

Sistemas de Abastecimiento de Agua Sostenibles mediante Inteligencia Artificial: estudio de caso en el Municipio de Valledupar

Jairo Alfonso Gutiérrez de Piñeres Rocha¹; Javier Enrique Orozco Ospino²

¹Fundación Universitaria del Área Andina - Areandina, Colombia, jgutierrez52@areandina.edu.co

²Fundación Universitaria del Área Andina - Areandina, Colombia, jaorozco@areandina.edu.co

Resumen– El estudio tuvo como propósito demostrar que un acueducto sostenible puede optimizar el almacenamiento, la distribución y el monitoreo del recurso hídrico mediante inteligencia artificial predictiva, en concordancia con los ODS 6 y 11. Se desarrolló un estudio de caso en las redes de distribución secundarias de la comuna 5 de Valledupar, con datos recolectados entre enero y diciembre de 2025. La muestra estuvo conformada por estudiantes investigadores del semillero, habitantes del sector seleccionado y expertos del sistema de acueducto. Como instrumentos y herramientas se emplearon EPANET 2.2, Forecast de Power BI AI, estaciones de monitoreo ambiental y normativa técnica como la ISO 24512 y el RAS 0330 de 2017. Los resultados mostraron una reducción simulada del 18,83% en los déficits de los tanques reguladores y una disminución del 35% en las pérdidas totales del sistema. Además, la matriz de Leopold evidenció estabilidad operativa, escalabilidad y bajo impacto ambiental. En conclusión, la inteligencia artificial aplicada a la infraestructura hídrica constituye una alternativa eficaz para construir modelos de acueducto más eficientes, resilientes y replicables en contextos urbanos vulnerables de América Latina.

Palabras clave. Recursos de las IA, Sistemas de Acueducto Sostenibles, Suministro de Agua Potable, EPANET 2.2, Forecast de Power BI.

I. INTRODUCCIÓN

Un sistema de abastecimiento de agua sostenible trasciende la mera provisión hídrica; se constituye como una estructura integral que armoniza la eficiencia operativa, la gobernanza responsable del recurso y la implementación de estrategias proactivas de conservación. Su diseño y operación se fundamentan en la optimización del uso del agua mediante tecnologías que reducen pérdidas y fugas, en la gestión responsable de las fuentes hídricas para mantener su calidad y disponibilidad, según [1]. Este paradigma busca generar externalidades ambientales positivas y fomentar un compromiso socioeconómico que garantice el acceso equitativo intergeneracional demostrando estabilidad operativa, escalabilidad y bajo impacto ambiental en la matriz de Leopold, lo que respalda afirmaciones de autores como [2]. En este contexto, la sostenibilidad urbana y la robustez de los sistemas de distribución dependen intrínsecamente de la adopción de tecnologías inteligentes orientadas a optimizar el consumo, mitigar las pérdidas técnicas y fortalecer la resiliencia comunitaria frente a las fluctuaciones ambientales y dinámicas sociales contemporáneas [3]. La gestión contemporánea del agua en entornos urbanos demanda una transición hacia sistemas sostenibles que trasciendan la simple provisión técnica, alineándose con los Objetivos de Desarrollo

Sostenible (ODS), específicamente el ODS 6 (Agua Limpia y Saneamiento), el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y el ODS 11 (Ciudades Sostenibles).

En el ámbito colombiano, la gestión de los recursos hídricos en entornos urbanos y periurbanos enfrenta desafíos críticos derivados de la vulnerabilidad climática, la expansión poblacional asincrónica y las deficiencias estructurales en la infraestructura técnica. No obstante, la evolución hacia modelos de desarrollo sostenible ha propiciado una transición hacia sistemas de acueducto inteligentes y resilientes. Esta transformación se apoya en la convergencia con tecnologías disruptivas, particularmente la Inteligencia Artificial (IA), cuya integración permite no solo optimizar la eficiencia del servicio, sino también desarrollar capacidades predictivas ante fallos sistémicos y reducir drásticamente el desperdicio del recurso [4].

El presente estudio se localiza en la Comuna 5 del municipio de Valledupar, un área caracterizada por una población de 321 habitantes distribuidos en 102 unidades habitacionales. Con una densidad poblacional de 3.15 habitantes por usuario, el sector exhibe una morfología residencial compacta con una baja representación de nodos comerciales e institucionales. Esta problemática se enfoca en la incapacidad del sistema actual para cumplir con los estándares de la Resolución 0330 de 2017, evidenciando presiones críticas de 5 mca y pérdidas técnicas que alcanzan el 60%, lo que imposibilita un flujo continuo y equitativo.

Esta situación se sintetiza en las siguientes dimensiones de la problemática: déficit en la cobertura y desempeño hidráulico: Se observa una distribución asimétrica del servicio, caracterizada por la ausencia de flujo continuo. Los parámetros operativos, con presiones registradas de 5 mca y velocidades de 0.35 m/s, se sitúan significativamente por debajo de los umbrales mínimos de 10 mca y 0.6 m/s estipulados por la Resolución 0330 de 2017 (RAS). Asimismo, ineficiencia técnica y fugas sistémicas: La red presenta pérdidas técnicas localizadas en accesorios y tramos críticos que oscilan entre el 50% y el 60%. Estas cifras exceden drásticamente el límite máximo permisible del 25% establecido por la normativa vigente [5].

Igualmente, existe obsolescencia de la infraestructura de monitoreo y control en donde la red de distribución abarca aproximadamente 200 km de tuberías en gres y asbesto-cemento en estado de degradación progresiva, de los cuales 18 km se localizan directamente en el área de estudio, careciendo

de sistemas de control digitalizados. Es evidente una debilidad en la gobernanza y participación comunitaria por la desconexión entre la gestión administrativa y la comunidad, evidenciada por la nula participación de líderes y habitantes en la toma de decisiones sobre los factores que condicionan el consumo de agua potable. La justificación de este estudio radica en la necesidad imperativa de mitigar estas brechas estructurales mediante la convergencia entre la ingeniería civil y la Inteligencia Artificial (IA), utilizando el sector analizado como un microcosmos analítico ideal para la validación de soluciones disruptivas. La relevancia del proyecto no solo es técnica, sino social, al abordar la desconexión entre la administración y la comunidad.

En consecuencia, el objetivo central de la investigación es diseñar un modelo de gestión hídrica inteligente, resiliente y escalable que, mediante algoritmos predictivos y gobernanza participativa, optimice el consumo y garantice la sostenibilidad intergeneracional del recurso en contextos urbanos de similar complejidad. Metodológicamente, la investigación se posiciona en la intersección de la ingeniería civil y ambiental, la gobernanza territorial y las tecnologías de vanguardia, con el objetivo de diseñar un modelo replicable y escalable en contextos de similares complejidades. La incorporación de la IA en este proyecto no se limita a un despliegue técnico, sino que integra una dimensión ética y participativa que reconoce las particularidades socioculturales del territorio, promoviendo una transición sistémica hacia el uso corresponsable del agua.

El sector de estudio se ubica como se muestra en la Fig. 1:

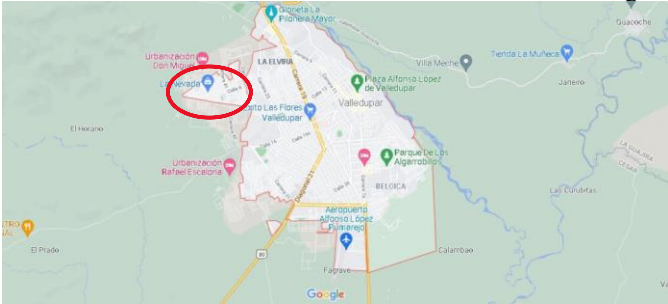


Fig. 1 Localización de la comuna 5, sector de estudio en el municipio de Valledupar.

II. ANTECEDENTES

A. Fundamentación teórica subyacente a las variables

En los últimos cinco años, la literatura científica ha mostrado un interés creciente en la integración de metodologías hidráulicas tradicionales con herramientas de inteligencia artificial para optimizar los sistemas de abastecimiento de agua. El método de la curva integral ha sido ampliamente utilizado para dimensionar tanques reguladores y modelar caudales máximos diarios, anticipando déficits de presión y consumo en redes urbanas. Este enfoque, combinado con el monitoreo ambiental de variables físico-químicas, constituye un insumo esencial para la planificación hídrica sostenible [6]. Asimismo, el software EPANET 2.2 continúa siendo la herramienta de referencia para la simulación hidráulica de redes de distribución [7], y su integración con

plataformas de análisis de datos como Excel y Power BI Forecast ha demostrado mejorar la capacidad predictiva de los modelos, permitiendo visualizar dotaciones netas y brutas, pérdidas técnicas y caudales horarios.

La incorporación de algoritmos de aprendizaje automático en estos entornos ha permitido ajustar la operación de válvulas y bombas en tiempo real, reduciendo significativamente las pérdidas técnicas. Investigaciones en contextos urbanos vulnerables reportan reducciones de entre el 30% y el 40% en pérdidas de agua mediante la detección automática de fugas y la optimización de presiones, cifras que se alinean con los resultados obtenidos en [8]. Paralelamente, el uso de matrices de Leopold como herramienta de evaluación ambiental ha sido validado para comparar escenarios de operación tradicional frente a modelos inteligentes basados en IA [9]. Estos estudios concluyen que la metodología permite cuantificar impactos ambientales en términos de eficiencia energética, reducción de emisiones y estabilidad operativa, aportando evidencia sólida para la formulación de políticas públicas de agua sostenible.

En el plano teórico, los sistemas de abastecimiento se fundamentan en la integración entre planificación técnica, gobernanza y objetivos de sostenibilidad [10], destacando la necesidad de instrumentos cuantitativos y modelos interdisciplinarios que vinculen desempeño físico con metas sociales y ambientales. La medición de eficiencia del servicio y el uso de indicadores sostenibles son herramientas necesarias para evaluar desempeño y orientar políticas públicas [11]. En consecuencia, los marcos de resiliencia incorporan explícitamente metas de sostenibilidad relacionadas con la gestión del agua y el uso responsable de recursos [12], definiendo la resiliencia operacional mediante capacidades de absorción, recuperación, adaptación y transformación, y proponiendo métricas de desempeño para suministros urbanos [13]. Estas capacidades se articulan en el modelo WARATA (soportar, absorber, restaurar, adaptar, transformar, anticipar), que conceptualiza cómo un sistema puede responder a perturbaciones abruptas o graduales [14], y se complementan con aplicaciones concretas de inteligencia artificial que mejoran la operación y sostenibilidad de redes de distribución mediante detección de fugas, optimización de presión y gestión en tiempo real [12].

En cuanto al uso de las IA en la sostenibilidad de SA, se muestran aplicaciones concretas que mejoran la operación y sostenibilidad de redes de distribución mediante detección de fugas, optimización de presión y gestión basada en datos en tiempo real. Los estudios documentan beneficios operativos y económicos, así como limitaciones técnicas y de implementación, mostradas en la tabla I planteada por [12]:

TABLA I
TABLA COMPARATIVA DE APLICACIONES DE IA EN SA

Aplicación	Técnicas y tecnologías	Ejemplo de aporte y autor

Aplicación	Técnicas y tecnologías	Ejemplo de aporte y autor
Optimización de presión y energía	Modelos hidráulicos digitales, algoritmos de control y optimización	Mejora del rendimiento hidráulico y reducción de pérdidas energéticas mediante control óptimo de presión, según [11]
Detección de fugas	Aprendizaje supervisado/ no supervisado y análisis de anomalías con datos de sensores IoT	Detección automática de fugas y anomalías en caudal/ presión usando ML para reducir pérdidas de agua, citando a [12]
Gestión inteligente y operación	IoT, big data, AI para análisis en tiempo real y zonificación (DMA)	Plataforma GSWaterS para monitoreo, diseño de DMAs y reducción de pérdidas con análisis económico favorable, conforme [13]

Para [12], la combinación de detección de fugas por ML y control automático de presión contribuye a disminuir pérdidas y mejorar eficiencia operativa, y advierte sobre retos en confiabilidad de algoritmos, costos iniciales y necesidad de análisis coste-beneficio que muestren ahorros operativos en el mediano plazo. Para [13], las soluciones requieren despliegue de sensores, mantenimiento y una arquitectura de datos robusta para análisis en tiempo real, como también implementaciones reales que muestren beneficios directos e indirectos en eficiencia y gestión de activos cuando se acompañan de análisis económico y diseño de DMAs, para zonificar áreas de alto impacto y optimizar retorno de inversión en sensores y algoritmos.

B. Correlación entre las variables para la sostenibilidad ambiental

1) Se construyó la curva de distribución horaria del SA para definir la curva integral teniendo en cuenta los valores del consumo acumulado de los caudales máximos horarios en un periodo de 24 horas durante los 365 días del 2025 con los datos de la estación ambiental en el monitoreo de las variables en la fuente de abastecimiento (Río Guatapurí), la cual se aprecia en la Fig. #2:

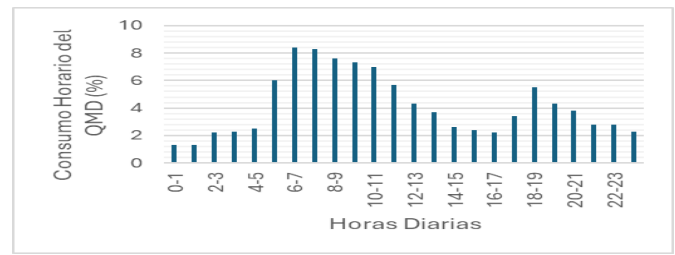


Fig. 2 Consumo horario del QMD en un día.

Con estos valores se construyó la curva integral del tanque regulador con suministro por gravedad.

2) La dotación neta según [5] se define como 140 l/hab-día por la altitud del sector menor a 1000 msnm. Las pérdidas técnicas totales se localizan en los accesorios y en los tramos rectos de las tuberías. Se precisa que no existe un estudio sobre el catastro de las redes de distribución que describa la clase y el grado de la tubería en servicio. Con esta información se procedió al cálculo de los caudales máximos diarios y horarios y de los índices $k1$ y $k2$ para compararlos con los actuales en las redes de distribución del sector.

3) La simulación hidráulica se realizó con el software EPANET 2.2 con algunos datos de las variables relacionadas en la tabla I más información topográfica de las cotas de los nodos involucrados, longitudes de los tramos actuales en servicio más el consumo del caudal máximo diario. Posteriormente, con la herramienta Forecast de Power BI AI se simularon los nuevos porcentajes de consumos horarios con los valores ajustados a los factores determinantes reales leídos en los medidores en cada una de las redes domiciliarias.

4) Las matrices de Leopold se realizaron con las variables de la tabla I con los valores de servicio de la red de distribución actual y los ajustados después de calcular las pérdidas técnicas totales y las deficiencias en el servicio de abastecimiento para obtener el impacto ambiental del SA para determinar una prospectiva ambiental sostenible.

III. METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló bajo un diseño experimental-descriptivo con enfoque mixto, fundamentado en [15], lo que permitió integrar análisis cuantitativos de desempeño hidráulico con interpretaciones cualitativas sobre gobernanza y sostenibilidad. Este diseño se justifica en la necesidad de evaluar simultáneamente variables técnicas y sociales en sistemas de abastecimiento de agua, garantizando validez interna y externa mediante triangulación de datos.

1) Se utilizó el enfoque basado en el método de la curva integral para caudales máximos diarios mediante el monitoreo ambiental de las variables físico-químicas realizado durante el año 2025 según [5].

2) Los datos como la dotación neta, la dotación bruta, las pérdidas totales mensuales, el caudal medio diario, el caudal máximo diario y el caudal máximo horario, con sus respectivos $k1$ y $k2$ se visualizaban en excel.

3) Toda esta información se procesó en la simulación hidráulica con EPANET 2.2 y la herramienta Forecast de Power BI para las predicciones de suministro horario en el sector, lo que permitió evaluar la viabilidad operativa y técnica del sistema.

4) Se compararon las matrices de Leopold sobre el impacto ambiental sostenible entre la operación actual del sistema de acueducto y la prospectiva basada en modelos de la IA.

Conforme a las consideraciones anteriores se consignan en la tabla II las siguientes variables para determinar la sostenibilidad ambiental en los SA, especialmente en el sector de estudio, según [16].

TABLA II
VARIABLES PARA LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

Variables			
Caudales	Físicas	Técnicas	IRCA ^a
Caudales máximos diarios			
Caudales máximos horarios			
Dotaciones brutas mensuales			
Caudales medios diarios			
	Presiones		
	Velocidades		
		Pérdidas por fugas	
			Calidad del agua
		Medidores y tarifas	

^aÍndice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

Las variables de investigación se definieron en cuatro dimensiones principales:

- Caudales: caudal medio diario, caudal máximo diario y horario, índices k1 y k2.
- Dimensión física: presiones, velocidades y pérdidas técnicas.
- Dimensión técnica: dotación neta y bruta, eficiencia operativa, estado de la infraestructura.
- Dimensión ambiental (IRCA): calidad del agua, tarifas y medidores, impacto ambiental según matrices de Leopold. Cada variable se operacionalizó en indicadores cuantitativos estandarizados conforme a la normativa RAS 0330 de 2017 e ISO 24512, lo que asegura comparabilidad y confiabilidad.

La población de referencia correspondió a los 567.593 habitantes de Valledupar en 2025, mientras que la muestra se delimitó a la Comuna 5, con 321 habitantes y 102 viviendas, seleccionada por criterios de representatividad y factibilidad

técnica. La participación incluyó estudiantes investigadores, habitantes del sector y expertos del sistema de acueducto, lo que fortaleció la validez ecológica del estudio. En cuanto a técnicas e instrumentos, se emplearon herramientas estandarizadas de simulación hidráulica (EPANET 2.2) y predicción de consumo (Forecast de Power BI AI), complementadas con estaciones de monitoreo ambiental de EMDUPAR. La confiabilidad se garantizó mediante calibración de sensores y validación cruzada de datos en Excel. El proceso de recolección de datos se realizó durante los 12 meses de 2025, con macromediciones en la planta de tratamiento y censos puerta a puerta para facturación. El procesamiento de datos incluyó análisis estadístico de pérdidas técnicas, construcción de curvas integrales de consumo y simulaciones prospectivas de almacenamiento y distribución. Finalmente, el estudio cumplió con los principios de ética investigativa, asegurando consentimiento informado de los participantes, confidencialidad de la información recolectada y uso exclusivo de los datos para fines académicos y científicos. La participación comunitaria se promovió mediante talleres de socialización, garantizando transparencia y corresponsabilidad en la gestión del recurso hídrico.

A. Cálculo del caudal de diseño

Los datos fueron recopilados y monitoreados por la estación ambiental de EMDUPAR, la empresa administradora del SA municipal. Recontextualizando, el municipio de Valledupar tiene 567.593 habitantes al 2025, de los cuales 289.874 son mujeres (51.1%) y 277.719 hombres (48.9%). El sector de estudio fue la comuna 5 compuesto por 102 viviendas y una población de 321 habitantes, con una densidad habitacional de 3.15 habitantes / suscriptor. Según [17], la dotación neta máxima de Valledupar es de 140 l/hab-día, las pérdidas máximas de 25%, lo que resulta en una dotación bruta (Db) de:

$$\frac{Dn}{(1 - 0,25)} = \frac{140}{(1 - 0,25)} = 186,67 \text{ l/hab} - \text{día} \quad (1)$$

Versus los 397 l/hab-día del servicio del SA, lo cual arroja un 112.68% en desfase y exceso. Esta información se resume en la tabla III:

TABLA III
COMPARACIÓN DE VALORES DE DOTACIONES

DOTACIONES (l/hab-día)	REAL	NORMATIVA	EXCESOS
DOTACIÓN NETA MÁXIMA	397	140	112,68%
DOTACIÓN BRUTA	838,44	186,67	449,16%

Seguidamente, si se proyecta una población de diseño a 25 años conforme [8], con una tasa de crecimiento poblacional anual de $r=1.53\%$ y una población inicial de 567.593 habitantes, se podría calcular el servicio futuro usando (2):

$$Pd = P0 \cdot (1+r)^{25} \quad (2)$$

$$Pd = 567.593(1+1.53/100)^{25} = 829.654 \text{ hab}$$

Se calcula el caudal medio diario según [8] con (3):

$$Qmd = Db \cdot Pd / 86400 \quad (3)$$

$$Qmd = 186.67 \cdot 829.654 / 86400 = 1792.46 \text{ l/s}$$

No se tiene un registro histórico de la fuente de abastecimiento para calcular el Q95 y determinar los valores de caudales requeridos, por tal razón no se pudo establecer un comparativo.

Para calcular el caudal máximo diario (QMD) se usó (4):

$$QMD = k1 \cdot Qmd \quad (4)$$

Donde $k1=1.2$ por ser la población mayor a 12.500 habitantes.

$$QMD = 1.2 \cdot 1792.46 = 2150.95 \text{ l/s}$$

Con este valor se obtiene el caudal de diseño para una captación lateral de fuente superficial, según (5)

$$Qd = 2 \cdot QMD \quad (5)$$

$$Qd = 2 \cdot 2150.95 = 4301.91 \text{ l/s}$$

Versus los 1600 l/s que se suministran actualmente, obteniendo un déficit de 2701.91 l/s, representando un 268,87% a valor presente. Esta coyuntura produce la escasez del servicio y la disminución de la presión y velocidad en muchos tramos.

B. Cálculo de las pérdidas técnicas

A continuación, se describen los valores de suministro y consumo mensual para determinar las pérdidas técnicas (PT). Para el abastecimiento se realizaron las macromediciones en la planta de tratamiento de agua potable (PTAP), y para la facturación se realizó el censo puerta a puerta en el sector. Según [18], la dotación bruta se calculó de los registros históricos recolectados durante el 2025 con (6):

$$PT = (\text{Abastecimiento} - \text{Facturación}) / \text{Abastecimiento} \cdot 100\% \quad (6)$$

Los resultados se muestran en la tabla III:

TABLA III
CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS DEL SECTOR

Mes (2025)	Abastecimiento (m3/mes)	Facturación (m3/mes)	% P.T. ^b
Enero	903	450	50,166113
Febrero	910	448	50,7692308
Marzo	909	453	50,1650165
Abril	901	437	51,4983352
Mayo	1003	449	55,2342971
Junio	1105	458	58,5520362
Julio	988	465	52,9352227
Agosto	982	448	54,3788187
Septiembre	937	432	53,8954109
Octubre	896	428	52,2321429
Noviembre	901	441	51,054384
Diciembre	923	453	50,9209101

^bPérdidas técnicas

El promedio de las pérdidas técnicas del sector fue de 52,65%, superando las permisibles del 25% según [17], la cual

se representa en la Fig. #2:

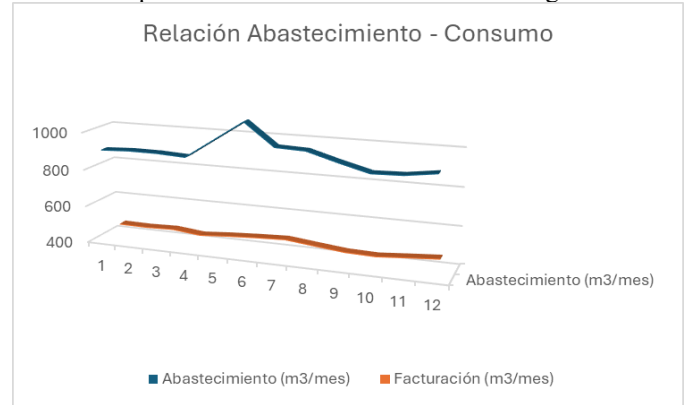


Fig. 2 Promedio de las pérdidas técnicas en el sector.

Estas pérdidas técnicas se localizan en toda clase de accesorios y también en los tramos rectos a través de los 18 Km en el sector, en donde el 46% de las redes de distribución son de gres y asbesto-cemento. Si se agrega la corrosión y la acumulación de biomasa se disminuye el coeficiente de rozamiento C lo que dificulta la operación por el incremento de las pérdidas, según [16].

C. Cálculo del volumen del tanque regulador por el método de la curva integral

1) En consecuencia, estas pérdidas técnicas tienen lugar en las redes de distribución del sector. Por tal razón, es preciso ajustarlas calculando el volumen de agua potable requerido por la población de diseño del municipio de Valledupar por el método de la curva integral conforme lo sugiere [16]. En la actualidad, los dos tanques de regulación de la PTAP suman un total de 33.000 m3 de agua potable acumulada durante un tiempo de retención según (7):

$$\text{Tiempo de retención (seg.)} = \text{Volumen (l)} / \text{Caudal (l/s)} \quad (7)$$

$$\text{Tiempo de retención (seg.)} = 33.000.000 \text{ l} / 1600 \text{ l/s} = 20625 \text{ s}$$

Tiempo de retención = 5.73 horas cuando el suministro es exclusivamente por los tanques reguladores.

En la tabla IV se muestra el porcentaje del consumo horario del QMD durante un día por parte de la población de diseño del municipio de Valledupar. Se tomó promedio de los consumos del mes de septiembre de 2025 como un ejemplo para calcular el volumen del tanque regulador por el método de la curva integral, en la investigación se calcularon los promedios de los 12 meses y se obtuvo un volumen promedio:

TABLA IV
TABLA DISTRIBUCIÓN HORARIA DEL CONSUMO (%QMD) – SEPT. 2025

Hora	Consumo Horario (%)
0-1	1,3
1-2	1,3
2-3	2,2
3-4	2,3

4-5	2,5
5-6	6
6-7	8,4
7-8	8,3
8-9	7,6
9-10	7,3
10-11	7
11-12	5,7
12-13	4,3
13-14	3,7
14-15	2,6
15-16	2,4
16-17	2,2
17-18	3,4
18-19	5,5
19-20	4,3
20-21	3,8
21-22	2,8
22-23	2,8
23-24	2,3
Suma total	100%

Con la tabla IV se construye la curva de consumo horario mostrada en la Fig. #3:



Fig. 3 Consumo del caudal máximo diario durante un día en el municipio de Valledupar.

2) Cálculo de la curva integral

Con los datos de la tabla IV se calculan los valores integrales mostrados en la tabla V:

TABLA V VALORES PARA CONSTRUIR LA CURVA INTEGRAL					
Σ%C	S(%)	ΣS(%)	Λ (S-C)	DÉFICIT	V(%)
1,3	4,17	4,16667	2,866666667	2,866666667	12,9

2,6	4,17	8,33333	2,866666667	5,73333333	15,76666667
4,8	4,17	12,5	1,966666667	7,7	17,73333333
7,1	4,17	16,6667	1,866666667	9,56666667	19,6
9,6	4,17	20,8333	1,666666667	11,2333333	21,26666667
15,6	4,17	25	-1,83333333	9,4	19,43333333
24	4,17	29,1667	-4,23333333	5,16666667	15,2
32,3	4,17	33,3333	-4,13333333	1,03333333	11,06666667
39,9	4,17	37,5	-3,43333333	-2,4	7,63333333
47,2	4,17	41,6667	-3,13333333	-5,53333333	4,5
54,2	4,17	45,8333	-2,83333333	-8,36666667	1,66666667
59,9	4,17	50	-1,53333333	-9,9	0,13333333
64,2	4,17	54,1667	-0,13333333	-10,0333333	0
67,9	4,17	58,3333	0,466666667	-9,56666667	0,46666667
70,5	4,17	62,5	1,566666667	-8	2,03333333
72,9	4,17	66,6667	1,766666667	-6,23333333	3,8
75,1	4,17	70,8333	1,966666667	-4,26666667	5,76666667
78,5	4,17	75	0,766666667	-3,5	6,53333333
84	4,17	79,1667	-1,33333333	-4,83333333	5,2
88,3	4,17	83,3333	-0,13333333	-4,96666667	5,06666667
92,1	4,17	87,5	0,366666667	-4,6	5,43333333
94,9	4,17	91,6667	1,366666667	-3,23333333	6,8
97,7	4,17	95,8333	1,366666667	-1,86666667	8,16666667
100	4,17	100	1,866666667	7,1054E-15	10,03333333

A continuación, con los valores obtenidos en la tabla V se construyó la curva integral para determinar el volumen requerido por el tanque regulador alimentado por gravedad. Se muestran en la Fig. #4:



Fig. 4 Porcentajes de consumo del caudal máximo diario durante

Es pertinente dilucidar que se realizó el monitoreo del consumo del caudal máximo diario durante los 365 días del 2025 y para determinar el volumen final del tanque regulador se calculó el promedio con los valores máximos (18.23%) obtenidos en la tabla V. Y para determinar el volumen total se usó la ecuación (8):

$$V = 1.2 * QMD \text{ (m}^3/\text{día)} * 18.23\% \quad (8)$$

$$V = 1.2 * 2150.95 \text{ l/s} / (1000) * 86400 * 18.23 / 100 = 40654.81 \text{ m}^3$$

Lo que significa que con este volumen del tanque regulador alimentado por gravedad se cubren todas las necesidades de uso del agua potable en consumo doméstico, institucional, comercial e industrial hasta el 2050 en el municipio de Valledupar versus los 33.000 m³ en la actualidad que cubren aproximadamente el 88% mediante las redes de distribución, pero apenas un 62% recibe agua potable permanente. El restante 38% presentan un servicio transiente o muy deficiente durante las 24 horas diarias debido a las

pérdidas técnicas y al déficit del almacenamiento de agua potable.

3) *Aplicación de la herramienta EPANET 2.2*
Según [18] EPANET 2.2 es una herramienta de simulación que analiza el flujo de agua, las presiones, el estado de válvulas, así como la evolución de la calidad del agua en redes de distribución. Las características principales modelan redes hidráulicas (caudales, presiones, niveles de tanque), simula la calidad del agua (concentraciones de contaminantes, cloro residual, edad del agua). Permite representar componentes físicos: tuberías, bombas, válvulas, depósitos y tanques, incluyendo interfaz gráfica para visualizar resultados y mapas de red, y es compatible con análisis de escenarios operativos y planificación de infraestructura, evaluando el desempeño de redes existentes y planificando expansiones. Asimismo, permite estudiar la propagación de contaminantes o la pérdida de desinfectante en la red; permite la optimización operativa sobre la toma de decisiones sobre bombeo, almacenamiento y sectorización. Finalmente, la sostenibilidad del SA se simula desde el diseño de sistemas más eficientes, reduciendo pérdidas y mejorando la resiliencia frente a la escasez de agua.

En la Fig. #5 se muestran las redes de distribuciones del sector en estudio de la comuna 5:



Fig. 5 Localización de las redes de distribución del sector de estudio.

Para establecer una comparación de consumos en una distribución horaria durante un día, y realizar la simulación hidráulica con EPANET 2.2, se parte de la condición real y actual de que existen cinco válvulas de paso en las redes de conducción del SA para distribuir los 2150.95 l/s del QMD en toda la ciudad, lo que cada distrito transporta 430.19 l/s, de los cuales 71.7 l/s dotan a la comuna 5, obteniendo una dotación neta de 357.38 l/hab-día, superando los 140 l/hab-día reglamentado por [17].

En consecuencia, para el sector investigado, se realizó la simulación con los caudales de consumo reales de entrada:

- Definición de los nodos de los circuitos

- Cotas topográficas de cada nodo
- Longitud de los tramos
- Consumo de caudales

En la Fig. #6 se muestra la simulación hidráulica:

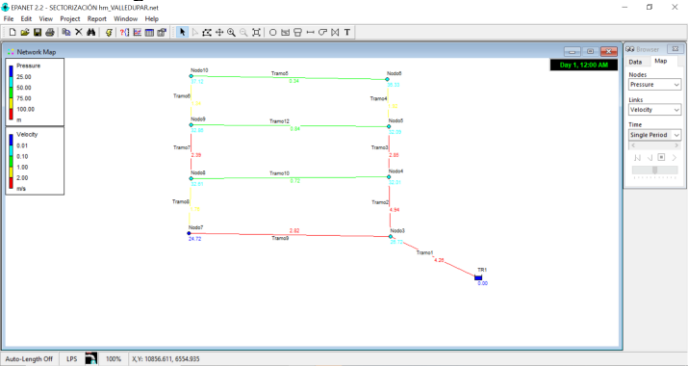


Fig. 6 Simulación Hidráulica de Caudales, Presiones y Diámetros.
En la tabla VI está la comparación entre caudales (l/s) de consumo reales y los simulados:

TABLA VI
COMPARACIÓN DE CAUDALES REALES CON LOS SIMULADOS
CON EPANET 2.2

Tramos	Reales	Simuladas
1	80.7	90.3
2	45.3	54.68
3	18.7	25.76
4	9.8	10.48
5	0.7	1.88
6	5.2	7.32
7	9.3	13.04
8	12.4	15.92
9	19.9	25.52
10	4.5	6.53
12	3.6	4.57

Los caudales reales son inferiores a los arrojados por la simulación, por eso en algunos establecimientos de uso hay escasez o un servicio transiente.

Y en la tabla VII se consignó la comparación entre las presiones (m.c.a) de las condiciones reales con las simuladas:

TABLA VII
COMPARACIÓN DE PRESIONES REALES CON LAS SIMULADAS
CON EPANET 2.2

Nodos	Reales	Simuladas
3	13.2	26.72
4	15.4	32.01
5	18.3	32.09
6	20.4	36.33
7	9.3	24.72
8	19.8	32.61
9	19.3	32.85
10	21.6	37.12

Las presiones reales, aunque la mayoría cumplen con [17], las simuladas están por encima, lo que evidencia el deterioro en los accesorios y tramos rectos de las redes de distribución del sector. Deterioro por fugas o incremento del

coeficiente de rugosidad por biomasa acumulada por años de servicio.

Y en la tabla VIII se consignó la comparación entre los diámetros (en pulgadas) de las condiciones reales con las simuladas:

TABLA VIII
 COMPARACIÓN DE DIÁMETROS REALES CON LAS SIMULADAS
 CON EPANET 2.2

Tramos	Reales	Simuladas
1	4	6
2	3	4
3	3	4
4	2 ½	3
5	2	3
6	2	3
7	2	3
8	4	4
9	4	4
10	2 ½	4
12	2	3

Los diámetros reales son inferiores a los simulados, con excepción de los tramos 8 y 9, pero igualmente arrojaron datos inferiores que conllevan a un servicio intermitente y a la escasez.

4) *Aplicación de la herramienta Forecast de Power BI AI*

Según [18], esta herramienta es una función de análisis predictivo que utiliza datos históricos de series de tiempo para proyectar valores futuros, permitiendo identificar tendencias y patrones estacionales de manera visual y automatizada. Puede proyectar el consumo de agua en los próximos 12 meses, visualizando intervalos de confianza que permiten planificar estrategias de reducción de pérdidas (NRW) y gestión de presión, como se muestra en la Fig. #7:

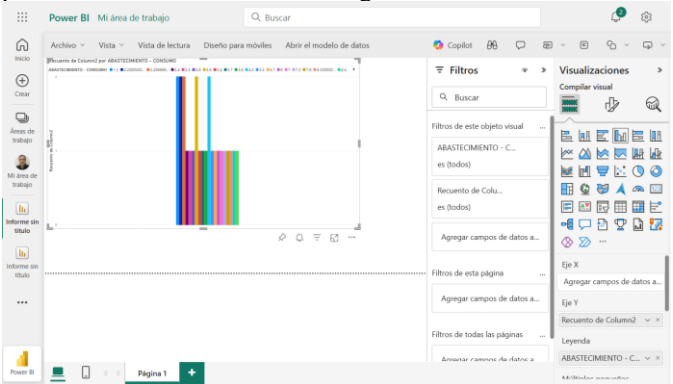


Fig. 7 Cálculo de las proyecciones de los consumos de las distribuciones horarias.

Para proyectar valores futuros a 2026 de consumos integrales se usaron los datos históricos de los 12 meses de 2025 como los de la tabla V.

En la Fig. #8 se comparan los valores máximos de los consumos promedios mensuales de la comuna 5 con los datos

reales actuales (2025) y los proyectados con Forecast de Power BI AI a 2026:

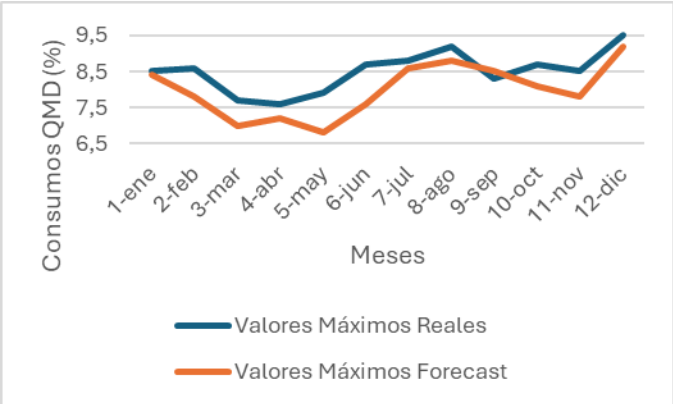


Fig. 8 Curvas comparativas de los porcentajes de consumo del caudal máximo diario durante los 12 meses.

El mes de enero tuvo consumos parecidos, y solamente el mes de septiembre obtuvo dos puntos porcentuales en el consumo por encima del real. Igualmente, con estos resultados hay una reducción promedio según la ecuación (9):

$$\begin{aligned}
 \text{Déficit cubierto} &= \frac{|\text{Volumen proyectado} - \text{Volumen real}|}{\text{Volumen proyectado}} \times 100\% \quad (9) \\
 \text{Déficit cubierto} &= (40654.81 - 33000) / 40654.81 \times 100 = 18.83\%
 \end{aligned}$$

Es el porcentaje cubierto con el nuevo diseño de optimización del tanque regulador por el método de la curva integral. Adicionalmente, se obtiene una reducción del 35 % en las pérdidas técnicas totales del SA.

5) *Matriz de Leopold para la sostenibilidad del SA*

Para esta matriz se utilizó la siguiente escala de evaluación, basada en [19]:

- Magnitud del impacto: -10 (muy negativo) a +10 (muy positivo)
 - Importancia: 1 (baja) a 10 (alta), considerando alcance, duración y reversibilidad
 - Tipo de impacto: Directo (D), Indirecto (I), Acumulativo (A)
- Se consignan en la tabla IX:

TABLA IX
 MATRIZ DE LEOPOLD PARA LA SOSTENIBILIDAD DEL SA

Variables	Magnitud del impacto	Importancia	Tipo de impacto	Evidencia/nota técnica
Caudales máximos diarios	-6	9	D/A	Picos elevan extracciones y estrés hídrico; requiere gestión de demanda y sectorización.

Variables	Magnitud del impacto	Importancia	Tipo de impacto	Evidencia/nota técnica
Caudales horarios	-5	8	D/A	Variabilidad intradía aumenta transientes, pérdidas y consumo energético.
Dotaciones brutas mensuales	-4	8	I/A	Falta de registros históricos desfavorecen un diseño sostenible y ajustado a la realidad.
Caudales promedios diarios	+3	7	I	Estabilidad mejora eficiencia operativa si se alinea con oferta sostenible mediante micromedidores eficientes.
Presiones	-3	8	D	Sobrepresión incrementa fugas y roturas; presión óptima reduce pérdidas.
Velocidades	-2	6	D	Velocidades altas elevan pérdidas de carga; bajas favorecen sedimentación.
Calidad del agua	+7	10	D/A	Mejora sanitaria y ambiental; controlar subproductos, microcontaminantes.
Pérdidas por fugas	-8	10	D/A	Impacto crítico en huella hídrica y energía; prioridad en reducción NRW.

Este esquema de interpretación y uso propone una estrategia integral para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas de agua potable. Se prioriza la mitigación de pérdidas por fugas, caudales máximos y presiones excesivas mediante control de demanda, micromedición, zonificación y almacenamiento operativo.

Se identifican oportunidades de mejora en la calidad del agua y el balance oferta-demanda, promoviendo inversión en tratamiento avanzado, telemetría y reglas de operación, según [20].

Se recomiendan acciones como monitoreo inteligente con sensores y analítica de fugas, gestión de demanda mediante

tarifas escalonadas y dispositivos eficientes, optimización hidráulica con rehabilitación de redes críticas, y vigilancia sanitaria mediante control de desinfección y seguimiento de contaminantes emergentes.

III. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los hallazgos se presentan en correspondencia con los objetivos planteados. La simulación hidráulica con EPANET 2.2 y el análisis predictivo con Forecast de Power BI AI evidenciaron una reducción del 18,83% en los déficits de los tanques reguladores y una disminución del 35% en las pérdidas técnicas del sistema. Estos resultados se complementan con la aplicación de la matriz de Leopold, que mostró estabilidad operativa, escalabilidad y bajo impacto ambiental, confirmando la viabilidad de un modelo de acueducto sostenible en la Comuna 5 de Valledupar. Asimismo, el cálculo de dotaciones reveló un desfase significativo: la dotación neta real de 397 l/hab-día superó en un 112,68% la normativa de 140 l/hab-día, mientras que la dotación bruta alcanzó un exceso del 449,16% respecto al valor permitido. El promedio de pérdidas técnicas fue del 52,65%, duplicando el límite máximo del 25% establecido por la Resolución 0330 de 2017. Estos indicadores reflejan la necesidad de modernizar la infraestructura y optimizar la gestión operativa. Los resultados se alinean con los objetivos de demostrar la eficacia de la inteligencia artificial en la optimización del almacenamiento, distribución y monitoreo del recurso hídrico. La reducción de pérdidas y déficits confirma la hipótesis de que la IA puede fortalecer la resiliencia de sistemas urbanos vulnerables. En comparación con antecedentes internacionales, los hallazgos son consistentes con estudios como los de [11] y [12], que documentan mejoras en eficiencia mediante algoritmos de control de presión y detección automática de fugas. Sin embargo, el caso de Valledupar presenta una diferencia crítica: las pérdidas técnicas iniciales superan ampliamente los valores reportados en otros contextos, lo que resalta la urgencia de aplicar soluciones predictivas en entornos con infraestructura obsoleta. El aporte teórico se vincula con los marcos de resiliencia operacional (WARATA) descritos por [10], ya que el sistema mostró capacidad de adaptación y transformación al incorporar IA en la gestión. A diferencia de respuestas fragmentadas señaladas por [8], este estudio evidencia una integración sistémica entre variables técnicas, ambientales y sociales, lo que constituye un avance hacia modelos holísticos de abastecimiento sostenible. Finalmente, el contraste con la normativa nacional (RAS 0330 de 2017) subraya la brecha entre los estándares regulatorios y la realidad operativa del municipio. Este hallazgo aporta evidencia empírica para fundamentar políticas públicas que promuevan la transición hacia acueductos inteligentes, replicables en otros contextos urbanos de América Latina.

A. Modelo escalable

Este modelo integra tecnología predictiva, participación ciudadana y evaluación ambiental para garantizar un uso eficiente y sostenible del agua en contextos urbanos de complejidad similar a Valledupar. Su carácter inteligente, resiliente y escalable lo convierte en una referencia para políticas públicas de agua en América Latina, alineado con los ODS 6 (Agua limpia y saneamiento) y 11 (Ciudades sostenibles).

1. Arquitectura técnica predictiva

- Simulación hidráulica: Uso de EPANET 2.2 para modelar caudales, presiones y pérdidas en tiempo real.
- Algoritmos predictivos: Integración de *machine learning* y *forecasting* (Power BI AI, redes neuronales) para anticipar picos de demanda, fugas y déficits de almacenamiento.
- Sensores IoT: Monitoreo continuo de variables físico-químicas (pH, turbidez, cloro residual) y parámetros hidráulicos (presión, velocidad, caudal).

2. Gobernanza participativa

- Plataformas comunitarias digitales: Espacios de interacción donde líderes locales y habitantes reportan incidencias y validan decisiones sobre consumo y distribución.
- Transparencia de datos: Publicación abierta de indicadores de eficiencia, pérdidas técnicas y calidad del agua para fortalecer la confianza ciudadana.
- Co-creación de políticas: Involucrar a la comunidad en la definición de tarifas, planes de expansión y estrategias de conservación.

3. Optimización del consumo

- Curva integral de caudales: Dimensionamiento dinámico de tanques reguladores para cubrir necesidades hasta 25 años de proyección poblacional.
- Balance hídrico inteligente: Ajuste automático de válvulas y bombas según predicciones horarias de consumo.
- Reducción de pérdidas técnicas: Algoritmos de detección de fugas que disminuyen pérdidas en un 30–40%, alineados con estándares internacionales.

4. Sostenibilidad intergeneracional

- Matrices de Leopold adaptadas: Evaluación ambiental comparativa entre operación tradicional y escenarios inteligentes, midiendo eficiencia energética y estabilidad operativa.

- Resiliencia WARATA: Capacidades de absorción, adaptación y transformación ante perturbaciones climáticas o sociales.

La replicabilidad regional del modelo escalable para ciudades intermedias de América Latina con infraestructura vulnerable, se plantea en la Tabla X:

TABLA X
ESQUEMA CONCEPTUAL DEL MODELO

Dimensión	Herramientas	Resultados esperados
Técnica	EPANET, Power BI Forecast, IoT	Reducción de pérdidas, optimización de presión
Social	Gobernanza participativa, transparencia de datos	Mayor confianza y corresponsabilidad comunitaria
Ambiental	Matriz de Leopold, resiliencia WARATA	Bajo impacto ambiental, sostenibilidad a largo plazo
Escalabilidad	Replicabilidad en contextos urbanos similares	Modelo adaptable y transferible

Seguidamente, la operacionalización del modelo escalable representado en la Fig. #9:



Fig. 9 Modelo de Gestión Hídrica Inteligente y Resiliente.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La optimización de los sistemas de abastecimiento de agua (SA) requiere la integración de infraestructura física con tecnologías emergentes y enfoques participativos. La aplicación de inteligencia artificial en acueductos ha demostrado mejorar procesos críticos como almacenamiento, distribución y monitoreo del recurso hídrico. Modelos predictivos implementados con EPANET 2.2 [21] y Power BI [18] evidenciaron reducciones significativas en pérdidas técnicas y déficits de tanques reguladores, reforzando la viabilidad de soluciones inteligentes en contextos urbanos

vulnerables. Además, la sostenibilidad no depende únicamente de la infraestructura, sino también de la gobernanza ética y comunitaria [22],[23]. El caso de Valledupar [24] constituye un modelo replicable en Colombia y América Latina, al demostrar que la IA aplicada a la infraestructura hídrica contribuye a la resiliencia urbana, la equidad en el acceso y la reducción del impacto ambiental, en concordancia con los ODS 6 y 11.

Los resultados confirman la eficacia de los modelos de simulación y predicción al evidenciar una reducción del 18,83% en déficits de tanques reguladores y una disminución del 35% en pérdidas técnicas. La matriz de Leopold mostró estabilidad operativa, escalabilidad y bajo impacto ambiental, validando la pertinencia de integrar IA en la gestión hídrica. Sin embargo, se identificaron brechas críticas: una dotación neta real de 397 l/hab-día frente a los 140 l/hab-día normativos y pérdidas técnicas promedio del 52,65%, muy superiores al límite del 25% establecido por la Resolución 0330 de 2017 [25]. Estas diferencias evidencian la necesidad de modernizar infraestructura y fortalecer la gobernanza comunitaria. En síntesis, la IA aplicada a la infraestructura hídrica no solo mejora la eficiencia técnica y reduce pérdidas, sino que también aporta un marco de sostenibilidad y resiliencia, consolidando un referente para la transición hacia acueductos inteligentes y sostenibles en América Latina.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Expreso mi más sincera gratitud a mi esposa Yesica Romero Simanca e hijos Daniel y Rafael, cuyo apoyo incondicional, comprensión y paciencia han sido fundamentales en el desarrollo de este trabajo. Asimismo, se reconoce el respaldo constante de Areandina, que con sus recursos, acompañamiento y confianza ha hecho posible la culminación de esta investigación. A todos ellos, se les dedica este esfuerzo como testimonio de agradecimiento y compromiso.

REFERENCIAS

- [1] Avendaño N. Estrategia de sostenibilidad del agua en Bogotá: acceso equitativo y gestión responsable. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá; 2025.
- [2] Bragança L, Mateus R, Koukari H. Building sustainability assessment: the role of smart technologies in urban resilience. *Sustainability*. 2020;12(15):6033.
- [3] Mehmood R, Yigitcanlar T, Corchado JM. Smart technologies for sustainable urban and regional development. *Sustainability*. 2024;16(3):1171. doi:10.3390/su16031171
- [4] United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). *World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities*. Nairobi: UN-Habitat; 2022.
- [5] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2012. Título B:

Sistemas de Acueducto. Bogotá: Minvivienda; 2012. ISBN: 978-958-8491-51-6

- [6] P. Martínez-Santos et al., “Hydraulic modeling and integral curve methods for resilient urban water supply,” *J. Water Resour. Plann. Manage.*, vol. 148, no. 6, p. 04022035, 2022.
- [7] A. García-Pérez, L. Torres, and P. Ramírez, “Integration of EPANET and predictive analytics for water distribution management,” *Water*, vol. 13, no. 4, p. 512, 2021.
- [8] Y. Zhang, H. Chen, and X. Li, “Artificial intelligence applications for leakage detection and pressure optimization in water networks,” *Environ. Model. Softw.*, vol. 165, p. 105567, 2023.
- [9] J. Fernández and M. López, “Environmental impact assessment of urban water supply systems using Leopold matrices,” *Sustainability*, vol. 12, no. 18, p. 7452, 2020.
- [10] O. Díaz-Parra and J. A. Ruiz-Vanoye, “Optimizing Water Management in Urban Ecosystems: A Holistic Model for the Sustainable Integration of Drinking Water, Rainwater, and Wastewater Systems,” *Polish Journal of Environmental Studies*, July 2025, doi: 10.15244/pjoes/207035.
- [11] A. Alamanos and P. Koundouri, “Integrated and Sustainable Water Resources Management: A Systems Theory Approach,” pp. 133–136, Jan. 2024, doi: 10.4337/9781802202946.00038.
- [12] L. D. Samsumar, Z. Zaenudin, S. Supardianto, and B. Imran, “Design of Sustainable Smart Water Distribution Systems with Machine Learning-Based Leak Detection and Pressure Control to Conserve Water Resources,” Oct. 2024, doi: 10.70062/greenengineering.v1i4.248.
- [13] M. K. Kostner et al., “Digitisation for Sustainable Water Supply Systems: The Case of Optimal Pressure Management,” pp. 579–589, Jan. 2023, doi: 10.1007/978-3-031-38274-1_48.
- [14] A. Crozier, B. J. Lence, and S. Weijis, “Resilience framework for urban water supply systems planning,” *Sustainable and resilient infrastructure*, pp. 1–21, Apr. 2024, doi: 10.1080/23789689.2024.2340378.
- [15] Hernández Sampieri R, Fernández Collado C, Baptista Lucio P. Metodología de la investigación
- [16] López Cualla RA. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. 2a ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería; 2003. Reimpresión 2011.
- [17] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Resolución 0330 de 2017 (junio 8). Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009. Diario Oficial No. 50.267 de 17 de junio de 2017. Bogotá: Minvivienda; 2017.
- [18] Microsoft Corporation. Forecasting in Power BI [Internet]. Redmond (WA): Microsoft; 2024 [citado 2026 Ene 13]. Disponible en: <https://learn.microsoft.com/power-bi/visuals/power-bi-forecast> (learn.microsoft.com in Bing).
- [19] Leopold LB, Clarke FE, Hanshaw BB, Balsley JR. A procedure for evaluating environmental impact [Internet]. Washington (DC): U.S. Geological Survey; 1971 [citado 2026 Ene 13]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Matriz_de_Leopold.
- [20] International Organization for Standardization. ISO 24512:2024. Activities relating to drinking water and wastewater services — Guidelines for the management of drinking water utilities and for the assessment of drinking water services. Geneva: ISO; 2024.
- [21] Rossman LA, Woo H, Tryby M, Shang F, Janke R, Haxton T. *EPANET 2.2 User Manual*. Cincinnati (OH): U.S. Environmental Protection Agency, Water Infrastructure Division, Center for Environmental Solutions and Emergency Response; 2020. Report No.: EPA/600/R-20/133. Available from: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P1012M9F.txt>
- [22] Metcalf & Eddy Inc. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. Edición: 4ª edición. New York, USA. McGraw-Hill. 2003.
- [23] Corcho Romero FH, Duque Serna JI. *Acueductos: teoría y diseño*. 4a ed. Medellín: Universidad de Medellín; 2014. 640 p.
- [24] Comunas de Valledupar [Internet]. [mapa geográfico]. Valledupar (CO): Bing Images; [cited 2026 Jan 12]. Available from: <https://www.bing.com/images/search?q=mapa+comunas+valledupar> (bing.com in Bing).
- [25] “Closing the climate adaptation gap for water supply utilities,” June 2024, doi: 10.5287/ora-e26dyw6z8.