



**Ciencia Latina**  
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2024,  
Volumen 8, Número 5.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i5](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5)

## **ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA EN LA GESTIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN LA RED DE ABASTECIMIENTO EN LA REGIÓN CENTRAL DE TAMAULIPAS**

**ANALYSIS OF WATER LOSS MANAGEMENT EFFICIENCY  
IN THE CENTRAL TAMAULIPAS WATER SUPPLY  
NETWORK**

**José de Jesús Federico Mauricio Ruiz**

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, México

**Edgar Pérez Arriaga**

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, México

**Edna Edith Becerra Puente**

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, México

**Javier Julian Rodriguez Hernandez**

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, México

**Omar Silva Gutierrez**

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, México

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i5.14020](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14020)

## **Análisis de la Eficiencia en la Gestión de Fugas de Agua Potable en la Red de Abastecimiento en la Región Central de Tamaulipas**

**José de Jesús Federico Mauricio Ruiz<sup>1</sup>**

[M22380006@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:M22380006@cdvictoria.tecnm.mx)

<https://orcid.org/0009-0004-0440-5600>

TecNm/Instituto Tecnológico de Cd. Victoria  
México

**Edgar Pérez Arriaga**

[edgar.pa@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:edgar.pa@cdvictoria.tecnm.mx)

<https://orcid.org/0000-0001-8874-6963>

TecNm/Instituto Tecnológico de Cd. Victoria  
México

**Edna Edith Becerra Puente**

[edna.bp@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:edna.bp@cdvictoria.tecnm.mx)

<https://orcid.org/0009-0006-0595-573X>

TecNm/Instituto Tecnológico de Cd Victoria  
México

**Javier Julian Rodriguez Hernandez**

[javier.rh@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:javier.rh@cdvictoria.tecnm.mx)

<https://orcid.org/0009-0005-7697-4308>

TecNm/Instituto Tecnológico de Cd. Victoria  
México

**Omar Silva Gutierrez**

[omar.sg@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:omar.sg@cdvictoria.tecnm.mx)

<https://orcid.org/0009-0004-1862-7335>

TecNm/Instituto Tecnológico de Cd. Victoria  
México

### **RESUMEN**

La presente investigación tiene como objetivo analizar los principales parámetros que miden la eficiencia de los protocolos utilizados para la atención de fallas en la red distribución de agua potable. Para llevar a cabo este análisis se utilizaron los indicadores claves de desempeño KPI 's, que permitieron identificar las áreas de oportunidad y mejora. Fue utilizado un tipo de estudio descriptivo en un periodo de tiempo determinado, se recolectó, analizó e interpretaron los datos, siendo los principales hallazgos, las fallas originadas en toma, calle y banqueta, representando un 47% de las pérdidas del total de extracción. También se determinó mediante un análisis de temporalidad que el cuarto trimestre del año es donde se presentan más fugas de agua potable, derivado de un aumento en las precipitaciones y por la falta de capacidad de la red de distribución de agua potable. Otro dato de vital importancia es que los mantenimientos correctivos se llevan a cabo con un promedio de 28 días dejando una espectro de desperdicio de agua enorme. Se concluye que las deficiencias operativas representadas por los KPI's de resolución de mantenimientos está estrechamente ligada con la gestión del proceso de inicio a fin desde la reciba de reportes de fugas hasta su consumación siendo estos en los que se debe poner especial atención.

**Palabras clave:** KPI's, estudio descriptivo, mantenimientos correctivos, red de distribución de agua

---

<sup>1</sup> Autor principal

Correspondencia: [M22380006@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:M22380006@cdvictoria.tecnm.mx)

# Analysis of Water Loss Management Efficiency in the Central Tamaulipas Water Supply Network

## ABSTRACT

The present research aims to analyze the key performance indicators (KPIs) that measure the efficiency of protocols used for addressing failures in the potable water distribution network. To conduct this analysis, KPIs were utilized to identify areas for opportunity and improvement. A descriptive study was employed over a defined period to collect, analyze, and interpret data. The main findings indicate that failures originating at the connection point, street, and sidewalk represent 47% of total extraction losses. Additionally, a temporal analysis determined that the fourth quarter of the year experiences the highest number of potable water leaks due to increased rainfall and the distribution network's limited capacity. Another crucial finding is that corrective maintenance takes an average of 28 days, resulting in a significant amount of water wastage. The research concludes that operational deficiencies, as reflected in the maintenance resolution KPIs, are closely linked to the end-to-end process management, from receiving leak reports to their completion. These areas require special attention for improvement.

**Keywords:** KPIs, descriptive study, corrective maintenance, water distribution network

*Artículo recibido 08 agosto 2024*

*Aceptado para publicación: 10 septiembre 2024*



## INTRODUCCIÓN

La creciente escasez de agua a nivel mundial, agravada por el cambio climático, el crecimiento poblacional y la contaminación, plantea desafíos apremiantes para la gestión sostenible de este recurso vital. Estudios recientes indican que más de 4 mil millones de personas en todo el mundo enfrentan escasez severa de agua potable (Mekonnen & Hoekstra, 2016). Esta problemática se intensifica en regiones áridas y semiáridas, donde la disponibilidad de agua es naturalmente limitada y la presión sobre los recursos hídricos es mayor (WWAP, 2012). En regiones como la central de Tamaulipas, México, donde la disponibilidad de agua potable es crucial para el bienestar de la población y el desarrollo económico, la eficiencia en la gestión de los sistemas de suministro se vuelve aún más crítica. Las fugas en las redes de distribución de agua potable representan una pérdida significativa de este recurso, impactando tanto la eficiencia operativa de las empresas proveedoras como la economía local y el medio ambiente. A pesar de ser a menudo invisibles, las fugas exacerbaban la crisis hídrica y ponen en riesgo la sostenibilidad de las comunidades. Estudios previos han demostrado que las pérdidas de agua por fugas pueden alcanzar niveles alarmantes, llegando incluso al 40% del agua suministrada en algunos sistemas (Kingdom, Liemberger, & Marin, 2006). Estas pérdidas no solo representan un desperdicio de un recurso escaso, sino que también generan costos económicos significativos para las empresas proveedoras y los usuarios finales, pudiendo incluso afectar la tarifa del agua y la satisfacción de los usuarios (Lambert, 2002; Thornton, et al., 2008).

En este contexto, la organización encargada de la gestión del suministro de agua potable en la región central de Tamaulipas enfrenta el reto de garantizar un suministro de agua confiable y eficiente, minimizando las pérdidas por fugas. La presente investigación se propone analizar la eficiencia en la gestión de fugas de agua en la red de abastecimiento, con el objetivo de identificar áreas de mejora y proponer soluciones para una gestión más sostenible del recurso hídrico.

Para lograr este objetivo, se recopilaron datos de los reportes de fugas de agua potable a lo largo de un año. Estos datos permitirán evaluar el tiempo que tarda la organización en atender y reparar las fugas, un indicador clave de la eficiencia del proceso de gestión. El análisis de los tiempos de reparación es fundamental para comprender el desempeño de los sistemas de gestión de fugas, ya que permite identificar cuellos de botella y áreas de mejora en la respuesta a las fugas (Al-Washali et al., 2016).



Mediante el análisis estadístico de estos tiempos de reparación, se busca establecer límites de control y evaluar la variabilidad del proceso, lo que proporcionará información valiosa para la toma de decisiones y la implementación de mejoras.

Además, se realizará un análisis de temporalidad para examinar la relación entre la ocurrencia de fugas y las condiciones climáticas, particularmente la temporada de lluvias. Estudios previos han demostrado que las precipitaciones intensas pueden aumentar la incidencia de fugas debido a la mayor presión en las tuberías y la erosión del suelo (Mutikanga, Sharma, & Vairavamoorthy, 2011). Este fenómeno se debe a que las lluvias intensas pueden saturar el suelo, aumentando la carga sobre las tuberías y provocando movimientos que generan tensiones y posibles roturas (Farley, 2001). En el contexto de Tamaulipas, donde la temporada de lluvias se concentra entre septiembre y diciembre, se espera observar un incremento en el número de fugas reportadas durante este período.

La presente investigación contribuirá a la comprensión de los desafíos y oportunidades en la gestión de fugas de agua en la región central de Tamaulipas. Los resultados obtenidos permitirán a la entidad responsable del suministro de agua potable implementar estrategias más efectivas para reducir las pérdidas, optimizar la eficiencia operativa y promover la conservación de este recurso vital.

## **METODOLOGÍA**

La presente investigación se basa en un enfoque de estadística descriptiva para analizar la eficiencia en la gestión de fugas de agua potable en la región central de Tamaulipas. Ya que la estadística descriptiva es una herramienta valiosa en la investigación de la gestión del agua, ya que permite sintetizar y presentar la información de manera clara y concisa, facilitando la identificación de patrones y tendencias (Burt, 1995). A través de la recopilación y análisis de datos cuantitativos, se buscó caracterizar y comprender los tiempos de reparación de fugas, identificar patrones y tendencias y evaluar la variabilidad del proceso.

### **Fase 1: Recopilación y Análisis de Datos**

Se recopilaron datos detallados de los reportes de fugas de agua potable generados por la entidad responsable del suministro de agua en la región durante un período de un año. Estos reportes incluyeron información sobre la fecha y ubicación de cada fuga, el tiempo transcurrido entre la detección y la reparación, y otros datos relevantes.



A continuación, se presenta la figura 1 para hacer alusión a la base de datos recuperada de la interfaz de gestión de reportes de fugas de agua potable.

**Figura 1** “Base de datos sobre reportes de fugas de agua potable”

ESTATUS	SE GENERO	SE IMPRIMIO	NOMBRE	LOCALIZACION	SE	COLOMIA	DIRECCION
Cancelada	06/Enero/2022 08:11 a. m.	27/Enero/2022 08:01 a. m.	CORTINA NARVAEZ IMELDA	01-17-22-0252-00017-01-00-0	22	FRACC. TEOCALITICHE, CIUDAD VICTORIA	TEOPAN #2145, AVENIDA TENOCHTITLAN Y TEOCALITICHE, FR
Cancelada	29/Enero/2022 08:19 a. m.		MATA ZAMUDIO MARTIN	01-18-11-0442-00009-01-00-0	11	FRACC. INFONAVIT SAN LUISITO, CIUDAD VICTORIA	MAR CASPIO #633, ANDADOR MAR CARIBE Y OCEANO ATLANTICO
Cancelada	12/Enero/2022 01:58 p. m.		REPORTA USUARIO VIA WHATSAPP		22	FRACC. VILLA SANTILLANA, CIUDAD VICTORIA	CERRADA SANTILLANA # 0 Int. 0, AVENIDA FUNDADORES Y LIM
Cancelada	09/Sepiembre/2022 08:43 a. m.		VECIDNO		26	FRACC. MARTE R GOMEZ, CIUDAD VICTORIA	PIMENTILLA # 2789 Int. 0, CEDROS Y CIRUELA, FRACC. MARTE
Cancelada	12/Sepiembre/2022 11:27 a. m.		TERESITA AFRIGMENDI		02	FRACC. VILLA SANTILLANA, CIUDAD VICTORIA	POFRICIO DIAZ # 0 Int. 0, y JUAN B TUBERIA, ZONA CENTRO
Cancelada	14/Noviembre/2022 10:47 a. m.		LIC. EMILIO VILLANUEVA		13	FRACC. VILLA SANTILLANA, CIUDAD VICTORIA	AVENIDA LAS AMERICAS # 0 Int. 0, TAJIN Y MEXICO, MEXICO
Cancelada	05/Enero/2022 09:27 a. m.	19/Enero/2022 12:07 p. m.	ABREGO CONSUELO	01-09-01-0057-00001-01-00-0	1	ZONA CENTRO, CIUDAD VICTORIA	MATAMOROS #502 ESQUINA, GASPAR DE LA GARZA, ZONA C
Cancelada	13/Enero/2022 01:55 p. m.	27/Enero/2022 08:01 a. m.	HSBC MEXICO, S.A. INSTITUCION DE BANCA MULTIPLE, GRUPO	01-07-23-0145-00010-01-01-0	23	MANUEL A. RAYIZE, CIUDAD VICTORIA	CIRUELO ESQUINA, NOGAL, MANUEL A. RAYIZE
Cancelada	22/Noviembre/2022 12:43 p. m.	23/Noviembre/2022 07:36 a. m.	CONSTRUCTORA PE CAST SA DE CV	01-15-20-0049-00003-00-00-0	20	ADOLFO LOPEZ MATEOS, CIUDAD VICTORIA	FRANCISCO VILLA #342, PRIVADA SIN NOMBRE Y FRAY JUAN
Cancelada	10/Marzo/2022 01:12 p. m.	30/Marzo/2022 01:07 p. m.	HUERTA RINCON ANTONIO	01-19-10-0855-00043-01-00-0	13	FRACC. LOS MEZQUITES, CIUDAD VICTORIA	PROLONGACION MITLA #687, TORRE BLANCA Y LIMITE, FRAC
Cancelada	23/Marzo/2022 12:58 p. m.	31/Marzo/2022 10:54 a. m.	CAMACHO RAMPEZ LORETA	01-02-18-0235-00007-01-00-0	18	LA LIBERTAD, CIUDAD VICTORIA	GUATEMALA, AVENIDA MEXICO Y AVENIDA LAS AMERICAS, L
Cancelada	12/Abril/2022 03:00 p. m.	18/Abril/2022 10:10 a. m.	VARGAS HERNANDEZ OSCAR	01-06-17-0278-00011-01-00-0	17	LUIS ECHEVERRIA II Y III ETAPA, CIUDAD VICTORIA	RIO SANTA ENGRACIA, RIO BRAVO Y RIO SAN JUAN, LUIS ECHI
Cancelada	08/Enero/2022 10:29 a. m.		GARZA ADAME NEREYDA	01-17-22-0179-00040-01-00-0	22	FRACC. AZTECA, CIUDAD VICTORIA	MOCTEZUMA #2274-PA, AVENIDA TENOCHTITLAN Y CUAUHTE
Cancelada	25/Abril/2022 09:46 a. m.		MATA GUZMAN MARIA TERESA DE JE	01-01-25-0408-00020-01-00-0	25	LA PRESITA, CIUDAD VICTORIA	AURELIANO CABALLERO #475, BERNARDO TURRUBIATES Y IV
Cancelada	29/Sepiembre/2022 12:16 p. m.	28/Sepiembre/2022 10:07 a. m.	LARA CHARLES HERMELINDA	01-06-17-0278-00012-01-00-0	17	LUIS ECHEVERRIA II Y III ETAPA, CIUDAD VICTORIA	RIO SANTA ENGRACIA, RIO BRAVO Y RIO SAN JUAN, LUIS ECHI
Cancelada	23/Sepiembre/2022 09:25 a. m.		VALLES GUTIERREZ ALEJANDRO	01-01-25-0259-00003-01-00-0	25	VAMOS TAMAULIPAS III Y IV, CIUDAD VICTORIA	ESFUERZO, INTEGRACION FAMILIAR Y SPOCLADOURT, VAMOS
Cancelada	27/Sepiembre/2022 10:53 a. m.	03/Octubre/2022 09:30 a. m.	NAVA ALFARO MARIA GUADALUPE	01-13-26-0373-00029-01-00-0	26	FRACC. RINCON DE LAS MONTAÑAS, CIUDAD VICTORIA	COPOLLERA DE LOS ANDES #2047, MONTE DE LOS ALFES Y M
Cancelada	04/Abril/2022 09:59 a. m.		ELIZARRARAS ROSANO ADRIAN	01-19-10-0180-00021-01-00-0	19	MEXICO, CIUDAD VICTORIA	TOTONACAPAN #930, AVENIDA MONTEALBAN Y COYACAN,

## Fase 2: El análisis estadístico

El análisis estadístico descriptivo se centró en los tiempos de reparación de fugas, calculando medidas como la media, mediana, desviación estándar, mínimo, máximo y cuartiles. Estas medidas permiten resumir y comprender la distribución de los tiempos de reparación, identificando valores representativos y la dispersión de los datos (Hair et al., 2010). Además, se construyó una gráfica de control I-MR (Individuos y Rangos Móviles) para visualizar la variabilidad del proceso a lo largo del tiempo y detectar posibles causas especiales de variación (Montgomery, 2013). La utilización de gráficos de control en el análisis de la gestión de fugas de agua permite identificar tendencias, patrones y variaciones inusuales en los tiempos de reparación, lo que facilita la toma de decisiones informadas y la implementación de mejoras en el proceso (Al-Washali et al., 2017).

## Fase 3 Análisis de Temporalidad

Se realizó un análisis de temporalidad para examinar la relación entre la ocurrencia de fugas y las condiciones climáticas, específicamente la temporada de lluvias. Se comparó la frecuencia de fugas reportadas en diferentes meses del año, considerando los patrones de precipitación en la región. Este análisis permitirá evaluar si existe una asociación entre la temporada de lluvias y un aumento en la incidencia de fugas, lo que podría tener implicaciones importantes para la planificación y gestión del mantenimiento de la red de distribución. La influencia de las condiciones climáticas en la ocurrencia de fugas ha sido documentada en diversos estudios, y la identificación de patrones estacionales puede ser

clave para la implementación de medidas preventivas y la optimización de los recursos (Vairavamoorthy, Gorantiwar, & Pathirana, 2008).

### Estimación del Desperdicio de Agua

Para cuantificar el impacto de las fugas en términos de desperdicio de agua, se utilizó la tasa de fuga promedio proporcionada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Se estimó el volumen de agua perdido en función de los tiempos de reparación de las fugas, lo que permite evaluar el costo económico y ambiental de las fugas en la región (Lambert, 2002). La estimación del desperdicio de agua no solo permite dimensionar la magnitud del problema, sino que también proporciona una base para evaluar la efectividad de las estrategias de gestión de fugas y justificar la inversión en mejoras en la infraestructura y los procesos (Puust, Kapelan, Savić, & Koppel, 2010).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico descriptivo de los tiempos de reparación de fugas, presentado en la Tabla 1, revela una media de 29.34 días, lo que sugiere que, en promedio, la organización tarda casi un mes en atender y solucionar un reporte de fuga. Sin embargo, la desviación estándar de 55.15 días indica una considerable variabilidad en los tiempos de reparación, lo que implica que algunos casos pueden requerir mucho más tiempo que el promedio.

Esta variabilidad se refleja también en los cuartiles: mientras que el 25% de las fugas se reparan en un día o menos (Q1), el 75% se resuelve en 29 días o menos (Q3), y el tiempo máximo de reparación alcanza los 406 días. Estos datos sugieren la existencia de ineficiencias en el proceso de gestión de fugas, que pueden estar relacionadas con diversos factores, como la complejidad de las fugas, la disponibilidad de recursos, o la eficiencia de los procesos de detección y reparación.

**Tabla 1.** Estadísticas descriptivas de los tiempos de reparación de fugas

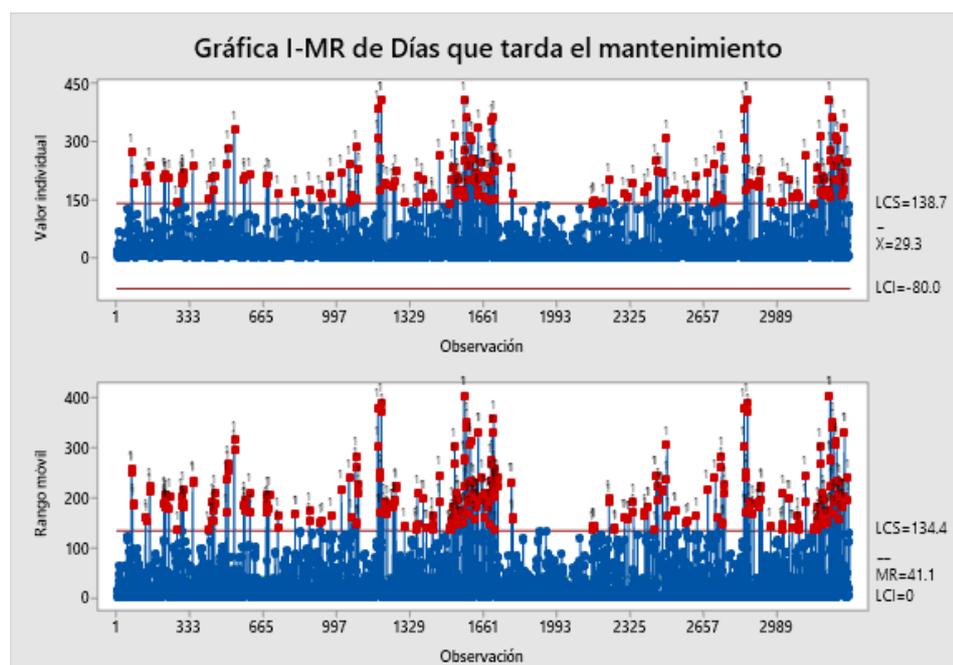
Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana
Días que tarda el mantenimiento	3318	0	29.341	0.957	55.151	0.000	1.000	6.000
<b>Variable</b>	<b>Q3</b>	<b>Máximo</b>						
Días que tarda el mantenimiento	29.000	406.000						

## Análisis de la Variabilidad del Proceso

La gráfica I-MR (Figura 1) muestra que el proceso de reparación de fugas no se encuentra bajo control estadístico. La presencia de numerosos puntos por encima del límite de control superior (LCS) en la gráfica de valores individuales indica que existen causas especiales de variación que generan tiempos de reparación excesivamente largos. Estos puntos representan fugas cuya atención y reparación se prolongan considerablemente, lo que puede tener un impacto significativo en el desperdicio de agua y la satisfacción de los usuarios.

La gráfica de rangos móviles, por otro lado, no muestra puntos fuera de control, lo que sugiere que la variabilidad entre reparaciones consecutivas es relativamente estable, aunque elevada. Esto indica que, aunque los tiempos de reparación individuales pueden variar considerablemente, la magnitud de estas variaciones se mantiene relativamente constante a lo largo del tiempo.

**Figura 2 “Gráfica IMR**



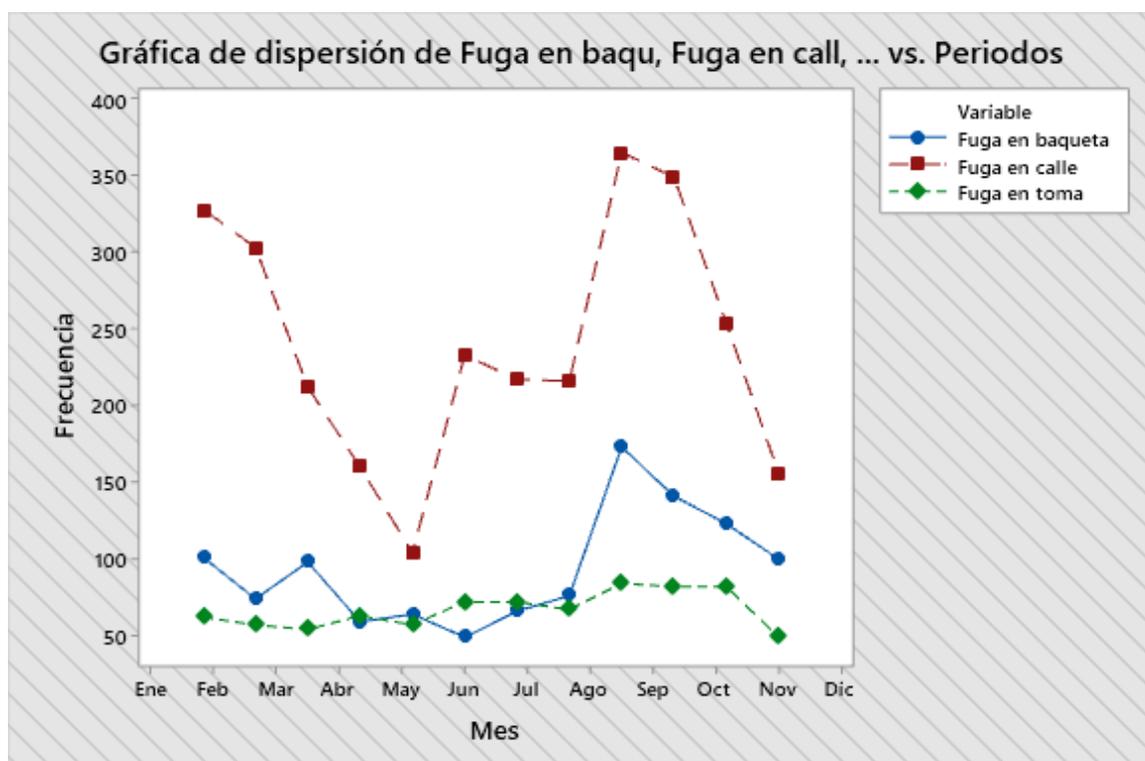
## Análisis de la Distribución de Fugas

La gráfica de dispersión (Figura 3) revela un patrón estacional en la ocurrencia de fugas, con un aumento notable en los últimos meses del año (septiembre a diciembre), coincidiendo con la temporada de lluvias en la región. Este patrón es particularmente evidente en las fugas en banqueta y calle, lo que sugiere una posible relación entre las precipitaciones intensas y el deterioro de la infraestructura hidráulica.

Este hallazgo es consistente con la literatura existente, que señala que las lluvias intensas pueden aumentar la incidencia de fugas debido a diversos factores, como el aumento de la presión en las tuberías, la erosión del suelo y las dificultades en la detección y reparación de fugas (Mutikanga et al., 2011; Gebre, 2015).

Por otro lado, las fugas en toma presentan una tendencia relativamente estable a lo largo del año, lo que sugiere que pueden estar influenciadas por otros factores, como la antigüedad de las conexiones domiciliarias o la calidad de los materiales utilizados.

**Figura 3** “Gráfica de dispersión de fugas”



Los resultados obtenidos hasta el momento evidencian desafíos importantes en la gestión de fugas de agua potable en la región central de Tamaulipas. La alta variabilidad en los tiempos de reparación, la presencia de casos extremos y el patrón estacional observado en la ocurrencia de fugas sugieren la necesidad de implementar estrategias de mejora para optimizar la eficiencia del proceso y reducir el desperdicio de agua.

En la siguiente sección, se presentará la estimación del desperdicio de agua asociado a las fugas y se discutirán las implicaciones de estos hallazgos para la gestión sostenible del recurso hídrico en la región.

## CONCLUSIONES

En conclusión, este estudio ha puesto de manifiesto los desafíos apremiantes en la gestión de fugas de agua potable en la región central de Tamaulipas. La alta variabilidad en los tiempos de reparación, la existencia de casos extremos y la clara influencia de la temporada de lluvias en la ocurrencia de fugas, evidencian la necesidad de una acción decisiva para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sistema de abastecimiento.

Los hallazgos de esta investigación subrayan la importancia de implementar estrategias integrales para abordar las pérdidas de agua. Es fundamental optimizar los procesos de detección y reparación de fugas, reducir los tiempos de respuesta y fortalecer la infraestructura hidráulica para hacerla más resiliente a las condiciones climáticas adversas. Además, la adopción de tecnologías innovadoras y la promoción de la participación ciudadana en la identificación temprana de fugas pueden desempeñar un papel crucial en la mejora de la gestión del agua.

La presente investigación no solo proporciona una evaluación crítica de la situación actual, sino que también sienta las bases para la implementación de soluciones concretas. Al abordar las deficiencias identificadas y adoptar un enfoque proactivo en la gestión de fugas, la entidad responsable del suministro de agua potable en la región central de Tamaulipas puede avanzar hacia un futuro más sostenible, garantizando un acceso equitativo y eficiente a este recurso vital para las generaciones presentes y futuras.

Es importante reconocer que la gestión de fugas es un desafío continuo que requiere una atención constante y una mejora continua de los procesos. A medida que la región enfrenta los impactos del cambio climático y el crecimiento poblacional, la necesidad de una gestión eficiente y sostenible del agua se vuelve aún más crítica. La presente investigación representa un paso importante en esta dirección, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones y la implementación de estrategias que promuevan la conservación y el uso responsable del agua en la región central de Tamaulipas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Washali, T., Sharma, S. K., Kennedy, M., & Vairavamoorthy, K. (2016). Assessment of water loss reduction program in Sana'a Water and Sanitation Local Corporation (SWSCL). *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 65(3), 206-218.
- Al-Washali, T., Sharma, S. K., Kennedy, M., & Vairavamoorthy, K. (2017). Application of statistical process control tools in water loss management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(1), 04016057.
- Burt, C. M. (1995). *Principles of water resources planning*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Farley, M. (2001). Leakage reduction and control. En *Water Loss Control* (pp. 105-134). Londres: IWA Publishing.
- Gebre, S. (2015). Non-revenue water reduction: A case study of Addis Ababa, Ethiopia. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 64(2), 116-128.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2010). *Multivariate data analysis* (7th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Kingdom, B., Liemberger, R., & Marin, P. (2006). The challenge of reducing non-revenue water (NRW) in developing countries. *Water Science and Technology: Water Supply*, 6(1-2), 83-90.
- Lambert, A. (2002). International report: Water losses management and techniques. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2(1), 1-20.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, 2(2), e1500323.
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to statistical quality control* (7th ed.). John Wiley & Sons.
- Mutikanga, H. E., Sharma, S. K., & Vairavamoorthy, K. (2011). Water loss management in developing countries: Challenges and prospects. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 60(2), 105-117.
- Puust, R., Kapelan, Z., Savić, D. A., & Koppel, T. (2010). A review of methods for leakage management in pipe networks. *Urban Water Journal*, 7(1), 25-45.
- Thornton, J., et al. (2008). *Water loss control*. Londres: IWA Publishing.



Vairavamoorthy, K., Gorantiwar, S. D., & Pathirana, A. (2008). Managing urban water supplies in developing countries – Climate change and water scarcity scenarios. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33(5), 330-339.

WWAP (World Water Assessment Programme). (2012). *The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk*. Paris: UNESCO.

