivel, C. (2015). El agua como parte de la cultura de las comunidades rurales: un análisis para la cuenca del río San Carlos. *Revista Tecnología En Marcha*, 28(2), 126. <https://doi.org/10.18845/tm.v28i2.2339>
30. Xiu, Y., Wang, W., Liu, X. J., & Cheng, J. J. (2023). Water Leakage Detection System for Public Toilets Based on Deep learning. 2023 International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-Taiwan), 387–388. <https://doi.org/10.1109/icce-taiwan58799.2023.10226798>
31. Knapik, M. (2022). Analysis of the cost of leaks from the water supply system, including methods to reduce water consumption. *Zeszyty Naukowe SGSP*, 84, 73. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.1802>
32. Zang, J., Kumar, M., & Werner, D. (2023). Smart metering and communication interventions reduce significant water leakage by faulty toilets in purpose-built student accommodation. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2851360/v1>