UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI

POSGRADO

MAESTRÍA EN ESTADÍSTICA APLICADA

"Evaluación del impacto de un plan integral de reducción de pérdidas de agua no contabilizada en EMAPAG, Guaranda – Ecuador, durante el segundo semestre de 2025 mediante análisis estadístico"

Trabajo de titulación previa la obtención del

Título de Magíster en Estadística Aplicada

Autor: Ing. Vistín Vistín Nikolay Wenceslao.

Tutora: PhD. Funes Samaniego Liliana Alejandra

Tulcán, 2026

CERTIFICADO DEL TUTOR DEL TDT

Certifico que, el estudiante Nikolay Wenceslao Vistín Vistín, con el número de cédula 0201798600, ha elaborado el Trabajo de Titulación: “Evaluación del impacto de un plan integral de reducción de pérdidas de agua no contabilizada en EMAPAG, Guaranda – Ecuador, durante el segundo semestre de 2025 mediante análisis estadístico”.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
LILIA NA ALEJANDRA FUNES SAMANIEGO

PhD. Funes Samaniego Liliana Alejandra

Tutora

Tulcán, 2026

AUTORÍA DE TRABAJO DEL TDT

El presente trabajo de titulación constituye un requisito previo para la obtención del título de Magíster en Estadística Aplicada.

Yo, Nikolay Wenceslao Vistín Vistín, con cédula de identidad número 0201798600, declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica y personal, y que los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
NIKOLAY WENCESLAO VISTIN VISTIN

Ing. Vistín Vistín Nikolay Wenceslao.

Autor

Tulcán, 2026

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TDT

Yo, Nikolay Wenceslao Vistín Vistín, declaro ser autor de los criterios emitidos en el trabajo de titulación: "Evaluación del impacto de un plan integral de reducción de pérdidas de agua no contabilizada en EMAPAG, Guaranda – Ecuador, durante el segundo semestre de 2025 mediante análisis estadístico", y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
NIKOLAY WENCESLAO VISTIN VISTIN

Ing. Vistín Vistín Nikolay Wenceslao.

Autor

Tulcán, 2026

AGRADECIMIENTO

Expreso mi profundo agradecimiento a mis padres, hermanos y sobrinos, por su apoyo, cariño y confianza durante todo este proceso académico.

De manera especial, agradezco a mi esposa y a mi hijo, por su comprensión, paciencia y compañía en los momentos que demandaron mayor esfuerzo y dedicación. Su apoyo fue fundamental para culminar esta etapa de mi formación profesional.

Mi sincero agradecimiento a mi tutora, Dra. Liliana Funes Samaniego, por su orientación, tiempo y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo de titulación. Sus observaciones y recomendaciones permitieron fortalecer cada una de las etapas de la investigación.

Asimismo, agradezco a los docentes de la Maestría en Estadística Aplicada de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, por los conocimientos y experiencias compartidas durante mi formación.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron para que este proceso pudiera culminar satisfactoriamente.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mis padres, por ser un ejemplo de esfuerzo, responsabilidad y constancia, y por haberme enseñado a seguir adelante en cada etapa de mi vida.

A mis hermanos y sobrinos, por su cariño, apoyo y por estar presentes en los momentos importantes.

De manera especial, a mi esposa y a mi hijo, quienes han sido mi mayor motivación durante este proceso. Su comprensión, paciencia y compañía me dieron la fuerza necesaria para continuar y alcanzar esta meta.

A toda mi familia, por acompañarme en este camino y ser parte fundamental de este logro.

Con cariño y gratitud, este trabajo está dedicado a ustedes.

ÍNDICE

RESUMEN xiv

ABSTRACT xv

CAPÍTULO I PROBLEMA 1

2.1 Planteamiento del problema 1

2.1 Hipótesis de investigación 3

2.1 Objetivos de investigación 3

2..1 Objetivo General 3

2..2 Objetivos Específicos 3

2.1 Justificación 4

CAPÍTULO II FUNDAMIENTACIÓN TEÓRICA 7

2.1. Antecedentes de la investigación 7

2.2. Marco Teórico 12

2.2.1. Conceptualización del agua no contabilizada 12

2.2.2. Modelos de gestión y control de ANC 13

2.2.3. Rol del análisis estadístico 14

2.2.4. Fundamentos de la inferencia estadística para la evaluación de intervenciones 15

2.2.5. Dimensión socioeconómica y ambiental 18

2.2.6. Gobernanza y políticas públicas 19

2.2.7. Síntesis crítica 20

2.3. Marco Legal 20

2.3.1. Normativa internacional 21

2.3.2. Normativa nacional 21

2.3.3. Normativa local y sectorial 22

2.3.4. Síntesis legal 22
CAPÍTULO III METODOLOGÍA 23
3.1. Descripción del área de estudio/Grupo de estudio 23
3.2. Enfoque y tipo de investigación 26
3.2.1. Enfoque de investigación 26
3.2.2. Tipo de investigación 27
3.2.3. Justificación metodológica 28
3.3. Definición y operacionalización de variables 29
3.4. Procedimiento metodológico 30
3.5. Plan de análisis estadístico 32
3.5.1. Preparación y exploración de los datos 32
3.5.2. Análisis estadístico descriptivo 33
3.5.3. Verificación de los supuestos estadísticos 34
3.5.4. Modelo Lineal Mixto (LMM) 34
3.5.5. Análisis de Covarianza (ANCOVA) 36
3.5.6. Validación y comparación de los modelos estadísticos 38
3.5.7. Software estadístico 39
3.6. Consideraciones bioéticas 39
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN 41
4.1. Introducción al análisis de resultados 41
4.2. Descripción del comportamiento del agua no contabilizada (ANC) 41
4.2.1. Caracterización descriptiva de variables operativas 44
4.3. Verificación de supuestos 46
4.4. Resultados del Modelo Lineal Mixto (LMM) 48
4.5. Análisis complementario mediante ANCOVA 53

4.6. Contraste de hipótesis 56
4.7. Síntesis de los resultados 56
4.7.1. Implicaciones técnicas, económicas y ambientales 57
4.8. Discusión 58
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 61
5.1. Conclusiones 61
5.2. Recomendaciones 63
5.3. Líneas de investigación futura 64
REFERENCIAS 65
ANEXOS 69
..... 69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Síntesis comparativa de los principales antecedentes.....10

Tabla 2 Estructura simplificada del balance hídrico.....12

Tabla 3 Enfoques de gestión del agua no contabilizada.....14

Tabla 4 Caracterización de los sectores hidráulicos en el momento "Antes".....24

Tabla 5 Operacionalización de las variables del estudio.....29

Tabla 6 Especificación del análisis de covarianza.....38

Tabla 7 Estadísticos descriptivos del porcentaje de agua no contabilizada por grupo y momento de evaluación.....42

Tabla 8 Caracterización descriptiva de las variables operativas.....44

Tabla 9 Verificación de supuestos del Modelo Lineal Mixto.....46

Tabla 10 Coeficientes estimados del Modelo Lineal Mixto.....48

Tabla 11 Análisis de varianza tipo III del Modelo Lineal Mixto.....49

Tabla 12 Medias marginales estimadas del porcentaje de agua no contabilizada según grupo y momento de evaluación.....50

Tabla 13 Cambios temporales del porcentaje de agua no contabilizada dentro de cada grupo.....50

Tabla 14 Contrastes entre grupos según el momento de evaluación.....51

Tabla 15 Contraste de interacción grupo por momento.....51

Tabla 16 Verificación de los supuestos para la aplicación de la ANCOVA.....53

Tabla 17 Análisis de covarianza del porcentaje de agua no contabilizada posterior.....54

Tabla 18 Medias ajustadas del porcentaje de agua no contabilizada posterior según el grupo.....54

Tabla 19 Diferencia ajustada del porcentaje de agua no contabilizada posterior entre grupos.....55

Tabla 20 Volúmenes de agua producida, facturada y no contabilizada según grupo.....57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, cantón Guaranda, provincia de Bolívar.....23

Figura 2 Esquema de conformación de los sectores hidráulicos incluidos en el estudio 25

Figura 3 Evolución del porcentaje promedio de agua no contabilizada según grupo y momento de evaluación. 43

Figura 4 Distribución del porcentaje de agua no contabilizada por grupo y momento de evaluación.....44

Figura 5 Diagnóstico de los residuos del modelo lineal mixto. 47

Figura G 1 Instalación de válvulas para la sectorización de la red 90

Figura G 2 Reemplazo de micromedidores que cumplieron su vida útil 91

Figura G 3 Instalación de válvula de aire en la red de distribución 91

Figura G 4 Reemplazo de micromedidor domiciliario.....92

Figura G 5 Instalación de válvula de corte.....92

Figura G 6 Comprobación de caudal y velocidad en la red de distribución 93

Figura G 7 Identificación de fugas en la red de distribución 93

Figura G 8 Identificación de accesorio dañado en la red de distribución 94

Figura G 9 Instalación de cajas de protección para micromedidores.....94

Figura G 10 Sectorización de la red de distribución 95

Figura G 11 Reparación de daños en la red de distribución.....95

Figura G 12 Reparación de fugas en la red de distribución 96

Figura G 13 Mantenimiento de válvulas reductoras de presión.....96

Figura G 14 Instalación de válvula reductora de presión.....97

Figura G 15 Sectorización de tramos de la red de distribución 97

Figura G 16 Comprobación del estado de micromedidores en banco de pruebas 98

Figura G 17 Instalación de macromedidores en la red de distribución.....98

Figura G 18 Toma de datos de macromedición en la red de distribución.....99

ANEXOS

Anexo A Carta de autorización institucional 69

Anexo B Formato de registro de datos utilizado para la investigación.....72

Anexo C Instrumento para levantamiento de fugas 73

Anexo D Consentimiento de uso de datos 74

Anexo E Base de datos consolidada utilizada en la investigación.....75

Anexo F Script en R para la reproducción y validación del análisis estadístico.....76

Anexo G Evidencia fotográfica de la implementación del plan integral 90

RESUMEN

La presente investigación evaluó el efecto de un plan integral de reducción de agua no contabilizada (ANC) implementado por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (EP-EMAPAG) durante el segundo semestre de 2025. Se empleó un enfoque cuantitativo con diseño cuasi experimental antes-después, utilizando diez sectores hidráulicos: cinco intervenidos y cinco de comparación. La información provino de registros técnicos, operativos y comerciales institucionales correspondientes a julio y diciembre de 2025. El análisis incluyó estadística descriptiva, un Modelo Lineal Mixto (LMM) para estimar la interacción entre grupo y momento, un análisis de covarianza (ANCOVA) ajustado por el ANC inicial y una prueba exacta de permutación como análisis de sensibilidad. En los sectores intervenidos, el ANC promedio disminuyó de 42,20 % a 30,00 %, equivalente a una reducción de 12,20 puntos porcentuales; en los sectores de comparación pasó de 38,00 % a 37,00 %, con una disminución de 1,00 punto porcentual. El LMM estimó una diferencia de diferencias de -11,20 puntos porcentuales (IC 95 %: -11,66 a -10,74; $p < 0,001$). La ANCOVA mostró una diferencia posterior ajustada de 10,73 puntos porcentuales (IC 95 %: 10,07 a 11,38; $p < 0,001$), y la prueba exacta de permutación confirmó la estabilidad del resultado principal ($p = 0,008$). Los hallazgos aportan evidencia estadística favorable sobre la efectividad del plan para reducir el ANC en los sectores intervenidos; sin embargo, su interpretación debe considerar el número limitado de sectores, la ausencia de asignación aleatoria y la disponibilidad de un solo registro antes y después de la intervención.

Palabras clave: agua no contabilizada; ANCOVA; diferencias en diferencias; gestión hídrica; modelo lineal mixto.

ABSTRACT

This study evaluated the effect of a comprehensive non-revenue water (NRW) reduction plan implemented by the Municipal Drinking Water and Sewerage Company of Guaranda (EP-EMAPAG) during the second half of 2025. A quantitative approach with a quasi-experimental before-and-after design was used, involving ten hydraulic sectors: five intervention sectors and five comparison sectors. Data were obtained from institutional technical, operational, and commercial records for July and December 2025. The analysis included descriptive statistics, a linear mixed model (LMM) to estimate the group-by-time interaction, an analysis of covariance (ANCOVA) adjusted for baseline NRW, and an exact permutation test as a sensitivity analysis. In the intervention sectors, mean NRW decreased from 42.20% to 30.00%, representing a reduction of 12.20 percentage points; in the comparison sectors, it decreased from 38.00% to 37.00%, a reduction of 1.00 percentage point. The LMM estimated a difference-in-differences of -11.20 percentage points (95% CI: -11.66 to -10.74; $p < 0.001$). ANCOVA showed an adjusted post-intervention difference of 10.73 percentage points (95% CI: 10.07 to 11.38; $p < 0.001$), while the exact permutation test confirmed the robustness of the main finding ($p = 0.008$). The findings provide statistical evidence consistent with a favorable effect of the plan on reducing NRW in the intervention sectors; however, interpretation should account for the limited number of sectors, the absence of random assignment, and the availability of only one pre-intervention and one post-intervention record.

Keywords: water management; ANCOVA; difference-in-differences; non-revenue water; linear mixed model.

CAPÍTULO I
PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

La gestión de los sistemas de abastecimiento de agua enfrenta, a escala mundial, el persistente reto del agua no contabilizada (Non-Revenue Water, NRW). Este término comprende tanto las pérdidas físicas, ocasionadas por fugas y roturas en la infraestructura hidráulica, como las pérdidas comerciales derivadas de errores de medición, deficiencias en la facturación o consumos no registrados. Estas pérdidas afectan directamente la eficiencia operativa de las empresas prestadoras del servicio, comprometen su sostenibilidad financiera y aumentan la presión sobre las fuentes de abastecimiento (Farouk et al., 2023; Lambert et al., 2014).

En el contexto ecuatoriano, la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA, 2023) reportó que el indicador nacional de agua no contabilizada alcanzó el 44,85 % en 2023, evidenciando la magnitud de las pérdidas existentes en los sistemas de abastecimiento de agua potable del país (p. 17). Esta problemática resulta especialmente compleja en ciudades andinas como Guaranda, donde la topografía, la antigüedad de la infraestructura y la limitada cobertura de micromedición dificultan la detección oportuna de fugas y el control eficiente del sistema. Aunque la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (Asamblea Nacional, 2014) establece la obligación de mantener balances hídricos y desarrollar programas para el control de pérdidas, en la práctica muchas empresas prestadoras aún carecen de evaluaciones sustentadas en metodologías estadísticas que permitan evaluar objetivamente la efectividad de las intervenciones implementadas.

En la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (EMAPAG), el agua no contabilizada representa uno de los principales desafíos para mejorar la eficiencia operativa y la sostenibilidad financiera del sistema de abastecimiento. De acuerdo con los registros técnicos, operativos y comerciales institucionales, en julio de 2025 los diez sectores hidráulicos considerados en el estudio registraron en conjunto una producción de 124.900 m^3 de agua, de los cuales 74.657 m^3 fueron facturados y 50.243 m^3 correspondieron a agua no contabilizada, equivalente al 40,23 %.

La empresa dispone de registros históricos relacionados con la producción, la facturación, la presión de servicio, el consumo, la antigüedad de la infraestructura y las actividades de mantenimiento. Sin embargo, esta información ha sido utilizada principalmente con fines operativos y administrativos.

En consecuencia, no ha sido analizada mediante un enfoque estadístico integral que permita evaluar el efecto de las intervenciones ejecutadas y controlar la variabilidad propia entre los sectores hidráulicos. Tampoco se ha realizado un ajuste por la condición inicial del agua no contabilizada ni se ha cuantificado la incertidumbre asociada a las estimaciones obtenidas. Esta situación dificulta establecer si las variaciones observadas en los niveles de agua no contabilizada son atribuibles al plan integral de reducción de pérdidas o responden a diferencias propias entre los sectores hidráulicos y al comportamiento operativo del sistema.

Ante esta situación, resulta pertinente incorporar un enfoque sustentado en la Estadística Aplicada para analizar la información disponible con mayor rigor metodológico. La investigación busca evaluar el efecto del plan integral de reducción de pérdidas mediante un diseño cuasi experimental y técnicas de inferencia estadística, considerando la evolución temporal de los sectores analizados y la influencia de variables operativas relevantes. De esta manera, se espera generar evidencia estadística que respalde la toma de decisiones institucionales, contribuya a optimizar la planificación de inversiones en infraestructura hidráulica y proporcione un procedimiento metodológico que pueda ser replicado en otras empresas prestadoras del servicio de agua potable con problemáticas similares, en concordancia con las recomendaciones de la International Water Association (Lambert et al., 2000) y la normativa nacional vigente (Asamblea Nacional, 2014).

En este contexto, el problema de investigación se concreta en la ausencia de evidencia estadística que permita determinar si la implementación del plan integral produjo un cambio diferencial en los niveles de agua no contabilizada de los sectores intervenidos respecto de los sectores no intervenidos de EP-EMAPAG durante el segundo semestre de 2025.

1.2.Hipótesis de investigación

H_0: No existe un efecto diferencial estadísticamente significativo del plan integral sobre el porcentaje de agua no contabilizada entre los sectores intervenidos y los sectores de comparación; es decir, el coeficiente de interacción entre grupo y momento es igual a cero:

$$\beta_3 = 0$$

H_1: Existe un efecto diferencial estadísticamente significativo del plan integral sobre el porcentaje de agua no contabilizada entre los sectores intervenidos y los sectores de comparación; es decir, el coeficiente de interacción entre grupo y momento es diferente de cero:

$$\beta_3 \neq 0$$

El contraste se estableció con un nivel de significancia de $\alpha = 0{,}05$ y se interpretó de manera bilateral. La dirección del efecto se determinó a partir del signo y la magnitud estimada de la interacción grupo por momento.

1.3.Objetivos de investigación

1.3.1. Objetivo General

Evaluar el efecto del plan integral de reducción de pérdidas de agua no contabilizada en la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, comparando el cambio del porcentaje de ANC entre los sectores intervenidos y no intervenidos mediante una diferencia de diferencias expresada en puntos porcentuales, considerando la magnitud del efecto, su significancia estadística y la incertidumbre asociada durante el segundo semestre de 2025.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Describir las condiciones operativas de los sectores hidráulicos incluidos en el estudio a partir de la presión de servicio, la antigüedad de la infraestructura y el consumo de agua durante el segundo semestre de 2025.
- Verificar los supuestos y ajustar los modelos estadísticos utilizados para analizar el comportamiento del agua no contabilizada en los sectores estudiados.

- Estimar el efecto del plan integral sobre el porcentaje de agua no contabilizada comparando los cambios observados entre los sectores intervenidos y no intervenidos, con sus respectivos intervalos de confianza del 95 %.
- Analizar las implicaciones técnicas, económicas y ambientales de los resultados obtenidos, considerando los registros institucionales y la literatura revisada, como apoyo para la gestión del sistema de abastecimiento de agua potable.

1.4.Justificación

La disminución de las pérdidas de agua no contabilizada se reconoce como un objetivo estratégico para las empresas encargadas de la provisión de agua potable, debido a su incidencia directa en la sostenibilidad financiera, la conservación del recurso hídrico y la calidad del servicio prestado a la población.

En los diez sectores incluidos en el estudio, los registros institucionales identificados como “Antes”, correspondientes a julio de 2025, muestran una producción de 124.900 m^3 y un volumen de agua no contabilizada de 50.243 m^3, equivalente al 40,23 %. Tomando ese volumen producido como referencia, una reducción de un punto porcentual del ANC representa aproximadamente 1.249 m^3 menos de agua no contabilizada en el mes, lo que permite dimensionar de forma concreta la importancia de reducir este indicador.

En el caso de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (EMAPAG), los registros institucionales utilizados en este estudio muestran que el agua no contabilizada alcanzó el 40,23 % en el momento identificado como “Antes”. Este valor se toma como referencia inicial para analizar los cambios observados después de la intervención y no como una meta o límite internacional. El porcentaje de ANC se utiliza como indicador principal para comparar los sectores y los momentos del estudio, pero se complementa con los volúmenes de agua no contabilizada expresados en metros cúbicos, ya que el porcentaje por sí solo no permite conocer la magnitud total de las pérdidas.

Esta situación ocasiona un doble impacto: por una parte, implica el desperdicio de un recurso esencial cuya disponibilidad está condicionada por factores climáticos y geográficos; por otra, incrementa los costos de operación al requerir la producción y distribución de volúmenes de agua superiores a los efectivamente facturados.

Desde el ámbito normativo, la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, junto con su reglamento de aplicación, establece la responsabilidad de las empresas prestadoras del servicio en el control, la gestión y la reducción de las pérdidas de agua no contabilizada. Este marco jurídico respalda la pertinencia de desarrollar investigaciones orientadas a evaluar la efectividad de las acciones implementadas para mejorar la eficiencia de los sistemas de abastecimiento (Asamblea Nacional, 2014).

La relevancia científica y metodológica de esta investigación radica en la aplicación de un enfoque de estadística aplicada para evaluar el efecto del plan integral de reducción de pérdidas ejecutado por EMAPAG. A diferencia de una evaluación sustentada únicamente en indicadores descriptivos, el diseño cuasiexperimental permite comparar los cambios observados entre los sectores intervenidos y los sectores de comparación antes y después de la intervención. De esta manera, el análisis no se limita a describir variaciones porcentuales, sino que permite estimar la magnitud del cambio diferencial, contrastar su significancia estadística y cuantificar la incertidumbre asociada a los resultados.

Asimismo, la aplicación de técnicas de análisis estadístico permitirá cuantificar la incertidumbre asociada a las estimaciones y evaluar si las variaciones observadas en los niveles de agua no contabilizada presentan un comportamiento diferencial entre los sectores intervenidos y los sectores de comparación, considerando la variabilidad inherente al sistema de distribución. Los resultados constituirán un insumo técnico para orientar la planificación de inversiones en renovación de redes, sectorización y optimización de la operación, en concordancia con las recomendaciones de la International Water Association (Lambert et al., 2014).

Los beneficios de esta investigación trascienden el ámbito institucional. La reducción comprobada de las pérdidas de agua no contabilizada contribuirá a mejorar la eficiencia operativa, optimizar el uso de los recursos destinados al mantenimiento e infraestructura y fortalecer la sostenibilidad financiera de la empresa. De igual forma, la metodología empleada y los resultados obtenidos podrán servir como referencia para otras empresas prestadoras de servicios de agua potable que enfrenten problemáticas similares, favoreciendo la toma de decisiones sustentada en evidencia y el fortalecimiento de políticas de gestión del recurso hídrico (Farouk et al., 2023).

En síntesis, la investigación presenta una justificación técnica, científica, normativa, social y ambiental. Su principal aporte consiste en generar evidencia estadística sobre los cambios observados en el agua no contabilizada, de manera que EP-EMAPAG disponga de resultados que permitan valorar las acciones ejecutadas y orientar futuras intervenciones en el sistema de abastecimiento. Además, la investigación se vincula con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6: Agua limpia y saneamiento, particularmente con la meta 6.4, orientada a mejorar la eficiencia en el uso del agua y contribuir a su gestión sostenible. En este sentido, la reducción del agua no contabilizada favorece un mejor aprovechamiento del recurso hídrico y fortalece la eficiencia operativa del sistema. Este aporte también se relaciona con la orientación investigativa de la Maestría en Estadística Aplicada, al utilizar métodos estadísticos para analizar una problemática real del entorno y generar información útil para la toma de decisiones.

CAPÍTULO II
FUNDAMIENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Antecedentes de la investigación

El estudio de las pérdidas de agua no contabilizada (ANC), también denominadas agua no facturada o non-revenue water (NRW), ha sido ampliamente abordado en diferentes contextos internacionales y latinoamericanos debido a sus implicaciones económicas, operativas y ambientales para las empresas prestadoras de servicios de agua potable. Los antecedentes revisados permiten identificar las principales estrategias de intervención empleadas, así como las metodologías de análisis utilizadas para evaluar su efectividad, constituyendo un referente para el desarrollo de la presente investigación.

Kingdom et al. (2006), en un informe elaborado para el Banco Mundial, analizaron la situación del agua no contabilizada en más de cincuenta países con distintos niveles de desarrollo. Los autores estimaron que, en promedio, cerca del 32 % del agua producida no llega a ser contabilizada dentro de los sistemas de facturación. Asimismo, demostraron que la implementación de planes integrales orientados a la renovación de tuberías, la modernización de los sistemas de medición y la gestión activa de fugas puede reducir las pérdidas entre un 10 % y un 20 % en un período aproximado de cinco años. Estos resultados evidencian la importancia de desarrollar estrategias integrales para mejorar la eficiencia de los sistemas de abastecimiento de agua potable.

Arregui et al. (2006) presentan la gestión de los medidores de agua como una parte importante del control de las pérdidas comerciales en los sistemas de abastecimiento. Su trabajo aborda aspectos como la selección de los medidores, los errores de medición, su mantenimiento y el momento adecuado para su reemplazo, elementos que ayudan a mejorar el registro del consumo y la información utilizada por las empresas prestadoras del servicio.

Alegre et al. (2006) desarrollaron un sistema de indicadores de desempeño para evaluar la gestión de los servicios de abastecimiento de agua. La propuesta reúne criterios e indicadores relacionados con aspectos operativos, económicos y de gestión, entre ellos los vinculados con las pérdidas de agua. Su aporte sirve como referencia para organizar

y comparar la información del sistema y para interpretar los resultados de manera más completa, sin depender de un solo indicador.

En Perú, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS, 2025) analizó el comportamiento del agua no facturada en las empresas prestadoras durante el período 2014–2024. A partir de información de benchmarking, registros comerciales y estudios tarifarios, reportó un promedio nacional de agua no facturada del 38,5 %. El análisis señala que los niveles elevados de este indicador están relacionados con problemas de medición, infraestructura envejecida, fugas frecuentes y deficiencias en los procesos comerciales. Estos resultados muestran que la reducción de las pérdidas requiere considerar tanto las condiciones físicas de la red como la gestión operativa de las empresas prestadoras.

Bueno-Herrera, Monroy-Ávila y Zafra-Mejía (2020) analizaron el comportamiento del agua no contabilizada en el sistema de abastecimiento urbano de Facatativá, Colombia, utilizando registros de agua producida y facturada recopilados durante cerca de 16 años. El estudio incluyó análisis de correlación y modelos ARIMA para evaluar el comportamiento temporal del indicador y su relación con otras variables del sistema. Los autores reportaron un índice promedio de agua no contabilizada del 34,6 % y mostraron la utilidad del análisis estadístico para estudiar la evolución de las pérdidas y apoyar la planificación de acciones de control.

En Ecuador, González Carrillo y Rueda Meza (2025) estudiaron el agua no contabilizada en el Sistema Tesalia, ubicado en el cantón Quito, utilizando información de macro y micromedición junto con datos del catastro disponible de la empresa prestadora del servicio. Como parte del contexto del estudio, señalaron que en 2022 el Distrito Metropolitano de Quito registró un índice de agua no contabilizada del 29,49 % en el área urbana y del 40,05 % en el área rural. A partir de la información recopilada, plantearon alternativas para mejorar el funcionamiento del sistema mediante modelación hidráulica, mostrando la importancia de contar con información técnica confiable para identificar pérdidas y orientar acciones de mejora.

Molinos-Senante, Villegas y Maziotis (2021) analizaron los costos relacionados con la reducción de fugas de agua en empresas prestadoras del servicio en Chile durante el período 2007–2015. Mediante un modelo de frontera de costos, estimaron que reducir

un metro cúbico de agua perdida representaba, en promedio, un costo marginal de 0,349 euros. Los resultados también mostraron diferencias entre empresas públicas, privadas y concesionadas, lo que evidencia que la reducción de pérdidas no depende únicamente de aspectos técnicos, sino también de las condiciones de gestión y de los recursos que cada empresa debe destinar para alcanzar este objetivo.

En Argentina, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, 2019) analizó la gestión de los servicios de agua y los principales retos institucionales del sector. El informe identifica al agua no contabilizada como uno de los indicadores relacionados con la eficiencia de las empresas prestadoras y señala que problemas como la baja micromedición, las pérdidas elevadas y las limitaciones en la planificación pueden afectar su sostenibilidad financiera. También destaca la importancia de fortalecer la regulación, la coordinación institucional y la planificación de las inversiones para mejorar el desempeño de los servicios de agua.

En Bolivia, la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS, 2022) evaluó el desempeño de las empresas prestadoras mediante indicadores técnicos, económicos y comerciales. Para EPSAS, empresa que atiende a La Paz, El Alto y sectores cercanos, se registró en 2022 un índice de agua no contabilizada del 27,32 %. El informe muestra la importancia de mantener un seguimiento periódico de este indicador y de continuar con acciones orientadas a reducir las pérdidas y mejorar la eficiencia del sistema de abastecimiento.

Carrillo, Contreras y Scartascini (2021) evaluaron en Quito el efecto de instalar medidores individuales sobre el consumo de agua utilizando registros administrativos de EPMAPS. Como parte del análisis, emplearon un enfoque de diferencias en diferencias con grupos de comparación sintéticos para contrastar el consumo antes y después de la instalación. Los resultados mostraron una reducción cercana al 8 % en el consumo mensual de los usuarios intervenidos respecto del grupo de comparación. Este estudio resulta útil como antecedente porque muestra cómo la comparación entre grupos y momentos permite estimar el efecto de una intervención aplicada en un servicio de agua.

Jeuland et al. (2023) evaluaron una intervención de gran escala en los sistemas de agua potable y alcantarillado de Zarqa, Jordania, donde se realizaron mejoras en las redes de distribución y saneamiento. El estudio utilizó un enfoque de evaluación de impacto

para comparar los cambios asociados a la intervención y analizar sus efectos sobre distintos indicadores del servicio. Los autores resaltan que este tipo de evaluaciones debe considerar diferencias iniciales entre los grupos, posibles efectos externos y el tamaño de la muestra, aspectos que también son importantes al interpretar intervenciones realizadas en sistemas reales de abastecimiento de agua.

Tabla 1
Síntesis comparativa de los principales antecedentes

Autor y año	Lugar	Diseño o tipo de estudio	Método principal	Resultado o aporte principal
SUNASS (2025)	Perú	Análisis institucional	Benchmarking, registros comerciales y estudios tarifarios	Reportó un promedio nacional de agua no facturada del 38,5 % y señaló problemas de medición, infraestructura, fugas y gestión comercial.
Bueno-Herrera et al. (2020)	Facatativá, Colombia	Estudio longitudinal	Correlación y modelos ARIMA	Encontró un índice promedio de ANC del 34,6 % y mostró la utilidad del análisis estadístico para estudiar su comportamiento en el tiempo.
González Carrillo y Rueda Meza (2025)	Quito, Ecuador	Estudio técnico aplicado	Registros de macro y micromedición y modelación hidráulica	Analizó el ANC del Sistema Tesalia y planteó alternativas de mejora a partir de información técnica de la red.
Molinos-Senante et al. (2021)	Chile	Análisis económico de empresas prestadoras	Modelo de frontera de costos	Estimó los costos relacionados con la reducción de fugas y evidenció diferencias entre los tipos de empresas prestadoras.
OECD (2019)	Argentina	Análisis institucional	Indicadores de gestión y análisis de gobernanza	Identificó al ANC como un indicador de eficiencia y destacó la importancia de la regulación, planificación e inversión en los servicios de agua.

AAPS (2022)	Bolivia	Evaluación institucional del desempeño	Indicadores técnicos, económicos y comerciales	Reportó para EPSAS un ANC del 27,32 % y señaló la necesidad de mantener acciones orientadas a disminuir las pérdidas.
Carrillo et al. (2021)	Quito, Ecuador	Cuasi experimental	Diferencias en diferencias	Encontró una reducción cercana al 8 % en el consumo después de la instalación de medidores individuales respecto del grupo de comparación.
Jeuland et al. (2023)	Jordania	Evaluación de impacto	Comparación de grupos y cambios asociados a una intervención	Mostró la utilidad de los diseños de evaluación para estimar cambios relacionados con intervenciones realizadas en sistemas de agua.

Nota. La tabla resume antecedentes regionales e internacionales relacionados con la medición, gestión y evaluación estadística de intervenciones en sistemas de abastecimiento de agua.

En conjunto, los antecedentes revisados evidencian que la reducción del agua no contabilizada requiere intervenciones que integren componentes técnicos, operativos, administrativos y sociales. De igual manera, muestran una evolución progresiva hacia el empleo de metodologías estadísticas más robustas para evaluar la efectividad de dichas intervenciones. Sin embargo, en el contexto ecuatoriano aún son limitados los estudios que estiman el efecto de planes integrales mediante diseños cuasi experimentales y técnicas de inferencia estadística que permitan controlar la influencia de variables operativas y cuantificar la incertidumbre asociada a los resultados. En este escenario, la presente investigación busca contribuir con evidencia empírica que fortalezca la evaluación objetiva de las intervenciones implementadas por EMAPAG y apoye la toma de decisiones basada en información estadísticamente sustentada.

2.2. Marco Teórico

La problemática del agua no contabilizada (ANC) ha evolucionado en las últimas décadas desde un enfoque meramente operativo hacia un campo de estudio multidisciplinar, donde convergen la ingeniería hidráulica, la economía, la estadística aplicada y la gestión institucional. Este marco teórico busca organizar y fundamentar los conceptos centrales que guiarán la presente investigación.

2.2.1. Conceptualización del agua no contabilizada

La International Water Association (IWA) definió el agua no contabilizada (non-revenue water, NRW) como la diferencia entre el volumen de agua introducido en el sistema y el volumen facturado a los usuarios autorizados (Lambert y Hirner, 2000). Esta definición estándar ha permitido establecer comparaciones internacionales y orientar políticas públicas.

Para entender cómo se forma el agua no contabilizada es necesario partir del balance hídrico del sistema. Este balance compara el volumen de agua que ingresa a la red con los distintos usos y pérdidas que se presentan durante su distribución. De acuerdo con Lambert y Hirner (2000), el volumen de entrada al sistema se divide en consumo autorizado y pérdidas de agua. A su vez, el consumo autorizado puede ser facturado o no facturado, mientras que las pérdidas se clasifican en aparentes y reales.

Las pérdidas aparentes corresponden al agua que llega a ser utilizada, pero no queda registrada correctamente debido a errores de medición, fallas en los procesos de lectura o facturación y consumos no autorizados. Las pérdidas reales, en cambio, representan el agua que físicamente se pierde por fugas, roturas o desbordamientos en tuberías, conexiones y estructuras de almacenamiento. Por tanto, el agua no contabilizada está conformada por el consumo autorizado no facturado, las pérdidas aparentes y las pérdidas reales. Esta clasificación permite identificar con mayor claridad dónde se originan las pérdidas y qué tipo de acciones pueden aplicarse para reducirlas.

Tabla 2
Estructura simplificada del balance hídrico

Volumen de entrada al sistema	Componente	Desagregación
Volumen de entrada	Consumo autorizado	Consumo facturado

	Pérdidas de agua	Consumo autorizado no facturado Pérdidas aparentes Pérdidas reales

Nota. El agua no contabilizada está formada por el consumo autorizado no facturado, las pérdidas aparentes y las pérdidas reales. Adaptado de Lambert y Hirner (2000).

2.2.2. Modelos de gestión y control de ANC

La gestión del agua no contabilizada requiere combinar varias acciones, ya que sus causas pueden estar relacionadas tanto con pérdidas físicas como con problemas de medición y registro. Uno de los primeros pasos consiste en elaborar el balance hídrico, debido a que permite comparar el volumen de agua que ingresa al sistema con los consumos registrados y las pérdidas identificadas. A partir de esta información es posible reconocer qué componentes tienen mayor peso y orientar de mejor manera las acciones de control.

Otra estrategia utilizada es la sectorización hidráulica, que consiste en dividir la red de distribución en sectores o áreas que pueden ser controladas de manera independiente. Esta organización facilita el seguimiento de caudales y presiones y permite identificar con mayor precisión zonas donde pueden existir fugas. La sectorización también puede complementarse con la gestión de presiones, mediante la regulación de los niveles de presión de acuerdo con las condiciones de funcionamiento de cada sector. Un manejo adecuado de la presión puede contribuir a disminuir el volumen perdido por fugas y reducir la aparición de nuevas roturas en la red.

En el caso de las pérdidas aparentes, la gestión de los sistemas de medición también tiene un papel importante. El funcionamiento, selección, mantenimiento y reemplazo de los medidores influye directamente en la calidad de la información utilizada para registrar el consumo y calcular el agua no contabilizada. Por esta razón, Arregui et al. (2006) plantean que la gestión de los medidores debe considerarse como parte de la administración integral del servicio y no únicamente como una actividad de mantenimiento.

De manera complementaria, el uso de indicadores de desempeño permite dar seguimiento al comportamiento del sistema y comparar sus resultados en diferentes

períodos. Alegre et al. (2006) señalan que estos indicadores proporcionan una base organizada para evaluar aspectos operativos, técnicos y económicos de los servicios de agua. En conjunto, estas herramientas permiten que la gestión del ANC no se limite a identificar cuánto se pierde, sino que ayude a establecer dónde se presentan los principales problemas y qué acciones pueden aplicarse para atenderlos.

En la Tabla 3 se presenta un resumen comparativo de los principales enfoques.

Tabla 3
Enfoques de gestión del agua no contabilizada

Enfoque	Estrategia principal	Ventajas	Limitaciones
Balance hídrico	Comparación entre el volumen de entrada, los consumos autorizados y las pérdidas	Permite identificar y cuantificar los componentes del ANC de forma ordenada	Depende de la calidad y confiabilidad de los datos disponibles
Sectorización hidráulica y gestión de presiones	División de la red en sectores controlados y regulación de las presiones de servicio	Facilita la localización de pérdidas y puede disminuir fugas y roturas	Requiere infraestructura de control, medición y conocimiento hidráulico de la red
Gestión de la medición	Selección, mantenimiento, verificación y reemplazo de medidores	Mejora el registro del consumo y ayuda a disminuir las pérdidas aparentes	Requiere seguimiento periódico y renovación de los equipos de medición
Indicadores de desempeño	Seguimiento de indicadores técnicos, operativos y económicos	Facilita la comparación del comportamiento del sistema entre períodos y apoya la toma de decisiones	Su utilidad depende de que los indicadores se calculen de manera consistente y con información confiable

Nota. Elaboración propia con base en Lambert y Hirner (2000), Alegre et al. (2006), Arregui et al. (2006) y Gomes et al. (2014).

2.2.3. Rol del análisis estadístico

El análisis estadístico permite pasar de una descripción general del agua no contabilizada a una evaluación más ordenada de su comportamiento y de los cambios que se producen en el sistema. La selección del método depende de la información disponible

y del objetivo del estudio. Los estadísticos descriptivos permiten resumir variables como el porcentaje de ANC, la presión, el consumo o la antigüedad de la infraestructura, mientras que los métodos de inferencia permiten estimar diferencias, contrastar hipótesis y cuantificar la incertidumbre asociada a los resultados.

Cuando las mismas unidades de análisis son observadas en más de un momento, las mediciones obtenidas no deben considerarse independientes, debido a que corresponden a un mismo sector hidráulico. En este tipo de situaciones, el análisis estadístico debe considerar la dependencia existente entre las observaciones y la variabilidad propia de cada unidad. Este enfoque resulta pertinente en estudios con mediciones antes y después, ya que permite evaluar los cambios registrados en el tiempo sin perder de vista que ambas observaciones pertenecen al mismo sector.

Cuando el interés se centra en evaluar una intervención, la comparación entre grupos y momentos permite estimar si el cambio observado en el grupo intervenido es diferente del registrado en un grupo de comparación. Carrillo, Contreras y Scartascini (2021), por ejemplo, utilizaron información administrativa de EPMAPS en Quito para estimar mediante un enfoque de diferencias en diferencias el cambio en el consumo asociado con la instalación de medidores individuales. Asimismo, cuando se realizan mediciones repetidas sobre las mismas unidades, los modelos lineales mixtos permiten considerar la dependencia existente entre esas observaciones, incorporar la variabilidad entre unidades y evitar tratarlas como mediciones independientes (Fitzmaurice, Laird y Ware, 2011).

2.2.4. Fundamentos de la inferencia estadística para la evaluación de intervenciones

La inferencia estadística permite obtener conclusiones sobre una población utilizando la información proveniente de una muestra, incorporando la variabilidad propia de los datos y la incertidumbre inherente a todo proceso de estimación. A diferencia de la estadística descriptiva, cuyo propósito consiste en organizar y resumir la información disponible, la inferencia estadística proporciona herramientas para estimar parámetros, contrastar hipótesis y generar conclusiones sustentadas en evidencia empírica, lo que la convierte en un componente esencial de las investigaciones aplicadas (Montgomery et al., 2021).

Cuando una investigación tiene como finalidad evaluar la efectividad de un programa o de una intervención, el interés no se limita a identificar diferencias entre grupos o entre distintos momentos de observación. También resulta necesario determinar si esas diferencias pueden atribuirse realmente a la intervención implementada o si responden a la variabilidad natural del fenómeno analizado. En este sentido, la estimación de la magnitud del efecto y la cuantificación de la incertidumbre asociada adquieren un papel fundamental para respaldar la toma de decisiones basada en evidencia (Gelman et al., 2020).

En numerosos estudios desarrollados en escenarios reales no es posible asignar aleatoriamente las unidades de análisis a los grupos de comparación. Bajo estas condiciones, los diseños cuasi experimentales constituyen una alternativa metodológica ampliamente aceptada para evaluar intervenciones mediante la comparación de grupos previamente establecidos y mediciones efectuadas antes y después de la aplicación de una estrategia. Aunque este tipo de diseño presenta un menor control experimental que los estudios aleatorizados, permite obtener resultados válidos siempre que el análisis incorpore procedimientos estadísticos adecuados para controlar las diferencias iniciales existentes entre los grupos (Shadish et al., 2002).

Dentro de los diseños cuasi experimentales, el enfoque de diferencias en diferencias permite comparar el cambio de una variable entre un grupo que recibe una intervención y otro que sirve como comparación. Su lógica consiste en calcular primero el cambio observado entre el momento previo y posterior en cada grupo y, posteriormente, comparar ambos cambios. De esta manera, el efecto se expresa como la diferencia entre la variación observada en el grupo intervenido y la variación registrada en el grupo de comparación (Bertrand et al., 2004).

$$DiD = \left(ANC_{post,intervención} - ANC_{pre,intervención}\right) - \left(ANC_{post,comparación} - ANC_{pre,comparación}\right)$$

En un modelo de regresión, esta diferencia se representa mediante la interacción entre el grupo y el momento de evaluación.

La aplicación de este enfoque parte del supuesto de tendencias paralelas, según el cual, en ausencia de la intervención, ambos grupos habrían seguido una evolución similar en la variable de interés. Este supuesto no exige que los grupos tengan exactamente el

mismo nivel inicial, pero sí que sus trayectorias hubieran sido comparables sin la intervención. Cuando existen varios períodos previos, este supuesto puede examinarse observando el comportamiento de las tendencias antes del tratamiento. En estudios que cuentan con un solo momento previo, como ocurre en la presente investigación, no es posible comprobar empíricamente una tendencia anterior, por lo que esta condición debe reconocerse al momento de interpretar los resultados.

Los diseños cuasi experimentales también pueden verse afectados por amenazas a la validez interna. Entre ellas se encuentran la selección, cuando los grupos no se forman mediante asignación aleatoria; la regresión a la media, cuando unidades con valores inicialmente altos o bajos tienden posteriormente a acercarse a valores más habituales; la historia, cuando durante el período de estudio ocurren acontecimientos externos que pueden afectar de manera diferente a los grupos; y la instrumentación, cuando existen cambios en la forma de medir o registrar la información entre los momentos evaluados. Reconocer estas situaciones permite interpretar los resultados con mayor cautela y evita atribuir a la intervención cambios que también podrían estar relacionados con otros factores (Shadish et al., 2002).

Otro elemento que debe considerarse en la evaluación de intervenciones es la influencia de variables que pueden modificar el comportamiento de la variable de interés independientemente del tratamiento aplicado. En los sistemas de abastecimiento de agua potable, aspectos como la presión de servicio, el consumo, la antigüedad de la infraestructura y otras características operativas pueden incidir en los niveles de agua no contabilizada. Considerar estas covariables durante el análisis contribuye a mejorar la precisión de las estimaciones y a reducir posibles sesgos en la valoración del efecto de la intervención (Kutner et al., 2005).

En muchas investigaciones aplicadas, las mediciones se realizan sobre las mismas unidades de análisis en diferentes momentos del tiempo. Esta característica genera una dependencia entre las observaciones que no debe ignorarse durante el análisis, ya que puede afectar la precisión de las estimaciones y la validez de las conclusiones. Por esta razón, la literatura especializada recomienda utilizar procedimientos de inferencia estadística que contemplen explícitamente la estructura longitudinal de los datos, permitiendo obtener resultados más consistentes y representativos del comportamiento del fenómeno estudiado (Fitzmaurice et al., 2011; West et al., 2014).

La evolución de la investigación aplicada ha mostrado un cambio progresivo desde análisis basados exclusivamente en estadísticas descriptivas hacia metodologías de inferencia capaces de estimar el efecto de las intervenciones considerando simultáneamente la variabilidad de los datos, la influencia de variables operativas y la incertidumbre propia de toda estimación. Este enfoque proporciona una base más sólida para interpretar los resultados y fortalece la confiabilidad de las conclusiones obtenidas.

En concordancia con estos fundamentos, la presente investigación adopta un enfoque de inferencia estadística para evaluar la efectividad del plan integral de reducción de pérdidas de agua no contabilizada implementado por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda. La aplicación de este enfoque permitirá estimar el efecto de la intervención considerando las características propias de los sectores evaluados, la influencia de variables operativas relevantes y la variabilidad inherente al sistema, con el propósito de generar evidencia estadísticamente sustentada que contribuya a fortalecer la gestión institucional y el proceso de toma de decisiones.

2.2.5. Dimensión socioeconómica y ambiental

El agua no contabilizada también tiene consecuencias económicas, sociales y ambientales. Desde el punto de vista económico, una parte del agua producida genera costos de captación, tratamiento y distribución, pero no se convierte en ingresos para la empresa cuando se pierde físicamente o no puede ser facturada. En Perú, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS, 2025) estimó que, durante el período 2014–2024, las empresas prestadoras dejaron de recaudar alrededor de S/ 1.885,9 millones asociados al agua no facturada. El mismo análisis señala que los altos niveles de pérdidas afectan la sostenibilidad financiera y la eficiencia operativa de las empresas prestadoras. Gobierno del Perú

En el ámbito social, reducir las pérdidas permite aprovechar mejor el agua ya disponible y puede contribuir a mejorar la prestación del servicio sin depender únicamente de nuevas fuentes de abastecimiento. Una experiencia cercana se encuentra en Manta, Ecuador, donde un proyecto de mejoramiento de los servicios de agua y saneamiento redujo el agua no contabilizada de aproximadamente 50 % a 30 % y permitió ampliar el acceso a agua por tubería a más de 6.000 hogares. Esta experiencia muestra que las acciones dirigidas a mejorar la eficiencia de la red pueden estar relacionadas tanto

con el desempeño de la empresa como con mejoras en el servicio recibido por la población. Banco Mundial

Desde la dimensión ambiental, las pérdidas implican captar, tratar y bombear volúmenes de agua que finalmente no son aprovechados de manera efectiva. Por ello, su reducción puede disminuir la presión sobre las fuentes de abastecimiento y el consumo de energía asociado a la producción y distribución del agua. El Banco Mundial señala que una mejor gestión del agua no contabilizada puede contribuir a reducir el consumo energético, mejorar la resiliencia de los sistemas y aprovechar de forma más eficiente los recursos hídricos existentes. World Bank Blogs

En conjunto, estas dimensiones muestran que la reducción del ANC no constituye únicamente una acción técnica sobre la red, sino que también puede aportar a la sostenibilidad financiera de las empresas, al mejoramiento del servicio y al uso más eficiente del recurso hídrico. En este sentido, su gestión se relaciona con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6, orientado a garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento.

2.2.6. Gobernanza y políticas públicas

La reducción del agua no contabilizada no depende únicamente de las condiciones técnicas de la red. También requiere una gestión institucional que permita mantener las acciones en el tiempo, contar con información confiable y coordinar la planificación, el control y las inversiones. En este sentido, la gobernanza influye en la capacidad de las empresas prestadoras para identificar problemas, establecer prioridades y dar seguimiento a los resultados obtenidos.

En Argentina, la OECD (2019) identificó como aspectos relevantes para mejorar la gestión de los servicios de agua el fortalecimiento de la coordinación institucional, la planificación de las inversiones y la regulación. El informe señala que una gestión fragmentada o con dificultades de coordinación puede limitar la eficiencia de los servicios, mientras que una planificación más estable y sustentada en información facilita la toma de decisiones y el seguimiento de las acciones implementadas.

En Ecuador, la Agencia de Regulación y Control del Agua utiliza indicadores para evaluar el desempeño de los prestadores de agua potable y saneamiento, entre ellos el agua no contabilizada. Los reportes institucionales permiten comparar el comportamiento

de los prestadores y muestran la importancia de disponer de registros consistentes para identificar problemas y orientar acciones de mejora (ARCA, 2025). Desde esta perspectiva, la evaluación estadística de las intervenciones puede complementar la gestión institucional al proporcionar evidencia sobre los cambios observados después de aplicar medidas dirigidas a reducir las pérdidas.

2.2.7. Síntesis crítica

La revisión teórica evidencia que el agua no contabilizada constituye un fenómeno multidimensional cuya evaluación requiere integrar aspectos técnicos, operativos, administrativos, sociales y ambientales. Asimismo, muestra una evolución metodológica hacia el empleo de herramientas de inferencia estadística que permiten estimar con mayor precisión el efecto de las intervenciones implementadas en los sistemas de abastecimiento de agua potable.

En este contexto, la presente investigación adopta este enfoque metodológico con el propósito de:

1. Caracterizar el comportamiento del agua no contabilizada y de las principales variables operativas del sistema.
2. Estimar el efecto del plan integral de reducción de pérdidas considerando la variabilidad propia de los sectores evaluados.
3. Generar evidencia estadísticamente sustentada para fortalecer la toma de decisiones institucionales.
4. Proporcionar una metodología de análisis susceptible de ser aplicada en otras empresas prestadoras del servicio de agua potable con características similares.

De esta manera, la investigación se articula con los avances recientes en evaluación de intervenciones mediante métodos de inferencia estadística y contribuye al fortalecimiento de la gestión eficiente y sostenible del recurso hídrico.

2.3. Marco Legal

El marco legal que sustenta esta investigación está conformado por normas y documentos de alcance internacional, nacional y local que orientan la gestión eficiente y sostenible del recurso hídrico. En conjunto, estos instrumentos establecen lineamientos para el control de las pérdidas de agua en los sistemas de distribución y reconocen la

importancia de garantizar el acceso al agua potable bajo principios de eficiencia, sostenibilidad y equidad.

2.3.1. Normativa internacional

En el ámbito internacional, el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 de la Agenda 2030 plantea garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todas las personas (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2021). Dentro de este objetivo, la reducción de pérdidas en los sistemas de distribución constituye un componente relevante para mejorar la eficiencia operativa y promover un uso sostenible del recurso hídrico.

Por su parte, la International Water Association (IWA) desarrolló lineamientos técnicos que actualmente constituyen un referente internacional para la cuantificación y gestión del agua no contabilizada (Lambert y Hirner, 2000). Estas directrices han sido adoptadas como buenas prácticas por organismos internacionales, entre ellos el Banco Mundial (Kingdom et al., 2020), que impulsa programas orientados al fortalecimiento de la eficiencia hídrica, especialmente en países en desarrollo.

2.3.2. Normativa nacional

En Ecuador, la Constitución de la República (2008) reconoce al agua como un derecho humano fundamental y establece que su gestión debe realizarse bajo responsabilidad pública o comunitaria, priorizando el acceso equitativo de la población y la conservación del recurso (Art. 12 y 318).

En concordancia con este principio, la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (Asamblea Nacional, 2014) dispone que las entidades prestadoras del servicio deben mantener registros técnicos del balance hídrico, implementar programas orientados a la reducción de pérdidas y garantizar una prestación eficiente del servicio. Asimismo, su reglamento establece la necesidad de contar con sistemas de medición confiables y reportar periódicamente indicadores relacionados con la eficiencia operativa.

De igual manera, el Código Orgánico del Ambiente (2017) promueve el uso responsable y sostenible del agua, incorporando disposiciones para prevenir la contaminación y el desperdicio del recurso. Como complemento, el Plan de Creación de

Oportunidades 2021–2025, correspondiente al Plan Nacional de Desarrollo de ese período, incorpora lineamientos relacionados con la prestación eficiente de los servicios públicos y la gestión sostenible de los recursos naturales (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

2.3.3. Normativa local y sectorial

En el ámbito local, la Ordenanza de Creación de la E-P. Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, aprobada el 17 de agosto de 2010 y publicada en el Registro Oficial No. 69 del 3 de septiembre de 2010, establece como objetivo de la empresa la prestación de los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y saneamiento ambiental en el cantón Guaranda. Dentro de sus atribuciones se encuentran la operación, mantenimiento, control y supervisión de los sistemas de producción y distribución de agua potable (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guaranda, 2010).

Por otra parte, la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA) es la entidad encargada de supervisar y evaluar los indicadores de gestión de las empresas prestadoras de los servicios de agua potable y saneamiento en el país. Dentro de estos indicadores, el control del agua no contabilizada constituye uno de los principales parámetros utilizados para valorar el desempeño técnico y operativo de las empresas del sector.

2.3.4. Síntesis legal

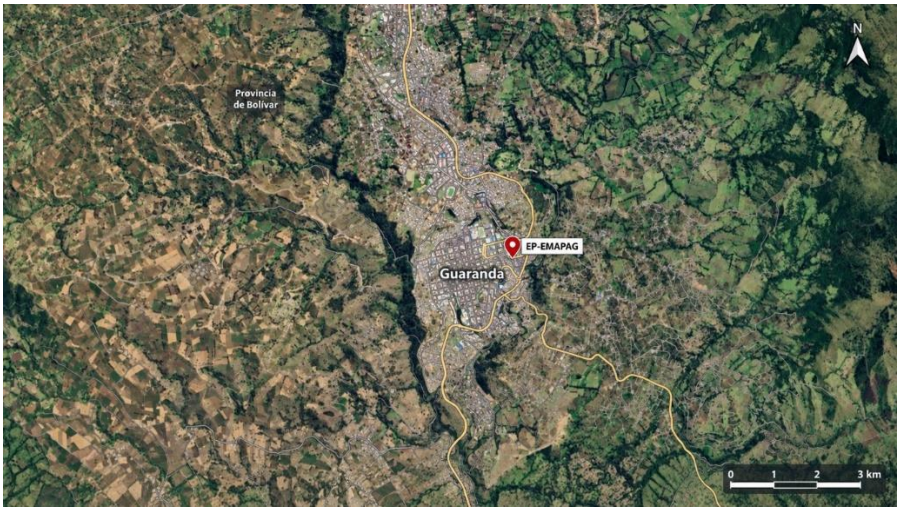
En conjunto, el marco normativo evidencia que la reducción del agua no contabilizada trasciende el ámbito técnico y constituye una responsabilidad respaldada por instrumentos internacionales y por la legislación ecuatoriana vigente. En este contexto, la investigación desarrollada en EMAPAG encuentra sustento jurídico en disposiciones que promueven la eficiencia en la gestión del recurso hídrico, el fortalecimiento de la prestación de los servicios públicos y la implementación de acciones orientadas a disminuir las pérdidas de agua. Estos elementos proporcionan un fundamento legal sólido que respalda el desarrollo de la presente investigación.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA

3.1.Descripción del área de estudio/Grupo de estudio

La presente investigación se desarrolló en la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (EP-EMAPAG), ubicada en el cantón Guaranda, provincia de Bolívar, Ecuador. La ubicación de la institución y del área general donde se desarrolló la investigación se presenta en la Figura 1.

Figura 1
Ubicación de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, cantón Guaranda, provincia de Bolívar



Nota. Ubicación geográfica de la matriz de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (EP-EMAPAG), cantón Guaranda, provincia de Bolívar. Adaptado de Google Maps (2026).

El cantón Guaranda se encuentra en la provincia de Bolívar, en la región interandina del Ecuador. De acuerdo con los resultados del Censo de Población y Vivienda 2022, el cantón registró una población de 98.130 habitantes (INEC, 2022).

La infraestructura administrada por EP-EMAPAG comprende los componentes necesarios para la captación, tratamiento, almacenamiento y distribución de agua potable. En los diez sectores hidráulicos incluidos en la investigación, los registros institucionales identificados como “Antes”, correspondientes a julio de 2025, reportaron 124.900 m³ de agua producida, 74.657 m³ de agua facturada y 50.243 m³ de agua no contabilizada,

equivalente al 40,23 %. Estos valores constituyeron la referencia inicial para evaluar los cambios registrados posteriormente en los sectores estudiados.

El grupo de estudio estuvo constituido por diez sectores hidráulicos de la red de distribución urbana de EMAPAG. De ellos, cinco correspondieron al grupo intervenido y cinco al grupo de comparación. Cada sector hidráulico constituyó la unidad de análisis. Para el estudio se utilizaron los registros institucionales identificados como "Antes", correspondientes a julio de 2025, y "Después", correspondientes a diciembre de 2025. Estos valores corresponden a registros mensuales disponibles para cada sector y no necesariamente a mediciones realizadas en una única fecha.

Tabla 4

Caracterización de los sectores hidráulicos en el momento "Antes"

Código	Sector hidráulico	Grupo	ANC (%)	Presión (m.c.a.)	Antigüedad de la red (años)	Consumo (m^3)
S1	Alpachaca	Intervenido	42	48	25	32
S2	Nuevo Guanujo	Intervenido	40	50	20	30
S3	Primero de Mayo	Intervenido	45	52	30	35
S4	Humberdina Coloma	Intervenido	43	49	22	33
S5	Román Norte	Intervenido	41	47	18	29
S6	Juán XXIII	Comparación	39	45	21	31
S7	El Cortijo	Comparación	37	44	19	28
S8	Cuidadela Las Colinas	Comparación	38	46	23	32
S9	Marcopamba	Comparación	36	43	17	27
S10	Villa Nueva	Comparación	40	47	24	34

Nota. Los valores corresponden al registro institucional identificado como "Antes", correspondiente a julio de 2025. Elaboración propia a partir de los registros técnicos, operativos y comerciales proporcionados por EP-EMAPAG.

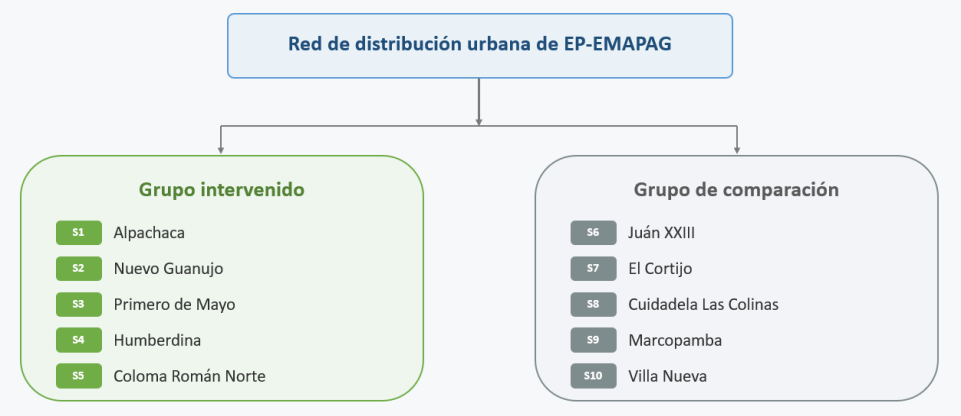
Los sectores no fueron asignados de manera aleatoria a los grupos, ya que su selección respondió a la planificación de EP-EMAPAG y a la disponibilidad de información para los momentos "Antes" y "Después". Los sectores de comparación permitieron observar qué ocurrió durante el mismo período en zonas donde no se aplicó el plan. Desde el inicio se encontraron algunas diferencias entre los grupos, tanto en las condiciones operativas como en el nivel de ANC. Por esta razón, no se asumió que los

sectores fueran iguales al inicio, sino que podían ser comparados a partir de los cambios observados entre los dos momentos. Estas diferencias fueron consideradas posteriormente en el análisis y en la interpretación de los resultados.

La conformación de los sectores hidráulicos en los grupos intervenido y de comparación se presenta de manera esquemática en la Figura 2.

Figura 2

Esquema de conformación de los sectores hidráulicos incluidos en el estudio



Nota. El esquema representa la conformación de los grupos de estudio y no la ubicación geográfica de los sectores. Elaboración propia a partir de los registros institucionales de EP-EMAPAG.

El plan integral fue ejecutado por EP-EMAPAG durante julio de 2025 en los cinco sectores intervenidos. De acuerdo con la documentación institucional disponible, las acciones incluyeron trabajos de sectorización de la red, instalación y mantenimiento de válvulas, identificación y reparación de fugas y daños, revisión y reemplazo de micromedidores, instalación de macromedidores y comprobaciones de caudal y presión en la red. Estas actividades estuvieron a cargo de la empresa como parte de su gestión operativa para reducir las pérdidas de agua. Los registros disponibles para esta investigación no presentan cantidades desagregadas por tipo de intervención y sector, por lo que no se incorporaron cifras que no pudieran ser verificadas.

La población de interés corresponde a los usuarios abastecidos por el sistema de agua potable de EMAPAG. Sin embargo, debido a que la investigación se fundamenta en el análisis de registros operativos institucionales, la información utilizada provino de la totalidad de los registros disponibles para los diez sectores hidráulicos seleccionados. Estos registros incluyen datos de macro y micromedición, caudales producidos, consumos

facturados, presiones de servicio, antigüedad de la infraestructura y reportes de fugas, conformando la base de datos para el análisis estadístico. En consecuencia, el estudio no requirió un procedimiento de muestreo, ya que utilizó la totalidad de la información correspondiente a las unidades de análisis incluidas en la investigación.

La selección de EMAPAG como área de estudio responde a la relevancia técnica, económica, social y ambiental que representa la reducción del agua no contabilizada para la gestión institucional. Asimismo, la disponibilidad de información histórica y operativa permite evaluar, mediante técnicas de inferencia estadística, el efecto de las intervenciones implementadas, generando evidencia que contribuya al fortalecimiento de la planificación, la optimización de los recursos y la toma de decisiones para una gestión más eficiente del recurso hídrico.

3.2.Enfoque y tipo de investigación

3.2.1. Enfoque de investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, debido a que tuvo como propósito evaluar el efecto de un plan integral de reducción del agua no contabilizada mediante el análisis de información numérica proveniente de los registros operativos de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (EMAPAG).

El enfoque cuantitativo se fundamenta en la recolección, organización y análisis de datos numéricos con el propósito de describir fenómenos, contrastar hipótesis y generar inferencias sustentadas en evidencia empírica (Hernández et al., 2014). En este estudio se analizaron registros correspondientes a los niveles de agua no contabilizada, caudales producidos, consumos facturados, presiones de servicio, antigüedad de la infraestructura y otras variables operativas, obtenidos antes y después de la implementación del plan integral de reducción de pérdidas.

La aplicación de este enfoque permitió:

- Cuantificar las variaciones en los niveles de agua no contabilizada entre los grupos intervenido y de comparación.
- Estimar el efecto de la intervención a partir de la comparación de los cambios observados entre los grupos y momentos de evaluación.

- Generar evidencia estadística que contribuya a la evaluación de la efectividad del plan integral y apoye la toma de decisiones para la gestión del recurso hídrico.

De acuerdo con Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), el enfoque cuantitativo resulta apropiado cuando la investigación busca evaluar objetivamente fenómenos mediante procedimientos estadísticos que permitan contrastar hipótesis y sustentar conclusiones a partir de datos observables, características que corresponden al presente estudio.

3.2.2. Tipo de investigación

La investigación corresponde a un diseño cuasi experimental, con un alcance explicativo, orientado a evaluar el efecto del plan integral de reducción del agua no contabilizada implementado por EMAPAG.

Diseño cuasi experimental de diferencias en diferencias.

La investigación utilizó sectores hidráulicos previamente clasificados en un grupo intervenido y un grupo de comparación, sin asignación aleatoria de las unidades de análisis (Campbell y Stanley, 1963). La conformación de los grupos respondió a criterios considerados por EMAPAG relacionados con la disponibilidad de información histórica, las características operativas de la red y la planificación institucional para la ejecución del plan. Ambos grupos fueron evaluados en un momento identificado como “Antes” y otro como “Después”. El efecto de la intervención se estimó comparando el cambio observado en el porcentaje de agua no contabilizada del grupo intervenido con el cambio registrado en el grupo de comparación. En el modelo estadístico, este efecto se estimó mediante la interacción entre el grupo y el momento de evaluación (Bertrand et al., 2004).

Alcance explicativo.

El estudio busca determinar en qué medida la implementación del plan integral de reducción de pérdidas se relaciona con los cambios observados en los niveles de agua no contabilizada de los sectores evaluados. Debido a que la investigación se desarrolla con diez sectores hidráulicos y sin asignación aleatoria, la interpretación del efecto se realiza considerando estas limitaciones y evitando una atribución causal absoluta.

En consecuencia, el diseño metodológico permitió responder a la pregunta central de investigación relacionada con el efecto del plan integral de reducción del agua no

contabilizada sobre los indicadores de desempeño del sistema de distribución de EMAPAG.

3.2.3. Justificación metodológica

La adopción de un enfoque cuantitativo y de un diseño cuasi experimental respondió a la necesidad de evaluar objetivamente la efectividad del plan integral de reducción del agua no contabilizada mediante procedimientos de inferencia estadística aplicados a información operativa proveniente de EMAPAG.

La utilización de un grupo intervenido y un grupo de comparación, junto con mediciones realizadas antes y después de la implementación del plan, permite comparar los cambios observados en ambos grupos bajo condiciones reales de operación. Sin embargo, al tratarse de un diseño sin asignación aleatoria, no es posible descartar completamente la influencia de factores externos sobre los resultados.

Entre las principales amenazas a la validez interna se consideraron la selección no aleatoria de los sectores, la posible regresión a la media debido a las diferencias existentes entre los grupos al inicio del estudio, la ocurrencia de acontecimientos externos durante el período analizado y posibles cambios en los procesos de medición o registro. Para reducir estas limitaciones, el análisis comparó el cambio entre grupos mediante diferencias en diferencias y utilizó adicionalmente un ANCOVA ajustado por el valor basal del ANC. No obstante, estas condiciones deben considerarse al interpretar el efecto estimado.

Asimismo, la caracterización de variables operativas permitió contextualizar el comportamiento del sistema, mientras que el análisis inferencial se centró en estimar el efecto de la intervención mediante un Modelo Lineal Mixto (LMM) y un Análisis de Covarianza ajustado por el valor basal del agua no contabilizada. Este enfoque metodológico resulta consistente con investigaciones recientes orientadas a evaluar programas de reducción del agua no contabilizada mediante técnicas de análisis estadístico aplicadas a registros operativos (Arregui et al., 2021; Ortiz y Herrera, 2022).

En conjunto, la metodología propuesta permitió generar evidencia empírica sólida sobre la efectividad del plan integral de reducción de pérdidas, proporcionando información útil para respaldar la toma de decisiones y la planificación de estrategias orientadas al fortalecimiento de la gestión del recurso hídrico.

3.3.Definición y operacionalización de variables

Variable independiente (VI):

Plan integral de reducción del agua no contabilizada, entendido como el conjunto de intervenciones técnicas y administrativas implementadas por EMAPAG para disminuir las pérdidas de agua en la red de distribución. Para efectos del análisis estadístico, esta variable se operacionaliza mediante la condición de intervención de cada sector hidráulico (grupo intervenido y grupo de comparación) y el momento de evaluación (antes y después de la implementación del plan).

Variable dependiente (VD):

Nivel de Agua No Contabilizada (ANC), expresado como la diferencia entre el volumen de agua producida y el volumen de agua facturada en cada sector hidráulico durante un período mensual de registro. Para cada sector se utilizaron dos períodos institucionales: "Antes", correspondiente a julio de 2025, y "Después", correspondiente a diciembre de 2025. El ANC en volumen se obtuvo restando el agua facturada del agua producida, mientras que el porcentaje de ANC se calculó dividiendo esta diferencia para el volumen producido y multiplicando el resultado por 100.

$$ANC(\%) = \left(\frac{V_{producida} - V_{facturada}}{V_{producida}}\right) \times 100$$

La investigación utilizó los valores mensuales de producción y facturación tal como constan en los registros institucionales proporcionados por EP-EMAPAG. No se aplicó un ajuste adicional por desfase de facturación, debido a que la documentación institucional disponible no reporta un factor o procedimiento específico de corrección temporal para este componente.

Tabla 5
Operacionalización de las variables del estudio

Variable	Dimensión	Indicador	Técnica de recolección	Instrumento	Escala de medición
Plan integral de reducción del ANC (VI)	Condición de intervención	Grupo (0 = comparación ; 1 = intervención)	Revisión documental	Registros técnicos de EMAPAG	Nominal dicotómica

	Momento de evaluación	Tiempo (0 = antes; 1 = después)	Revisión documental	Registros técnicos de EMAPAG	Nominal dicotómica
Nivel de Agua No Contabilizada (VD)	Eficiencia del sistema	ANC (%)	Análisis de registros operativos	Balance hídrico institucional	Razón
Covariable (ANCOVA)	Condición inicial	ANC previo a la intervención (%)	Análisis de registros operativos	Balance hídrico institucional	Razón
Efecto aleatorio (LMM)	Unidad de análisis	Sector hidráulico	Revisión documental	Registros técnicos de EMAPAG	Nominal

Nota. Elaboración propia con base en Hernández et al. (2014), Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) y Lambert y Hirner (2000).

La Tabla 5 presenta la operacionalización de las variables consideradas en la investigación, especificando sus dimensiones, indicadores, técnicas e instrumentos de recolección, así como las escalas de medición que servirán de base para el análisis estadístico. Además de las variables de estudio, se incorpora la covariable utilizada en el análisis de covarianza (ANCOVA) y el efecto aleatorio considerado en el Modelo Lineal Mixto (LMM), en concordancia con la estrategia metodológica adoptada para evaluar el efecto del plan integral de reducción del agua no contabilizada.

3.4.Procedimiento metodológico

El procedimiento metodológico de la investigación se desarrolló mediante cinco fases secuenciales, estructuradas en función de los objetivos específicos planteados y orientadas a garantizar la obtención de información confiable para evaluar el efecto del plan integral de reducción del agua no contabilizada implementado por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (EMAPAG). Cada fase comprendió actividades relacionadas con la identificación de las unidades de análisis, la recopilación y organización de los registros institucionales, la documentación de la intervención ejecutada por EP-EMAPAG y la preparación de los datos para su análisis estadístico.

Fase 1. Identificación de las unidades de análisis

En la primera fase se identificaron los diez sectores hidráulicos incluidos en el estudio, cinco correspondientes al grupo intervenido y cinco al grupo de comparación. La conformación de los grupos respondió a criterios considerados por EMAPAG relacionados con la disponibilidad de información histórica, las características operativas de la red y la planificación institucional. También se verificó que los sectores dispusieran de registros para los momentos "Antes" y "Después", necesarios para realizar la comparación entre grupos y momentos.

Fase 2. Consolidación de la información del momento "Antes"

En esta fase se organizaron los registros institucionales correspondientes al momento "Antes", identificado como julio de 2025. Para cada sector se consideró la información disponible sobre agua producida, agua facturada, porcentaje de agua no contabilizada, presión de servicio, antigüedad de la infraestructura y consumo. Estos registros se utilizaron como referencia inicial para caracterizar las condiciones de los sectores y compararlas posteriormente con la información correspondiente al momento "Después".

Fase 3. Implementación del plan integral de reducción del agua no contabilizada

En esta fase se identificaron y organizaron los registros institucionales correspondientes a las acciones ejecutadas por EP-EMAPAG durante julio de 2025 en los sectores intervenidos. La empresa fue responsable de la ejecución del plan, mientras que la investigación tuvo un carácter ex post y se centró en el análisis de los registros técnicos, operativos y comerciales generados durante el proceso. De acuerdo con la documentación disponible, las acciones incluyeron trabajos de sectorización de la red, instalación y mantenimiento de válvulas, identificación y reparación de fugas y daños, revisión y reemplazo de micromedidores, instalación de macromedidores y comprobaciones de caudal y presión. Esta información se utilizó para contextualizar la intervención posteriormente evaluada mediante el análisis estadístico.

Fase 4. Consolidación de la información del momento "Después"

Se consolidaron los registros institucionales correspondientes al momento "Después", identificado como diciembre de 2025, tanto para los sectores intervenidos como para los sectores de comparación. En esta etapa se organizaron los datos de agua no contabilizada, presión de servicio, consumo de agua y las demás variables disponibles para el estudio, de manera que pudieran compararse con los registros del momento "Antes".

Fase 5. Preparación de la base de datos

En la fase final se integró la información en una base de datos única para su procesamiento estadístico. Se realizó la codificación de las variables, la verificación de la consistencia de los registros, la identificación de datos faltantes y la revisión de posibles valores atípicos. Posteriormente, la base se estructuró en formato longitudinal para su procesamiento en R, con dos registros por sector correspondientes a los momentos "Antes" y "Después".

3.5.Plan de análisis estadístico

El análisis estadístico se desarrolló de forma secuencial, iniciando con la preparación y exploración de la base de datos, seguido del análisis descriptivo, la evaluación de los supuestos estadísticos y la aplicación de los modelos inferenciales utilizados para estimar el efecto del plan integral de reducción del agua no contabilizada implementado por EP-EMAPAG. Esta secuencia permitió organizar y verificar la información antes de estimar el efecto de la intervención e interpretar los resultados obtenidos.

3.5.1. Preparación y exploración de los datos

La información se integró en una base de datos estructurada en formato longitudinal, de manera que cada sector hidráulico dispusiera de dos registros correspondientes a los momentos "Antes" y "Después". La base incluyó la identificación de cada sector, la clasificación según el grupo de estudio, el momento de evaluación y las variables definidas en la operacionalización de la investigación.

Como etapa previa al análisis estadístico, se verificó la estructura y consistencia de la base de datos. Se comprobó que estuvieran presentes las variables requeridas para

el análisis, que no existieran valores faltantes y que cada sector hidráulico contara con exactamente dos registros, correspondientes a los momentos “Antes” y “Después”.

Posteriormente, se realizó una exploración descriptiva de la información mediante medidas de tendencia central, dispersión y representaciones gráficas del porcentaje de agua no contabilizada. Esta revisión permitió observar la distribución de los datos, comparar el comportamiento de los grupos y detectar posibles patrones antes del ajuste de los modelos inferenciales.

Con estas verificaciones se dispuso de una base estructurada y consistente para la aplicación del Modelo Lineal Mixto, la ANCOVA y los análisis complementarios establecidos en la investigación.

3.5.2. Análisis estadístico descriptivo

Una vez concluida la preparación de la base de datos, se realizó un análisis estadístico descriptivo para caracterizar el comportamiento del porcentaje de agua no contabilizada y de las variables operativas consideradas en el estudio.

Para el porcentaje de ANC se calcularon la media, mediana, desviación estándar, valores mínimo y máximo e intervalos de confianza del 95 %, diferenciados según el grupo de estudio y el momento de evaluación. Esta organización permitió comparar descriptivamente el comportamiento del ANC entre los sectores intervenidos y de comparación en los momentos “Antes” y “Después”.

La presión de servicio, la antigüedad de la infraestructura y el consumo de agua se resumieron mediante medias y desviaciones estándar por grupo y momento. Estas variables se utilizaron con fines de caracterización y contextualización de las condiciones operativas de los sectores, sin incorporarlas como covariables del Modelo Lineal Mixto principal.

Como complemento del análisis descriptivo se utilizaron representaciones gráficas para visualizar el comportamiento del ANC entre los grupos y momentos de evaluación, así como su distribución. Estas representaciones se emplearon como apoyo para la interpretación de los resultados y no sustituyeron los análisis inferenciales posteriores.

3.5.3. Verificación de los supuestos estadísticos

Antes de interpretar los modelos inferenciales se evaluaron los principales supuestos estadísticos de acuerdo con las características de cada procedimiento. Para el Modelo Lineal Mixto se examinó la distribución del ANC por grupo y momento y, posteriormente, la normalidad de los residuos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la inspección del gráfico Q-Q. También se evaluó la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene.

La evaluación de los residuos se complementó con el gráfico de residuos frente a valores ajustados, con el propósito de identificar posibles patrones, valores extremos o desviaciones respecto del comportamiento esperado. Debido a que la prueba de Shapiro-Wilk aplicada a los residuos del Modelo Lineal Mixto evidenció una desviación de normalidad, la interpretación del efecto principal se complementó con un análisis de sensibilidad mediante una prueba exacta de permutación aplicada al cambio del ANC por sector.

Para la ANCOVA se examinó gráficamente la relación entre el ANC inicial y el ANC posterior diferenciada por grupo. La homogeneidad de las pendientes se evaluó mediante la interacción entre el grupo y el ANC inicial, mientras que la normalidad de los residuos se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene.

Finalmente, la dependencia entre las mediciones realizadas en un mismo sector se consideró mediante la inclusión del sector hidráulico como efecto aleatorio en el Modelo Lineal Mixto. De esta forma, la evaluación de los supuestos y los análisis complementarios permitieron interpretar los resultados considerando las características y limitaciones de los datos disponibles.

3.5.4. Modelo Lineal Mixto (LMM)

Con el propósito de estimar el efecto del plan integral de reducción del agua no contabilizada sobre el porcentaje de ANC, se empleó un Modelo Lineal Mixto (Linear Mixed Model, LMM). Este modelo permitió considerar las mediciones repetidas realizadas en los mismos sectores hidráulicos e incorporar tanto los efectos fijos de interés como la variabilidad existente entre los sectores.

La elección del modelo respondió a las características del diseño cuasi experimental, en el que cada sector hidráulico contó con dos mediciones, correspondientes a los momentos “Antes” y “Después”. Debido a que ambas observaciones pertenecen al mismo sector, no se consideraron independientes entre sí, por lo que se incorporó un intercepto aleatorio para el sector hidráulico.

La variable respuesta fue el porcentaje de agua no contabilizada. Como efectos fijos se incluyeron el grupo de estudio, el momento de evaluación y la interacción entre ambos factores. La interacción grupo por momento constituyó el parámetro principal de interés, debido a que representa la diferencia entre el cambio observado en los sectores intervenidos y el cambio registrado en los sectores de comparación.

Las variables operativas correspondientes a la presión de servicio, la antigüedad de la infraestructura y el consumo de agua se analizaron de forma descriptiva mediante medias y desviaciones estándar, diferenciadas por grupo y momento de evaluación. Estas variables se utilizaron para caracterizar las condiciones operativas de los sectores y contextualizar los resultados del ANC, pero no se incorporaron como covariables del Modelo Lineal Mixto principal.

Considerando las características del diseño cuasi experimental, el número de unidades de análisis disponibles y el principio de parsimonia, el modelo inferencial principal se centró en los efectos del grupo, el momento de evaluación y la interacción entre ambos factores. De esta manera, se mantuvo una especificación acorde con el objetivo principal del estudio y con el número de sectores disponibles.

El número de unidades de análisis no se definió mediante un cálculo muestral o de potencia a priori, debido a que se trabajó con la totalidad de los diez sectores hidráulicos que contaban con la información requerida para el estudio, cinco intervenidos y cinco de comparación. Por tanto, el tamaño del estudio estuvo determinado por la disponibilidad de las unidades operativas incluidas en la evaluación. Esta cantidad limitada de sectores reduce la capacidad para detectar efectos pequeños y exige interpretar las estimaciones con cautela, considerando conjuntamente la magnitud del efecto, los intervalos de confianza y los análisis de sensibilidad.

Como efecto aleatorio se considerará el sector hidráulico, permitiendo modelar la heterogeneidad existente entre los diferentes sectores evaluados y representar

adecuadamente la correlación generada por las mediciones repetidas efectuadas en cada uno de ellos.

De forma general, el modelo se expresa mediante la siguiente formulación:

$$ANC_{ij} = \beta_0 + \beta_1 Grupo_i + \beta_2 Momento_j + \beta_{3(Grupo_i \times Momento_j)} + b_i + \varepsilon_{ij}$$

donde:

- ANC_{ij} : porcentaje de agua no contabilizada del sector i en el momento j.
- β_0 : intercepto del modelo.
- $\beta_1, \beta_2 \; y \; \beta_3$: coeficientes asociados a los efectos fijos del grupo, del momento de evaluación y de la interacción entre ambos factores.
- b_i : efecto aleatorio correspondiente al sector hidráulico.
- ε_{ij} : término de error residual.

Los parámetros del modelo se estimaron mediante Máxima Verosimilitud Restringida (Restricted Maximum Likelihood, REML). Además de los efectos fijos, se estimaron la varianza entre sectores y la varianza residual, a partir de las cuales se calculó el coeficiente de correlación intraclase (ICC) como medida de la proporción de variabilidad atribuible a las diferencias entre sectores.

La interpretación del modelo se centró en la magnitud, dirección, significancia estadística e intervalo de confianza del 95 % de los coeficientes estimados, con especial atención al término de interacción entre el grupo y el momento de evaluación, por constituir la estimación principal del efecto diferencial de la intervención.

3.5.5. Análisis de Covarianza (ANCOVA)

Con el propósito de complementar el análisis principal realizado mediante el Modelo Lineal Mixto, se aplicó un Análisis de Covarianza (ANCOVA). Este procedimiento permitió comparar el porcentaje de agua no contabilizada correspondiente al momento "Después" entre los grupos intervenido y de comparación, ajustando estadísticamente las diferencias existentes en el ANC del momento "Antes".

La ANCOVA combina elementos del análisis de varianza y de la regresión lineal, permitiendo comparar medias entre grupos mientras se controla el efecto de una covariable cuantitativa. En esta investigación, su aplicación tuvo un carácter

complementario y se utilizó para valorar si la diferencia entre los grupos en el momento "Después" se mantenía después de considerar el ANC inicial.

La variable dependiente fue el porcentaje de ANC del momento "Después"; el grupo de estudio constituyó el factor y el porcentaje de ANC del momento "Antes" se incorporó como covariable. A diferencia de la interacción grupo por momento del Modelo Lineal Mixto, que representa la diferencia de diferencias, la ANCOVA estimó la diferencia ajustada entre los grupos en el momento "Después".

El modelo podrá expresarse de forma general mediante la siguiente ecuación:

$$ANC_{Después,i} = \alpha + \beta_1 Grupo_i + \beta_2 ANC_{Antes,i} + \varepsilon_i$$

donde:

- $ANC_{Después,_i}$: porcentaje de ANC del sector *i* en el momento "Después".
- $Grupo_i$: grupo al que pertenece el sector *i* (intervenido o comparación).
- $ANC_{Antes,_i}$: porcentaje de ANC del sector i en el momento "Antes".
- α: intercepto del modelo.
- β_1 : coeficiente correspondiente a la diferencia ajustada entre los grupos.
- β_2 : coeficiente asociado al ANC del momento "Antes".
- ε_i: término de error residual del sector *i*.

Antes de estimar el modelo se verificaron los principales supuestos de la ANCOVA. La relación entre el ANC inicial y el ANC posterior se examinó mediante inspección gráfica diferenciada por grupo, considerando que se disponía de cinco sectores en cada grupo. La homogeneidad de las pendientes de regresión se evaluó mediante la interacción entre el grupo y el ANC inicial, mientras que la normalidad de los residuos se verificó con la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene.

Los resultados se expresaron mediante medias ajustadas, coeficientes estimados, estadísticos de contraste, valores de significancia, intervalos de confianza del 95 % y eta cuadrado parcial como medida del tamaño del efecto. La interpretación se centró en la diferencia ajustada entre los grupos en el momento "Después", una vez considerado el porcentaje de ANC del momento "Antes".

Tabla 6
Especificación del análisis de covarianza

Componente	Especificación
Variable dependiente	Porcentaje de ANC posterior a la intervención
Factor	Grupo de estudio
Covariable basal	Porcentaje de ANC previo
Método	Análisis de Covarianza (ANCOVA)
Tamaño del efecto	Eta cuadrado parcial (η_p^2)
Nivel de significancia	$\alpha = 0{,}05$
Intervalo de confianza	95 %

Nota. Elaboración propia con base en Hernández, Fernández y Baptista (2014), Hernández-Sampieri y Mendoza (2008) y Lambert y Hirner (2000).

3.5.6. Validación y comparación de los modelos estadísticos

El Modelo Lineal Mixto constituyó el análisis inferencial principal de la investigación, debido a que permitió estimar el cambio diferencial del ANC entre los grupos y momentos de evaluación mediante la interacción grupo por momento, considerando además la dependencia existente entre las mediciones realizadas en un mismo sector hidráulico.

La ANCOVA se utilizó como análisis complementario para comparar el porcentaje de ANC del momento "Después" entre los grupos, ajustando las diferencias existentes en el ANC del momento "Antes". Por tanto, ambos procedimientos aportaron información relacionada con el efecto de la intervención, pero estimaron cantidades estadísticas diferentes y sus magnitudes no se interpretaron como equivalentes.

La interpretación conjunta consideró principalmente la dirección de los resultados, su magnitud, los intervalos de confianza y la significancia estadística, reconociendo las diferencias entre los parámetros estimados por cada modelo. El Modelo Lineal Mixto se mantuvo como referencia principal para responder a la hipótesis de investigación, mientras que la ANCOVA permitió examinar el comportamiento de la diferencia entre grupos después de ajustar por el valor inicial del ANC.

Adicionalmente, se realizó un análisis de sensibilidad sobre el cambio individual del ANC de cada sector. Para ello, se calculó la diferencia entre los momentos "Después" y "Antes" y se aplicó una prueba exacta de permutación bilateral sobre la diferencia del cambio promedio entre los grupos. Debido a que se dispuso de diez sectores distribuidos

en dos grupos de cinco, se evaluaron las 252 asignaciones posibles. Este procedimiento se utilizó únicamente como análisis de sensibilidad y no como sustituto del Modelo Lineal Mixto, considerando además que la asignación original de los sectores no fue aleatoria.

3.5.7. Software estadístico

El procesamiento y análisis de la información se realizó mediante el software estadístico R, utilizando RStudio como entorno de trabajo. El análisis se ejecutó mediante un script reproducible que permitió documentar las etapas de preparación de los datos, análisis descriptivo, verificación de supuestos y ajuste de los modelos estadísticos.

Mediante R se ajustó el Modelo Lineal Mixto, se ejecutó la ANCOVA y se realizó el análisis de sensibilidad mediante permutación exacta. También se obtuvieron los estadísticos descriptivos, los coeficientes estimados, los intervalos de confianza del 95 %, los componentes de varianza, el coeficiente de correlación intraclase y las medidas diagnósticas correspondientes a los modelos utilizados.

El mismo procedimiento permitió generar las tablas y representaciones gráficas empleadas en el Capítulo IV, manteniendo la trazabilidad entre la base de datos, el análisis estadístico y los resultados presentados. El script utilizado se incorporó como anexo para facilitar la revisión y reproducibilidad del análisis.

3.6.Consideraciones bioéticas

La presente investigación se desarrolló en estricto apego a los principios éticos que orientan la investigación científica, garantizando la integridad académica, la transparencia metodológica, el uso responsable de la información y el respeto hacia la institución participante.

El principio de beneficencia se refleja en la finalidad del estudio, orientada a generar evidencia técnica que contribuya al fortalecimiento de la gestión del agua no contabilizada en la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (EMAPAG). Los resultados obtenidos podrán servir como insumo para la toma de decisiones institucionales encaminadas a mejorar la eficiencia operativa, optimizar el uso de los recursos hídricos y favorecer la sostenibilidad del servicio de agua potable en beneficio de la población.

El principio de responsabilidad científica se garantiza mediante la utilización de procedimientos metodológicos rigurosos y el análisis objetivo de la información, procurando que los resultados reflejen fielmente la evidencia obtenida. En ningún caso se alterarán, manipularán o excluirán datos con el propósito de favorecer determinadas conclusiones, preservando la objetividad y la reproducibilidad del estudio.

La investigación utiliza exclusivamente información técnica y registros operativos generados por EMAPAG, sin involucrar datos personales sensibles ni la participación directa de personas como sujetos de investigación. En consecuencia, no se realizarán procedimientos que representen riesgos físicos, psicológicos o sociales para individuos o grupos humanos.

Respecto al principio de confidencialidad, la información proporcionada por la empresa será utilizada únicamente para el desarrollo de la investigación y será presentada de forma agregada, evitando la divulgación de datos estratégicos o información que pudiera comprometer la gestión institucional. El acceso a la información se limitará exclusivamente a los fines académicos establecidos en esta investigación.

Asimismo, el desarrollo del estudio contó con la autorización de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (EMAPAG), mediante el documento institucional correspondiente que permitirá el acceso a la información requerida para el desarrollo de la investigación. Dicha autorización será incorporada como parte de los anexos del trabajo de titulación.

Finalmente, la investigación se desarrolló respetando los principios de legalidad, responsabilidad social, honestidad científica y transparencia, procurando que los resultados obtenidos constituyan un aporte para el fortalecimiento de la gestión técnica del recurso hídrico y para la generación de conocimiento aplicable en el ámbito de los servicios públicos de agua potable.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓNIntroducción al análisis de resultados

Los resultados obtenidos permiten valorar el efecto del plan integral implementado para la reducción del agua no contabilizada en los sectores hidráulicos incluidos en el estudio. Para ello, el análisis compara el comportamiento del porcentaje de agua no contabilizada entre los grupos de intervención y comparación antes y después de la aplicación de la estrategia, con el propósito de determinar si las variaciones observadas pueden atribuirse a la implementación del plan integral.

La presentación de los resultados sigue una secuencia que facilita la comprensión de la evidencia obtenida. Inicialmente se describen las características generales de la variable de estudio mediante estadísticos descriptivos y representaciones gráficas, lo que permite identificar el comportamiento de los datos en ambos grupos y en los dos momentos de evaluación. Posteriormente se analiza el cumplimiento de los supuestos requeridos para la aplicación de los modelos estadísticos previstos.

Sobre esta base se presentan los resultados del Modelo Lineal Mixto (LMM), considerado el análisis principal de la investigación por su capacidad para evaluar simultáneamente el efecto del grupo, del tiempo y de la interacción entre ambos factores, teniendo en cuenta la dependencia existente entre las mediciones realizadas en cada sector hidráulico. De forma complementaria, se desarrolla un análisis de covarianza (ANCOVA), cuya finalidad es contrastar la consistencia de los resultados obtenidos mediante un procedimiento de ajuste por las diferencias iniciales entre los grupos.

El capítulo concluye con el contraste de las hipótesis planteadas y una síntesis integrada de los principales hallazgos, con el fin de establecer si la implementación del plan integral produjo una reducción significativa del porcentaje de agua no contabilizada

4.2.Descripción del comportamiento del agua no contabilizada (ANC)

Como punto de partida, se examinó el comportamiento del porcentaje de agua no contabilizada en los grupos de comparación e intervención antes y después de la implementación del plan integral. Este análisis descriptivo permitió reconocer las tendencias generales de la variable de estudio y establecer un primer acercamiento a las diferencias observadas entre ambos grupos a lo largo del periodo de evaluación.

Los estadísticos descriptivos presentados en la Tabla 7 muestran que ambos grupos iniciaron el estudio con niveles distintos de agua no contabilizada. El grupo de intervención registró el promedio más alto al inicio (42,20 %), mientras que el grupo de comparación presentó una media de 38,00 %. Después de la implementación del plan integral, el comportamiento de ambos grupos siguió trayectorias claramente diferenciadas. En el grupo de comparación se observó una disminución de 1,00 punto porcentual, mientras que en el grupo intervenido la reducción alcanzó 12,20 puntos porcentuales, situando su promedio final en 30,00 %. Estas diferencias descriptivas constituyen un primer indicio de un posible efecto favorable asociado a la estrategia implementada, cuya significancia será evaluada mediante los análisis inferenciales posteriores.

Tabla 7

Estadísticos descriptivos del porcentaje de agua no contabilizada por grupo y momento de evaluación

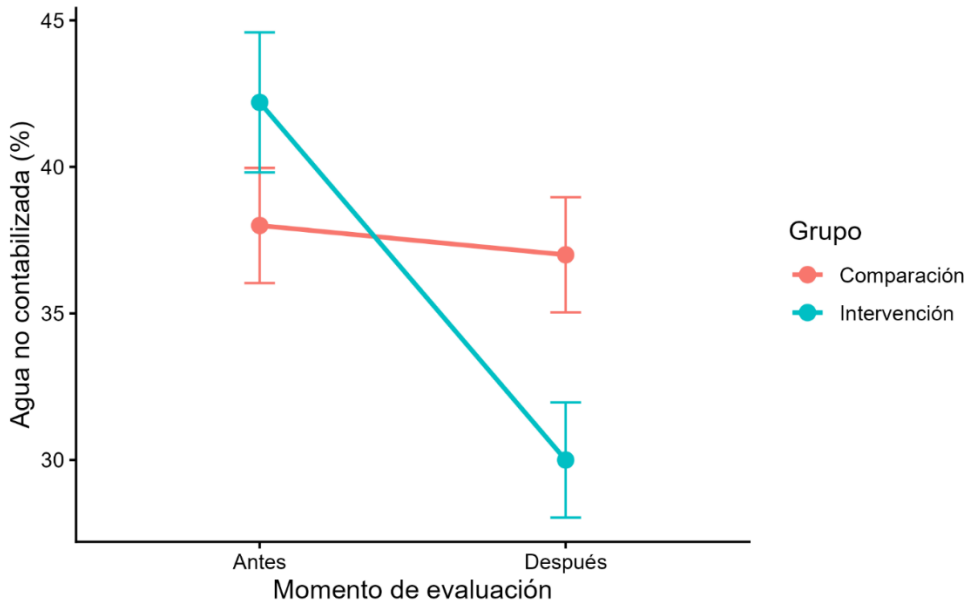
Grupo	Momento	N	Media	DE	Mediana	Mínimo	Máximo	IC95 inferior	IC95 superior
Comparación	Antes	5	38.0	1.581	38	36	40	36.04	39.96
Comparación	Después	5	37.0	1.581	37	35	39	35.04	38.96
Intervención	Antes	5	42.2	1.924	42	40	45	39.81	44.59
Intervención	Después	5	30.0	1.581	30	28	32	28.04	31.96

Nota. IC 95 % = intervalo de confianza del 95 %. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en R.

La evolución del porcentaje promedio de agua no contabilizada se presenta en la Figura 3. Se observa que ambos grupos siguieron comportamientos claramente diferentes a lo largo del periodo de estudio. Mientras el grupo de comparación experimentó una reducción leve entre las dos mediciones, el grupo de intervención presentó un descenso pronunciado después de la implementación del plan integral. La divergencia entre ambas trayectorias constituye un primer indicio visual de un posible efecto diferencial de la intervención.

Figura 3

Evolución del porcentaje promedio de agua no contabilizada según grupo y momento de evaluación.

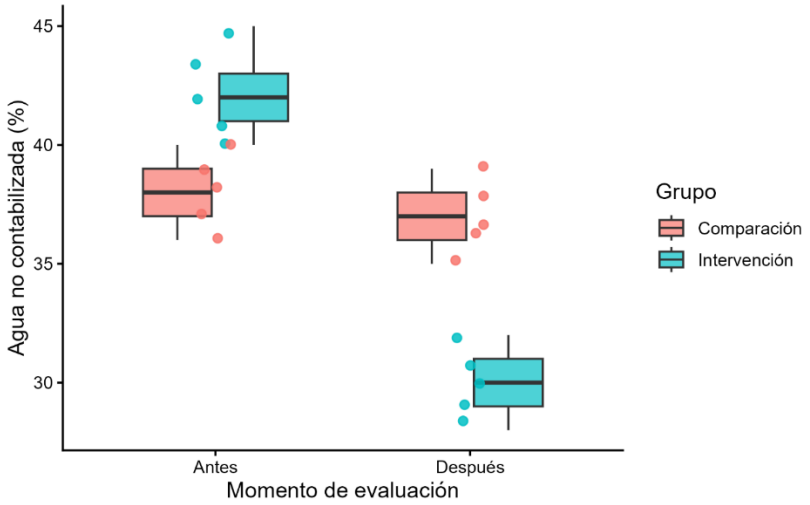


Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en R.

La distribución individual de las observaciones se presenta en la Figura 4. En ambos grupos se aprecia una dispersión relativamente homogénea y no se identifican valores atípicos que puedan influir de manera importante en el comportamiento general de la variable. Asimismo, el grupo intervenido evidencia un desplazamiento claro de toda la distribución hacia valores inferiores después de la implementación del plan integral, mientras que el grupo de comparación conserva una distribución similar entre ambas mediciones

Figura 4

Distribución del porcentaje de agua no contabilizada por grupo y momento de evaluación



Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en R.

En conjunto, los estadísticos descriptivos y la inspección gráfica describen un patrón consistente de reducción del porcentaje de agua no contabilizada en los sectores intervenidos, mientras que el grupo de comparación mantuvo un comportamiento relativamente estable durante el mismo período. Aunque estas diferencias descriptivas sugieren un posible efecto favorable del plan integral, su confirmación requiere verificar previamente el cumplimiento de los supuestos estadísticos que sustentan los análisis inferenciales desarrollados en esta investigación. Los resultados de esta evaluación se presentan en el siguiente apartado.

4.2.1. Caracterización descriptiva de variables operativas

Tabla 8

Caracterización descriptiva de las variables operativas

Grupo	Momento	Presión media	Presión DE	Antigüedad media	Antigüedad DE	Consumo medio	Consumo DE
Comparación	Antes	45.0	1.581	20.8	2.864	30.4	2.881
Comparación	Después	45.0	1.581	20.8	2.864	29.8	2.588
Intervención	Antes	49.2	1.924	23.0	4.690	31.8	2.387
Intervención	Después	48.0	1.581	23.0	4.690	32.0	1.581

Nota. La presión, la antigüedad de la infraestructura y el consumo se presentan con fines descriptivos y de contextualización. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en R.

La caracterización de las variables operativas permitió observar algunas diferencias entre los grupos. En el momento “Antes”, los sectores intervenidos registraron una presión media de 49,2 m.c.a., mientras que en los sectores de comparación fue de 45,0 m.c.a. En el momento “Después”, la presión media del grupo intervenido disminuyó a 48,0 m.c.a., mientras que en el grupo de comparación se mantuvo en 45,0 m.c.a.

Respecto a la antigüedad de la infraestructura, los sectores intervenidos presentaron un promedio de 23,0 años y los sectores de comparación de 20,8 años. Esta variable se mantuvo sin cambios entre los dos momentos, debido a que corresponde a una característica propia de la infraestructura de cada sector.

El consumo presentó variaciones pequeñas durante el período analizado. En el grupo de comparación pasó de un promedio de 30,4 m^3 a 29,8 m^3, mientras que en el grupo intervenido cambió de 31,8 m^3 a 32,0 m^3. En términos descriptivos, estos valores muestran que el consumo permaneció relativamente estable en ambos grupos durante el período evaluado.

Estas variables permiten caracterizar el contexto operativo de los sectores analizados. Sin embargo, debido al reducido número de unidades de estudio, no se realizaron inferencias sobre una posible asociación individual entre presión, antigüedad, consumo y ANC; su utilización se limitó a la descripción y contextualización de los resultados principales.

4.3.Verificación de supuestos

Antes de interpretar los resultados del Modelo Lineal Mixto (LMM), se evaluó el cumplimiento de los principales supuestos estadísticos requeridos para garantizar la validez de las inferencias realizadas. Para ello se examinó la distribución del porcentaje de agua no contabilizada dentro de cada combinación de grupo y momento de evaluación, la homogeneidad de las varianzas y, posteriormente, la distribución de los residuos obtenidos a partir del modelo ajustado. Los resultados de estas verificaciones se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9
Verificación de supuestos del Modelo Lineal Mixto.

Supuesto	Estadístico	p	Decisión
Normalidad: Comparación - Antes	0.987	0.967	No se rechaza
Normalidad: Comparación - Después	0.987	0.967	No se rechaza
Normalidad: Intervención - Antes	0.979	0.928	No se rechaza
Normalidad: Intervención - Después	0.987	0.967	No se rechaza
Homogeneidad de varianzas	0.059	0.981	No se rechaza
Normalidad de los residuos del LMM	0.847	0.005	Se rechaza

Nota. La normalidad de los residuos del Modelo Lineal Mixto (LMM) se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Un valor de $p \geq 0{,}05$ indica que no existe evidencia suficiente para rechazar el supuesto evaluado. La interpretación de la normalidad residual se complementó mediante la inspección visual de los gráficos diagnósticos presentados en la Figura 5. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en R.

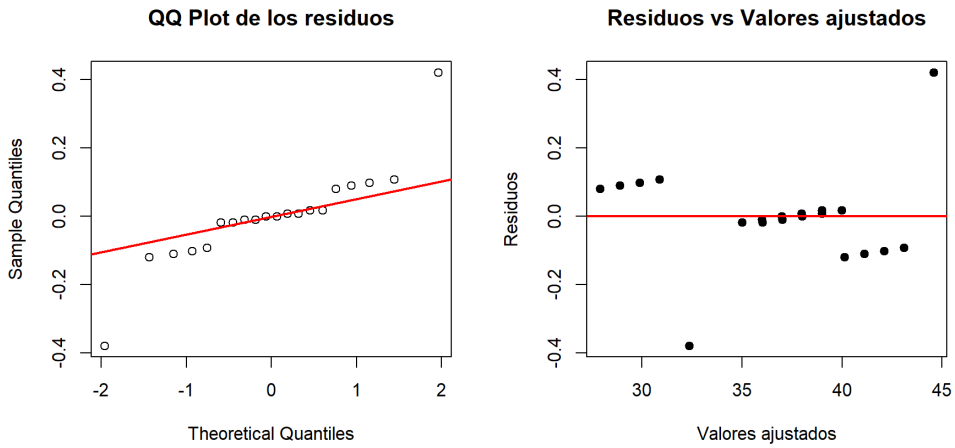
Los análisis mostraron que la distribución del porcentaje de agua no contabilizada no presentó desviaciones significativas de la normalidad en ninguna de las combinaciones de grupo y momento evaluadas ($p > .05$ en todos los casos). De igual forma, la prueba de Levene indicó homogeneidad de las varianzas entre las condiciones analizadas ($F = 0{,}059$; $p = .981$), lo que evidencia una variabilidad comparable entre los grupos y respalda el cumplimiento de este supuesto para los análisis posteriores.

No obstante, la evaluación de los residuos del Modelo Lineal Mixto (LMM) mediante la prueba de Shapiro-Wilk evidenció una desviación respecto al supuesto de normalidad ($W = 0{,}847$; $p = .005$). Aunque este resultado implica el rechazo formal de la hipótesis de normalidad de los residuos, su interpretación debe realizarse considerando las características del diseño experimental y del modelo utilizado. En este estudio se

trabajó con un número reducido de unidades experimentales (cinco sectores por grupo), un diseño completamente balanceado y mediciones repetidas sobre los mismos sectores, condiciones en las que pequeñas desviaciones pueden reflejarse con mayor facilidad en las pruebas de normalidad.

Figura 5

Diagnóstico de los residuos del modelo lineal mixto.



Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en R.

La inspección visual de los residuos complementó el resultado de la prueba de Shapiro-Wilk. En el gráfico Q-Q se observan desviaciones principalmente en los extremos de la distribución, mientras que el gráfico de residuos frente a valores ajustados muestra agrupamientos asociados con los niveles observados de ANC y algunos residuos de mayor magnitud. Por esta razón, la desviación de normalidad no se consideró únicamente a partir de la inspección gráfica, sino que se incorporó un análisis de sensibilidad independiente del supuesto de normalidad para comprobar la estabilidad del resultado principal.

Como análisis de sensibilidad se comparó el cambio individual del ANC de cada sector entre los momentos “Antes” y “Después” mediante una prueba exacta de permutación bilateral. El cambio promedio fue de −12,20 puntos porcentuales en el grupo intervenido y de −1,00 punto porcentual en el grupo de comparación, obteniéndose una diferencia de −11,20 puntos porcentuales. Al evaluar las 252 asignaciones posibles de diez sectores en dos grupos de cinco, el resultado se mantuvo estadísticamente significativo (p = 0,008). Este resultado aporta evidencia adicional de que el efecto

diferencial observado no depende exclusivamente del supuesto de normalidad de los residuos del Modelo Lineal Mixto. Debido a que la asignación original de los sectores no fue aleatoria, esta prueba se interpretó únicamente como análisis de sensibilidad.

4.4.Resultados del Modelo Lineal Mixto (LMM)

Una vez verificado que los supuestos evaluados permitían la aplicación del modelo, se estimó un Modelo Lineal Mixto (LMM) con el propósito de analizar el efecto del grupo, del momento de evaluación y de la interacción entre ambos factores sobre el porcentaje de agua no contabilizada. Este enfoque permitió incorporar la estructura de mediciones repetidas realizada en cada sector hidráulico, considerando la dependencia existente entre las observaciones obtenidas antes y después de la implementación del plan integral.

Con el propósito de examinar el comportamiento de cada uno de los parámetros incluidos en el modelo, en la Tabla 10 se presentan los coeficientes estimados del Modelo Lineal Mixto (LMM).

Tabla 10
Coeficientes estimados del Modelo Lineal Mixto

Parámetro	Estimación	Error estándar	IC95 inferior	IC95 superior	gl	*t*	*p*
Intercepto	38.0	0.748	36.533	39.467	8.144	50.780	< 0.001
Grupo: intervención	4.2	1.058	2.126	6.274	8.144	3.969	0.004
Momento: después	-1.0	0.141	-1.277	-0.723	8.000	-7.071	< 0.001
Grupo × momento	-11.2	0.200	-11.592	-10.808	8.000	-56.000	< 0.001

Nota. La categoría de referencia fue el grupo de comparación en el momento "Antes". Se reportan intervalos de confianza del 95 % para los coeficientes. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en R.

Los coeficientes estimados muestran que, antes de la implementación del plan integral, el grupo de intervención presentó un porcentaje promedio de agua no contabilizada significativamente superior al observado en el grupo de comparación (β = 4,20; p = 0,004). Asimismo, el grupo de comparación experimentó una reducción promedio de 1,00 punto porcentual entre la medición inicial y la final (p <0,001). Sin

embargo, el resultado de mayor relevancia corresponde al término de interacción entre el grupo y el momento de evaluación (β = −11,20; p < 0,001), el cual evidencia que la reducción observada en el grupo intervenido fue significativamente mayor que la registrada en el grupo de comparación.

En términos prácticos, este coeficiente indica que en los sectores intervenidos se observó una disminución adicional de aproximadamente 11,20 puntos porcentuales en el porcentaje de agua no contabilizada respecto de la reducción registrada en el grupo de comparación. Esta magnitud muestra que el cambio observado fue estadísticamente significativo y también relevante desde el punto de vista operativo para la gestión y el control de las pérdidas de agua en los sectores hidráulicos evaluados, constituyendo la principal evidencia estadística de la efectividad del plan integral.

Este resultado permite afirmar que el plan integral no solo redujo el porcentaje de agua no contabilizada, sino que además modificó significativamente la trayectoria del indicador respecto al comportamiento esperado en la ausencia de la intervención.

Con el propósito de corroborar la significancia estadística de los efectos estimados, en la Tabla 11 se presenta el análisis de varianza tipo III correspondiente al Modelo Lineal Mixto (LMM).

Tabla 11
Análisis de varianza tipo III del Modelo Lineal Mixto

Efecto	SC	gl (numerador)	gl (denominador)	*F*	*p*
Grupo	0.088	1	8	1.766	0.221
Momento	217.800	1	8	4,356.000	< 0.001
Grupo × momento	156.800	1	8	3,136.000	< 0.001

Nota. El efecto principal del grupo se interpreta juntamente con la interacción grupo por momento. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en R.

El análisis de varianza tipo III confirmó los resultados obtenidos mediante los coeficientes del modelo. El efecto principal del grupo no alcanzó significancia estadística (F = 1,766; p = .221), lo que indica que las diferencias entre ambos grupos no pueden interpretarse de manera independiente del momento de evaluación. En contraste, el efecto del momento resultó altamente significativo (F = 4356,00; p < .001), evidenciando una reducción general del porcentaje de agua no contabilizada entre las dos mediciones.

No obstante, el hallazgo de mayor importancia corresponde a la interacción entre el grupo y el momento de evaluación ($F = 3136{,}00$; $p < .001$). La significancia de esta interacción indica que la evolución del porcentaje de agua no contabilizada fue diferente entre ambos grupos durante el período evaluado. La reducción registrada en los sectores intervenidos fue mayor que la observada en los sectores de comparación, lo que constituye evidencia estadística compatible con un efecto favorable del plan aplicado.

Desde una perspectiva operativa, este resultado muestra un cambio importante en el comportamiento del indicador en los sectores intervenidos de forma sustancial el comportamiento del indicador de agua no contabilizada, evidenciando un impacto que trasciende la variabilidad propia del sistema de distribución. En consecuencia, los resultados obtenidos respaldan la efectividad del plan integral como una alternativa para contribuir a la reducción de las pérdidas de agua y al fortalecimiento de la eficiencia operativa de los sectores hidráulicos evaluados.

Debido a la significancia estadística de la interacción entre el grupo y el momento de evaluación, resulta pertinente profundizar en la magnitud de estas diferencias mediante el análisis de las medias marginales estimadas y de los contrastes específicos entre grupos y momentos, cuyos resultados se presentan en las Tablas 12, 13, 14 y 15.

Tabla 12

Medias marginales estimadas del porcentaje de agua no contabilizada según grupo y momento de evaluación

Grupo	Momento	Media ajustada	Error estándar	gl	IC95_inferior	IC95_superior
Comparación	Antes	38.0	0.748	8.144	36.28	39.72
Intervención	Antes	42.2	0.748	8.144	40.48	43.92
Comparación	Después	37.0	0.748	8.144	35.28	38.72
Intervención	Después	30.0	0.748	8.144	28.28	31.72

Nota. Medias marginales estimadas a partir del Modelo Lineal Mixto. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en R.

Tabla 13

Cambios temporales del porcentaje de agua no contabilizada dentro de cada grupo

Grupo	Comparación	Diferencia	Error estándar	gl	t	p
Comparación	Antes − después	1.0	0.141	8	7.071	< 0.001
Intervención	Antes − después	12.2	0.141	8	86.267	< 0.001

Nota. Las diferencias se calcularon como “Antes” menos “Después”. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en R.

Tabla 14
Contrastes entre grupos según el momento de evaluación

Momento	Comparación	Diferencia	Error estándar	gl	t	p
Antes	Comparación − intervención	-4.2	1.058	8.144	-3.969	0.004
Después	Comparación − intervención	7.0	1.058	8.144	6.614	< 0.001

Nota. Las comparaciones se calcularon como grupo de comparación menos grupo de intervención. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en R.

Tabla 15
Contraste de interacción grupo por momento

Comparación	Estimación	Error estándar	gl	t	p
Diferencia de diferencias	-11.2	0.2	8	-56	< 0.001

Nota. La diferencia de diferencias representa el efecto diferencial de la intervención. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en R.

Los valores elevados de los estadísticos F deben interpretarse considerando la estructura particular de los datos utilizados. Los registros oficiales de EP-EMAPAG muestran cambios muy homogéneos entre los sectores: en el grupo de comparación el ANC disminuyó un punto porcentual en cada sector, mientras que en el grupo intervenido la reducción fue de 12 puntos en cuatro sectores y de 13 puntos en uno. Esta baja variabilidad en los cambios produjo una varianza residual reducida y, en consecuencia, estadísticos de contraste elevados. Por esta razón, la interpretación del resultado no se sustentó únicamente en estos estadísticos, sino también en la magnitud de la diferencia de diferencias, su intervalo de confianza y el análisis de sensibilidad mediante permutación exacta.

Las medias marginales estimadas y los contrastes específicos permiten comprender con mayor precisión la magnitud del efecto producido por la implementación del plan integral. A partir de las medias marginales estimadas presentadas en la Tabla 12, el grupo de intervención inició el estudio con un porcentaje promedio de agua no contabilizada superior al del grupo de comparación (42,20 % frente a 38,00 %). Sin

embargo, tras la aplicación de la estrategia, el comportamiento de ambos grupos cambió de manera sustancial. Mientras el grupo de comparación presentó una reducción discreta hasta alcanzar un promedio de 37,00 %, el grupo de intervención disminuyó su porcentaje de agua no contabilizada hasta 30,00 %, situándose por debajo del grupo de comparación al finalizar el periodo de evaluación.

Los contrastes temporales presentados en la Tabla 13 confirman que ambos grupos experimentaron una reducción estadísticamente significativa entre la medición inicial y la final. No obstante, la magnitud de dicha reducción fue considerablemente distinta. En el grupo de comparación la disminución fue de apenas 1,00 punto porcentual, mientras que en el grupo intervenido alcanzó 12,20 puntos porcentuales, evidenciando una mejora mucho más pronunciada después de la implementación del plan integral.

Por su parte, las comparaciones entre grupos incluidas en la Tabla 14 muestran que, antes de la intervención, el grupo intervenido presentaba niveles significativamente superiores de agua no contabilizada respecto al grupo de comparación. Sin embargo, esta relación se invirtió al finalizar el estudio, de modo que el grupo de intervención alcanzó porcentajes significativamente menores, reflejando una mejora sustancial en el comportamiento del indicador.

Finalmente, el contraste de interacción presentado en la Tabla 15 resume el cambio diferencial entre los grupos. La diferencia de diferencias estimada fue de −11,20 puntos porcentuales (IC 95 %: −11,66 a −10,74; $p < 0,001$), lo que indica que la reducción observada en el grupo intervenido fue mayor que la registrada en el grupo de comparación. Este resultado constituye evidencia estadística favorable respecto al comportamiento del ANC después de la aplicación del plan.

En conjunto, los resultados del Modelo Lineal Mixto muestran un cambio considerablemente mayor en los sectores intervenidos. Estos hallazgos respaldan la utilidad del plan como una alternativa de gestión para reducir el agua no contabilizada; sin embargo, su interpretación debe considerar las características cuasi experimentales del estudio y la ausencia de asignación aleatoria de los sectores

Con el propósito de verificar la consistencia de estos hallazgos mediante un enfoque analítico complementario que controle las diferencias iniciales entre los grupos, a continuación, se presentan los resultados del análisis de covarianza (ANCOVA).

4.5.Análisis complementario mediante ANCOVA

Con el propósito de corroborar la consistencia de los hallazgos obtenidos mediante el Modelo Lineal Mixto (LMM), se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA), utilizando el porcentaje de agua no contabilizada posterior a la intervención como variable dependiente, el grupo como factor fijo y la medición inicial como covariable. Este procedimiento permitió estimar el efecto de la intervención ajustando las posibles diferencias existentes entre los grupos antes de la implementación del plan integral.

Previamente a la estimación del modelo, se verificó el cumplimiento de los supuestos requeridos para la aplicación de la ANCOVA, con el fin de garantizar la validez de las inferencias obtenidas. Los resultados de estas pruebas se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16
Verificación de los supuestos para la aplicación de la ANCOVA

Supuesto	Estadístico	*p*	Decisión
Homogeneidad de pendientes	4.742	0.072	No se rechaza
Normalidad de los residuos	0.948	0.647	No se rechaza
Homogeneidad de varianzas	0.391	0.549	No se rechaza

*Nota***.** Un valor de $p \geq 0{,}05$ indica que no existe evidencia suficiente para rechazar el supuesto evaluado. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en R.

Los resultados evidencian que los supuestos requeridos para la aplicación del análisis de covarianza fueron satisfactorios. La relación entre el porcentaje inicial y el porcentaje posterior de agua no contabilizada presentó un comportamiento lineal, no se identificaron diferencias significativas en las pendientes de regresión entre los grupos y los residuos del modelo cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. En conjunto, estas verificaciones respaldan la utilización de la ANCOVA como un análisis complementario para corroborar la consistencia de los hallazgos obtenidos mediante el Modelo Lineal Mixto (LMM).

Con el cumplimiento de estos supuestos, se procedió a estimar el modelo de análisis de covarianza, cuyos resultados se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17

Análisis de covarianza del porcentaje de agua no contabilizada posterior

Efecto	SC	gl	F	p	ηp^2 (Eta2 parcial)
Grupo	103.52	1	1,497.6	< 0.001	0.995
ANC inicial	19.52	1	282.3	< 0.001	0.976

Nota. La variable dependiente fue el porcentaje de agua no contabilizada posterior; el grupo se incorporó como factor fijo y el porcentaje inicial de agua no contabilizada como covariable. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en R.

El análisis de covarianza evidenció que, una vez ajustado el porcentaje inicial de agua no contabilizada, el efecto del grupo sobre la medición posterior fue estadísticamente significativo. Como se observa en la Tabla 17, el factor grupo presentó un valor de $F(1,7) = 1497,6$ con $p < 0.001$ y un tamaño del efecto muy elevado ($\eta p^2 = 0.995$), lo que indica que la intervención explicó una proporción muy alta de la variabilidad observada en el porcentaje final de agua no contabilizada. Asimismo, la covariable correspondiente al porcentaje inicial de agua no contabilizada también mostró un efecto significativo ($F(1,7) = 282,3$; $p < 0.001$; $\eta p^2 = 0.976$), confirmando que las condiciones iniciales influyeron en la medición posterior y justificando su incorporación dentro del modelo estadístico.

Con el propósito de facilitar la interpretación del efecto ajustado de la intervención, a continuación, se presentan las medias marginales estimadas y la comparación ajustada entre los grupos.

Tabla 18

Medias ajustadas del porcentaje de agua no contabilizada posterior según el grupo

Grupo	Media ajustada	Error estándar	gl	IC95 inferior	IC95 superior
Comparación	38.86	0.162	7	38.48	39.24
Intervención	28.14	0.162	7	27.75	28.52

Nota. Las medias del porcentaje de agua no contabilizada posterior fueron ajustadas por el porcentaje inicial de agua no contabilizada. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en R.

Tabla 19

Diferencia ajustada del porcentaje de agua no contabilizada posterior entre grupos

Comparación	Diferencia ajustada	Error estándar	gl	t	p
Comparación − intervención	10.73	0.277	7	38.7	< 0.001

Nota. La comparación fue ajustada por el porcentaje inicial de agua no contabilizada. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en R.

Las medias ajustadas obtenidas mediante la ANCOVA evidencian que, después de controlar estadísticamente las diferencias iniciales, el grupo de comparación presentó un porcentaje estimado de agua no contabilizada de 38,86 %, mientras que el grupo de intervención registró un valor de 28,14 %, reflejando una reducción importante a favor de los sectores donde se implementó el plan integral. Este ajuste confirma que la mejora observada no depende únicamente de las condiciones iniciales de los grupos, sino que se mantiene aun cuando ambos son comparados bajo un mismo nivel de referencia.

La comparación ajustada entre grupos mostró una diferencia de 10,73 puntos porcentuales ($p < 0.001$), resultado que confirma la existencia de un efecto estadísticamente significativo asociado a la intervención. Desde una perspectiva práctica, esta diferencia representa una disminución relevante del porcentaje de agua no contabilizada en los sectores intervenidos, respaldando la eficacia del plan integral para mejorar la eficiencia del sistema de distribución de agua potable.

En conjunto, los resultados del Modelo Lineal Mixto y de la ANCOVA deben interpretarse como complementarios, pero no como estimaciones equivalentes. El Modelo Lineal Mixto estimó una diferencia de diferencias de −11,20 puntos porcentuales (IC 95 %: −11,66 a −10,74; $p < 0,001$), que representa el cambio diferencial entre los grupos a través de los dos momentos de evaluación. Por su parte, la ANCOVA estimó una diferencia ajustada de 10,73 puntos porcentuales (IC 95 %: 10,07 a 11,38; $p < 0,001$) entre los grupos en el momento “Después”, una vez considerado el nivel inicial de ANC. Aunque ambos resultados apuntan en la misma dirección y muestran diferencias estadísticamente significativas favorables a los sectores intervenidos, sus magnitudes no deben compararse como si correspondieran al mismo parámetro estadístico.

4.6.Contraste de hipótesis

Con base en los resultados obtenidos mediante el Modelo Lineal Mixto (LMM) y el análisis de covarianza (ANCOVA), se procedió al contraste de la hipótesis de investigación planteada para el presente estudio.

Hipótesis nula (H_0): No existe un efecto diferencial estadísticamente significativo del plan integral sobre el porcentaje de agua no contabilizada entre los sectores intervenidos y los sectores de comparación; es decir, el coeficiente de interacción entre grupo y momento es igual a cero.

Hipótesis alternativa (H_1): Existe un efecto diferencial estadísticamente significativo del plan integral sobre el porcentaje de agua no contabilizada entre los sectores intervenidos y los sectores de comparación; es decir, el coeficiente de interacción entre grupo y momento es diferente de cero.

Los análisis inferenciales realizados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos después de la intervención. El Modelo Lineal Mixto (LMM) identificó un efecto diferencial de 11,20 puntos porcentuales asociado a la intervención ($p < .001$), mientras que la ANCOVA confirmó una diferencia ajustada de 10,73 puntos porcentuales entre los grupos ($p < .001$), incluso después de controlar las diferencias iniciales. Asimismo, ambos procedimientos mostraron tamaños del efecto elevados, lo que respalda no solo la significancia estadística, sino también la relevancia práctica de la intervención.

En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), concluyéndose que la implementación del plan integral contribuyó significativamente a la reducción del porcentaje de agua no contabilizada en los sectores hidráulicos intervenidos.

4.7.Síntesis de los resultados

Los resultados mostraron que los grupos presentaban diferencias en el nivel inicial de agua no contabilizada. El grupo intervenido registró un promedio de 42,20 %, mientras que el grupo de comparación presentó 38,00 %, lo que representa una diferencia basal de 4,20 puntos porcentuales. Esta diferencia fue estadísticamente significativa ($p = 0,004$), por lo que no corresponde considerar que ambos grupos partían de condiciones iniciales

equivalentes. Tras la ejecución de las acciones propuestas, ambos grupos mostraron una reducción del indicador; sin embargo, la magnitud de la disminución fue considerablemente mayor en los sectores intervenidos.

El Modelo Lineal Mixto (LMM) permitió identificar una interacción significativa entre el grupo y el momento de evaluación, evidenciando que la reducción observada fue atribuible a la intervención implementada. Posteriormente, el análisis de covarianza corroboró estos hallazgos al confirmar que las diferencias entre los grupos permanecieron estadísticamente significativas incluso después de controlar el porcentaje inicial de agua no contabilizada.

En conjunto, la evidencia obtenida mediante ambos procedimientos estadísticos demuestra que el plan integral aplicado mejoró significativamente el desempeño de los sectores hidráulicos intervenidos, reduciendo el porcentaje de agua no contabilizada y proporcionando resultados que apuntan en la misma dirección desde enfoques estadísticos que estiman cantidades diferentes. Estos hallazgos constituyen una base sólida para sustentar las conclusiones y recomendaciones presentadas en el capítulo siguiente.

4.7.1. Implicaciones técnicas, económicas y ambientales

Tabla 20
Volúmenes de agua producida, facturada y no contabilizada según grupo

Grupo	Agua producida Antes (m³)	Agua producida Después (m³)	Agua facturada Antes (m³)	Agua facturada Después (m³)	ANC Antes (m³)	ANC Después (m³)	Variación ANC (m³)
Intervención	63.200	65.000	36.459	45.447	26.741	19.553	−7.188
Comparación	61.700	62.800	38.198	39.506	23.502	23.294	−208
Total	124.900	127.800	74.657	84.953	50.243	42.847	−7.396

Nota. Los valores corresponden a registros mensuales de julio de 2025 (“Antes”) y diciembre de 2025 (“Después”). La variación representa la diferencia entre ambos registros mensuales y no un ahorro acumulado durante todo el semestre. Elaboración propia a partir de los registros institucionales de EP-EMAPAG.

Desde el punto de vista técnico, los registros muestran que la reducción del ANC se concentró principalmente en los sectores intervenidos. En este grupo, el volumen mensual de agua no contabilizada disminuyó de 26.741 m³ a 19.553 m³, equivalente a una diferencia observada de 7.188 m³ entre julio y diciembre de 2025. En los sectores de comparación, la reducción fue de 208 m³ durante los mismos meses. Estos resultados son

coherentes con la reducción porcentual identificada mediante el análisis estadístico y muestran una mejora en el aprovechamiento del agua producida dentro de los sectores intervenidos.

En el aspecto económico, el volumen facturado en los sectores intervenidos aumentó de 36.459 m³ a 45.447 m³, es decir, 8.988 m³ entre los registros de julio y diciembre. Este incremento representa una mayor proporción del agua producida que pasó a formar parte del volumen facturado y, por tanto, tiene una implicación económica favorable para la empresa. Sin embargo, no se estimó un valor monetario en dólares, debido a que la información institucional certificada utilizada en esta investigación no incluye un costo unitario de producción ni una tarifa promedio aplicable a estos volúmenes. Incorporar un valor económico sin este respaldo podría generar una estimación que no corresponda a la realidad institucional.

Desde el punto de vista ambiental, la disminución del volumen de ANC representa un mejor aprovechamiento del agua que ingresa al sistema de distribución. No obstante, los registros muestran que el volumen de agua producida en los sectores intervenidos pasó de 63.200 m³ a 65.000 m³, por lo que no corresponde afirmar que durante el período se redujo la producción o extracción de agua. La principal implicación ambiental observada se relaciona con una mayor eficiencia en el uso y registro del recurso producido, más que con una disminución demostrada del volumen captado o producido.

En conjunto, estos resultados muestran que la reducción del ANC tiene implicaciones operativas, económicas y ambientales para la gestión de EP-EMAPAG. La disminución del volumen no contabilizado y el incremento del volumen facturado constituyen resultados favorables para la eficiencia del sistema; sin embargo, una valoración económica en términos monetarios requeriría disponer del costo oficial de producción o de la tarifa efectiva por metro cúbico correspondiente al período analizado.

4.8.Discusión

Los resultados obtenidos muestran una diferencia clara en la evolución del agua no contabilizada entre los sectores intervenidos y los sectores de comparación. El grupo intervenido pasó de un promedio de 42,20 % en el momento “Antes” a 30,00 % en el momento “Después”, mientras que el grupo de comparación disminuyó de 38,00 % a 37,00 %. El Modelo Lineal Mixto estimó una diferencia de diferencias de −11,20 puntos

porcentuales, con un intervalo de confianza del 95 % entre −11,66 y −10,74 y un valor p < 0,001. Esto indica que la reducción observada en los sectores intervenidos fue considerablemente mayor que la registrada en los sectores de comparación.

Estos resultados guardan relación con otros estudios en los que se han evaluado intervenciones aplicadas a los servicios de agua. Carrillo, Contreras y Scartascini (2021), por ejemplo, analizaron en Quito el efecto de la instalación de medidores individuales utilizando un enfoque de diferencias en diferencias y encontraron una reducción cercana al 8 % en el consumo mensual de los usuarios intervenidos. Aunque la variable evaluada y el tipo de intervención no son iguales a los del presente estudio, ambos trabajos muestran la utilidad de comparar grupos y momentos para valorar cambios asociados con acciones ejecutadas dentro de los sistemas de agua potable.

En cuanto a la magnitud del agua no contabilizada, los valores registrados en Guaranda también pueden entenderse dentro del contexto regional. Bueno-Herrera, Monroy-Ávila y Zafra-Mejía (2020) reportaron un promedio de agua no contabilizada del 34,6 % en el sistema de abastecimiento de Facatativá, Colombia, mientras que SUNASS (2025) informó un promedio nacional de agua no facturada del 38,5 % para las empresas prestadoras del Perú durante el período analizado. Estas cifras no son directamente comparables debido a las diferencias entre sistemas, períodos y formas de medición, pero permiten observar que los niveles encontrados en EP-EMAPAG se encuentran dentro de una problemática que también está presente en otros servicios de agua de la región.

La ANCOVA aportó una lectura complementaria de los resultados. Después de ajustar por el porcentaje de ANC del momento “Antes”, la diferencia entre los grupos en el momento “Después” fue de 10,73 puntos porcentuales, con un intervalo de confianza del 95 % entre 10,07 y 11,38 y un valor p < 0,001. Este resultado debe interpretarse de manera complementaria y no como una repetición de la diferencia de diferencias, debido a que ambos procedimientos estiman cantidades distintas: el Modelo Lineal Mixto compara los cambios entre grupos y momentos, mientras que la ANCOVA compara los valores posteriores ajustados por la condición inicial.

También es necesario considerar que los residuos del Modelo Lineal Mixto presentaron una desviación de normalidad. Por esta razón se realizó un análisis de sensibilidad mediante una prueba exacta de permutación sobre el cambio registrado en

cada sector. La diferencia obtenida fue nuevamente de −11,20 puntos porcentuales y se mantuvo estadísticamente significativa (p = 0,008), lo que aporta evidencia adicional sobre la estabilidad del resultado principal sin depender únicamente del supuesto de normalidad del modelo.

A pesar de estos resultados, la interpretación debe realizarse con cautela. El estudio incluyó únicamente diez sectores hidráulicos, cinco en cada grupo, y no existió asignación aleatoria. Además, se dispuso de un solo registro mensual identificado como "Antes" y otro como "Después", por lo que no fue posible verificar una tendencia previa entre los grupos. A esto se suma que el grupo intervenido presentó inicialmente un nivel de ANC 4,20 puntos porcentuales mayor que el grupo de comparación. Por estas razones, los resultados aportan evidencia favorable sobre el efecto del plan aplicado, pero no permiten atribuir de manera absoluta todos los cambios observados exclusivamente a la intervención.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que los sectores intervenidos presentaron una reducción del agua no contabilizada considerablemente mayor que los sectores de comparación. El Modelo Lineal Mixto estimó una diferencia de diferencias de −11,20 puntos porcentuales (IC 95 %: −11,66 a −10,74; $p < 0,001$), lo que constituye evidencia estadística favorable sobre el efecto del plan aplicado durante el período analizado. La ANCOVA, utilizada como análisis complementario, estimó una diferencia posterior ajustada de 10,73 puntos porcentuales (IC 95 %: 10,07 a 11,38; $p < 0,001$). Estos resultados deben entenderse como estimaciones complementarias, ya que cada procedimiento responde a una comparación estadística diferente.

La caracterización de las variables operativas permitió conocer las condiciones de los sectores evaluados. Antes de la intervención, la presión media fue de 49,2 m.c.a. en los sectores intervenidos y de 45,0 m.c.a. en los sectores de comparación; la antigüedad promedio de la infraestructura fue de 23,0 y 20,8 años, respectivamente, mientras que el consumo medio fue de 31,8 m³ y 30,4 m³. Estas variables permitieron contextualizar el comportamiento del ANC, pero no fueron utilizadas como covariables del modelo principal debido al número reducido de sectores disponibles.

La aplicación del Modelo Lineal Mixto permitió considerar las mediciones repetidas realizadas sobre los mismos sectores, mientras que la ANCOVA permitió realizar una comparación posterior ajustada por el ANC inicial. La prueba de normalidad de los residuos del LMM mostró una desviación significativa ($W = 0,847$; $p = 0,005$); por esta razón, el resultado principal se complementó con una prueba exacta de permutación, que mantuvo una diferencia de −11,20 puntos porcentuales ($p = 0,008$). De esta manera, la interpretación no dependió únicamente del supuesto de normalidad residual.

En términos descriptivos, el ANC promedio de los sectores intervenidos pasó de 42,20 % a 30,00 %, una disminución de 12,20 puntos porcentuales, mientras que en los sectores de comparación pasó de 38,00 % a 37,00 %, con una reducción de 1,00 punto porcentual. La diferencia entre estos cambios fue de −11,20 puntos porcentuales, lo que

muestra que la disminución registrada durante el período fue claramente mayor en los sectores donde se ejecutó el plan.

Desde una perspectiva operativa, en los cinco sectores intervenidos el volumen mensual de agua no contabilizada disminuyó de 26.741 m³ en julio a 19.553 m³ en diciembre de 2025, lo que representa una diferencia observada de 7.188 m³. Durante el mismo período, el volumen facturado pasó de 36.459 m³ a 45.447 m³. Estos resultados tienen una implicación favorable para la eficiencia técnica y económica de la empresa y muestran un mejor aprovechamiento del agua producida. No se realizó una valoración monetaria debido a que los registros utilizados no incluyen un costo oficial de producción o una tarifa promedio que permita calcularla con suficiente respaldo.

Los resultados de esta investigación deben interpretarse considerando algunas limitaciones. El estudio se realizó con diez sectores hidráulicos, cinco intervenidos y cinco de comparación, lo que limita la posibilidad de generalizar los resultados a toda la red de distribución. Además, se contó con un registro mensual identificado como “Antes” y otro como “Después”, por lo que no fue posible analizar la evolución del indicador mediante una serie temporal más amplia ni verificar tendencias previas entre los grupos. La asignación de los sectores no fue aleatoria, debido a que respondió a criterios operativos e institucionales de EP-EMAPAG. Finalmente, los residuos del Modelo Lineal Mixto presentaron una desviación de normalidad; por esta razón, el resultado principal fue complementado con una prueba exacta de permutación, cuyos resultados mantuvieron la misma dirección y significancia estadística. Estas condiciones no invalidan los resultados obtenidos, pero sí establecen los límites dentro de los cuales deben ser interpretados.

5.2.Recomendaciones

Se recomienda a la Gerencia General de EP-EMAPAG, en coordinación con el área técnica responsable de la operación de la red, mantener durante los próximos 12 meses las acciones de reducción del agua no contabilizada en los sectores que presenten los mayores niveles de pérdidas. Como indicador de seguimiento deberá utilizarse el porcentaje mensual de ANC por sector, comparándolo con los valores registrados en el período anterior.

Se recomienda al área técnica de EP-EMAPAG realizar un seguimiento mensual de los sectores hidráulicos, manteniendo actualizados los registros de agua producida, agua facturada, porcentaje de ANC, presión de servicio y consumo. Esta actividad deberá implementarse de manera permanente, utilizando como indicador verificable la generación de un reporte mensual por cada sector hidráulico evaluado.

Se recomienda a EP-EMAPAG incorporar la evaluación estadística dentro de los procesos de seguimiento de las acciones orientadas a reducir el agua no contabilizada. Esta evaluación puede realizarse de manera semestral por el personal técnico encargado del análisis de la información, utilizando como indicador la elaboración de un informe comparativo que presente la evolución del ANC y los principales resultados obtenidos en los sectores intervenidos.

Se recomienda a la Gerencia General y al área técnica de EP-EMAPAG considerar la aplicación progresiva de este esquema de evaluación en otros sectores hidráulicos de la ciudad. La ampliación puede planificarse durante los siguientes 12 meses, priorizando los sectores con mayores niveles de ANC. Como indicador de cumplimiento se deberá registrar el número de nuevos sectores incorporados al seguimiento y contar con información mensual comparable antes y después de las acciones ejecutadas.

Se recomienda al área técnica y comercial de EP-EMAPAG fortalecer el control de la calidad de la información utilizada para el cálculo del agua no contabilizada, mediante la revisión periódica de los sistemas de macromedición y micromedición, así como la conciliación mensual entre los volúmenes de agua producida y facturada. Esta actividad deberá realizarse de manera permanente y quedar respaldada mediante un balance hídrico mensual por sector. Como indicador de cumplimiento se consideró la

disponibilidad de registros completos y consistentes de producción, facturación y ANC para cada sector hidráulico.

5.3.Líneas de investigación futura

A partir de las limitaciones identificadas en esta investigación, se considera conveniente que futuros estudios amplíen el período de observación mediante registros mensuales antes y después de la intervención, de manera que sea posible analizar tendencias y evaluar si los cambios observados se mantienen en el tiempo. También sería pertinente incorporar un mayor número de sectores hidráulicos y, cuando las condiciones institucionales lo permitan, utilizar diseños con una asignación más controlada de las unidades de análisis.

Otra línea de trabajo consiste en evaluar por separado los componentes del plan de intervención, como sectorización, control de presión, atención de fugas y acciones relacionadas con la medición, con el fin de identificar qué medidas aportan en mayor proporción a la reducción del ANC. Asimismo, sería útil desarrollar análisis de costo-beneficio utilizando información oficial sobre costos de producción, operación y facturación, lo que permitiría estimar con mayor precisión las implicaciones económicas de las reducciones observadas.

REFERENCIAS

Agencia de Regulación y Control del Agua. (2025). *Benchmarking de prestadores públicos de los servicios de agua potable y saneamiento en el Ecuador: Boletín estadístico 2023*. https://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/03/Boletin-Estadistico-APS_dic23_fnl.pdf

Alegre, H., Baptista, J. M., Cabrera, E., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W., y Parena, R. (2006). *Performance indicators for water supply services* (2.ª ed.). IWA Publishing.

Arregui, F., Cabrera, E., y Cobacho, R. (2006). *Integrated water meter management*. IWA Publishing.

Asamblea Constituyente del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Registro Oficial No. 449, 20 de octubre de 2008.

Asamblea Nacional del Ecuador. (2014). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua*. Segundo Suplemento del Registro Oficial No. 305, 6 de agosto de 2014.

Asamblea Nacional del Ecuador. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Registro Oficial Suplemento No. 983, 12 de abril de 2017.

Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2022). *Indicadores de desempeño de las EPSA reguladas en Bolivia: Gestión 2022. Tomo I.* https://www.aaps.gob.bo/wordpress/index.php/indicadores-de-desempeno/

Bertrand, M., Duflo, E., y Mullainathan, S. (2004). How much should we trust differences-in-differences estimates? *The Quarterly Journal of Economics, 119*(1), 249–275. https://doi.org/10.1162/003355304772839588

Bueno Herrera, D., Monroy Ávila, E., y Zafra Mejía, C. A. (2020). Análisis de agua no contabilizada en el sistema de abastecimiento urbano del municipio de Facatativá, Colombia. *Tecnura, 24*(63), 84–98. https://doi.org/10.14483/22487638.15333

Campbell, D. T., y Stanley, J. C. (1963). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Rand McNally.

Contreras, I., Carrillo, P. E., y Scartascini, C. (2021). *Turn off the faucet: Solving excess water consumption with individual meters*. Inter-American Development Bank. https://doi.org/10.18235/0003719

Farouk, A. M., Rahman, R. A., y Romali, N. S. (2023). Non-revenue water reduction strategies: A systematic review. *Smart and Sustainable Built Environment, 12*(1), 181–199. https://doi.org/10.1108/SASBE-04-2021-0071

Fitzmaurice, G. M., Laird, N. M., y Ware, J. H. (2011). *Applied longitudinal analysis* (2.ª ed.). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119513469

Gelman, A., Hill, J., y Vehtari, A. (2020). *Regression and other stories*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781139161879

Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guaranda. (2010). *Ordenanza de creación de la E-P. Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda*. Registro Oficial No. 69, 3 de septiembre de 2010.

Gomes, R., Sousa, J., y Sá Marques, A. (2014). Influence of future water demand patterns on the district metered areas design and benefits yielded by pressure management. *Procedia Engineering, 70*, 744–752. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.081

González Carrillo, B. D., y Rueda Meza, E. J. (2025). *Estudio para la reducción del índice de agua no contabilizada del sistema Tesalia, cantón Quito, provincia de Pichincha* [Trabajo de grado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Digital de la Universidad Central del Ecuador. https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/348fa9cd-0309-4efa-b161-0428d3f03740

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.

Hernández-Sampieri, R., y Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2022). *VIII Censo de Población y VII de Vivienda 2022*. INEC.

Jeuland, M., Orgill-Meyer, J., Morgan, S., Hudner, D., Pucilowski, M., Wyatt, A., Shafei, M., Cajka, J., y Albert, J. (2023). Impact evaluation of water infrastructure investments: Methods, challenges and demonstration from a large-scale urban improvement in Jordan. *Water Resources Research, 59*(6), e2022WR033897. https://doi.org/10.1029/2022WR033897

Kingdom, B., Liemberger, R., y Marin, P. (2006). *The challenge of reducing non-revenue water (NRW) in developing countries: How the private sector can help: A look at performance-based service contracting* (Water Supply and Sanitation Sector Board Discussion Paper Series No. 8). World Bank. https://documents.worldbank.org/curated/en/385761468330326484

Kingdom, B., Soppe, G., y Sy, J. (2016, 31 de agosto). *What is non-revenue water? How can we reduce it for better water service?* World Bank Blogs. https://blogs.worldbank.org/en/water/what-non-revenue-water-how-can-we-reduce-it-better-water-service

Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., y Li, W. (2005). *Applied linear statistical models* (5.ª ed.). McGraw-Hill/Irwin.

Lambert, A., y Hirner, W. (2000). *Losses from water supply systems: Standard terminology and recommended performance measures*. International Water Association.

Molinos-Senante, M., Villegas, A., y Maziotis, A. (2021). Measuring the marginal costs of reducing water leakage: The case of water and sewerage utilities in Chile. *Environmental Science and Pollution Research, 28*, 32733–32743. https://doi.org/10.1007/s11356-021-13048-9

Montgomery, D. C., Peck, E. A., y Vining, G. G. (2021). *Introduction to linear regression analysis* (6.ª ed.). Wiley.

OECD. (2019). *Water governance in Argentina*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/bc9ccbf6-en

Organización de las Naciones Unidas. (2021). *Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*. https://sdgs.un.org/goals/goal6

Presidencia de la República del Ecuador. (2015). *Reglamento a la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua* (Decreto Ejecutivo No. 650). Registro Oficial Suplemento No. 483, 20 de abril de 2015.

Secretaría Nacional de Planificación. (2021). *Plan de Creación de Oportunidades 2021–2025*. Secretaría Nacional de Planificación.

Shadish, W. R., Cook, T. D., y Campbell, D. T. (2002). *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference*. Houghton Mifflin.

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2025). *Agua no facturada en el Perú: Un desafío de gestión para las empresas prestadoras de servicios de agua potable* (Nota Técnica N.º 2025-002). https://www.gob.pe/institucion/sunass/informes-publicaciones/7375591-agua-no-facturada-en-el-peru-un-desafio-de-gestion-para-las-empresas-prestadoras-de-servicios-de-agua-potable

West, B. T., Welch, K. B., y Galecki, A. T. (2014). *Linear mixed models: A practical guide using statistical software* (2.ª ed.). CRC Press.

World Bank. (2021, 5 de noviembre). *Integrating transport and water investments for transformative change in Ecuador: The Manta experience*. https://www.worldbank.org/en/results/2021/11/05/integrating-transport-and-water-investments-for-transformative-change-in-ecuador-the-manta-experience

ANEXOS

Anexo A

Carta de autorización institucional

E-P. Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda
ep-emapag
trabajando por su salud y bienestar...

OF-Nº214-GER-EP. EMAPA-G

Guaranda, 05 de octubre de 2026

Señor, Ingeniero
Nikolay Wenceslao Vistín Vistín
Presente. –

De mi consideración:

En atención a la petición presentada por el Ing. Nikolay Wenceslao Vistín Vistín, la EP-EMAPAG – Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, una vez revisados los registros técnicos, operativos y comerciales disponibles, certifica la información correspondiente a los sectores hidráulicos detallados en el presente oficio, relacionada con agua producida, agua facturada, agua no contabilizada (ANC), porcentaje de ANC, presión de servicio, antigüedad de la red y consumo registrado.

Se deja constancia de que las acciones de intervención consideradas en los sectores señalados fueron ejecutadas durante el mes de julio de 2025. Para efectos del presente documento, los registros identificados como "Antes" corresponden a la información operativa y comercial del mes de julio de 2025, mientras que los registros identificados como "Después" corresponden a la información del mes de diciembre de 2025. Los valores consignados corresponden a registros mensuales disponibles para cada sector hidráulico y, por su naturaleza, no representan necesariamente mediciones efectuadas en una única fecha.

REGISTROS DE VOLUMEN Y AGUA NO CONTABILIZADA

Código	Sector hidráulico	Intervención ejecutada	Momento	Agua producida (m³)	Agua facturada (m³)	ANC (m³)	ANC (%)
S1	Alpachaca	Sí	Antes	12.800	7.424	5.376	42
S1	Alpachaca	Sí	Después	13.100	9.170	3.930	30
S2	Nuevo Guanujo	Sí	Antes	11.900	7.140	4.760	40
S2	Nuevo Guanujo	Sí	Después	12.300	8.856	3.444	28
S3	Primero de Mayo	Sí	Antes	14.200	7.810	6.390	45
S3	Primero de Mayo	Sí	Después	14.500	9.860	4.640	32
S4	Humberdina	Sí	Antes	12.600	7.182	5.418	43
S4	Humberdina	Sí	Después	13.000	8.970	4.030	31
S5	Coloma Román Norte	Sí	Antes	11.700	6.903	4.797	41

Dirección: Av. Guayaquil y Abraham Erazo. Teléfono: 032 983787 / 980696 www.emapag.gob.ec

Código	Sector hidráulico	Intervención ejecutada	Momento	Agua producida (m^3)	Agua facturada (m^3)	ANC (m^3)	ANC (%)
S5	Coloma Román Norte	Sí	Después	12.100	8.591	3.509	29
S6	Juán XXIII	No	Antes	12.400	7.564	4.836	39
S6	Juán XXIII	No	Después	12.600	7.812	4.788	38
S7	El Cortijo	No	Antes	11.600	7.308	4.292	37
S7	El Cortijo	No	Después	11.800	7.552	4.248	36
S8	Cuidadela Las Colinas	No	Antes	12.900	7.998	4.902	38
S8	Cuidadela Las Colinas	No	Después	13.100	8.253	4.847	37
S9	Marcopamba	No	Antes	11.200	7.168	4.032	36
S9	Marcopamba	No	Después	11.400	7.410	3.990	35
S10	Villa Nueva	No	Antes	13.600	8.160	5.440	40
S10	Villa Nueva	No	Después	13.900	8.479	5.421	39

CONSOLIDADO DE LOS SECTORES DETALLADOS

Momento	Período de registro	Agua producida (m^3)	Agua facturada (m^3)	ANC (m^3)	ANC (%)
Antes	Julio de 2025	124.900	74.657	50.243	40,23
Después	Diciembre de 2025	127.800	84.953	42.847	33,53

Los valores consolidados corresponden exclusivamente a los diez sectores hidráulicos detallados en este oficio.

La presente información se emite a petición del interesado, Ing. Nikolay Wenceslao Vistín Vistín, para los fines pertinentes.

Atentamente,

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
DARWIN ALEXIS POMAGUALLI AGUALONGO

Darwin A. Pomagualli Agualongo PhD.
GERENTE GENERAL DE LA EP. EMAPA-G
Cédula: 0603115429
Correo electrónico: gerencia@emapag.gob.ec
C.c.: Archivo

Anexo B

Formato de registro de datos utilizado para la investigación

Código	Sector hidráulico	Grupo	Momento	Agua producida (m^3)	Agua facturada (m^3)	Agua no contabilizada (%)	Observaciones
1	S-01	Intervención	Pre				
2	S-01	Intervención	Post				
3	S-02	Intervención	Pre				
4	S-02	Intervención	Post				
5	S-03	Intervención	Pre				
6	S-03	Intervención	Post				
7	S-04	Intervención	Pre				
8	S-04	Intervención	Post				
9	S-05	Intervención	Pre				
10	S-05	Intervención	Post				
11	S-06	Comparación	Pre				
12	S-06	Comparación	Post				
13	S-07	Comparación	Pre				
14	S-07	Comparación	Post				
15	S-08	Comparación	Pre				
16	S-08	Comparación	Post				
17	S-09	Comparación	Pre				
18	S-09	Comparación	Post				
19	S-10	Comparación	Pre				
20	S-10	Comparación	Post				

Nota: El presente formato representa la estructura utilizada para organizar y consolidar la información técnica empleada en el análisis estadístico. La base de datos definitiva fue utilizada para la estimación del Modelo Lineal Mixto (LMM) y el análisis complementario mediante ANCOVA.

Anexo C
Instrumento para levantamiento de fugas

Ficha de observación de fugas en la red de distribución

- Sector hidráulico: _____
- Ubicación exacta (calle/intersección): _____
- Tipo de fuga:
  ( ) Visible
  ( ) No visible (detectada por variación de caudal/presión)
- Diámetro aproximado de tubería: _____ mm
- Estado de reparación:
  ( ) Atendida
  ( ) Pendiente
- Fecha de detección: ____ / ____ / 2025
- Técnico responsable: _____

Anexo D
Consentimiento de uso de datos

CONSENTIMIENTO DE USO DE DATOS

Yo, **Nikolay Wenceslao Vistín Vistín**, estudiante de la **Maestría en Estadística Aplicada de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC)**, me comprometo a utilizar los datos proporcionados por la **Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (EP-EMAPAG)** exclusivamente con fines académicos y para el desarrollo de mi trabajo de titulación.

La información proporcionada será utilizada únicamente para los análisis correspondientes a la investigación y será presentada de forma agregada, respetando la confidencialidad de los registros institucionales y evitando la divulgación de información que no corresponda a los fines académicos del estudio.

Guaranda, 06 de octubre de 2026

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
NIKOLAY WENCESLAO
VISTIN VISTIN

Nikolay Wenceslao Vistín Vistín
Estudiante de la Maestría en Estadística Aplicada
Universidad Politécnica Estatal del Carchi – UPEC

Anexo E

Base de datos consolidada utilizada en la investigación

Sector	Grupo	Tiempo	ANC	Presión	Antigüedad	Consumo
S1	1	0	42	48	25	32
S1	1	1	30	47	25	33
S2	1	0	40	50	20	30
S2	1	1	28	49	20	31
S3	1	0	45	52	30	35
S3	1	1	32	50	30	34
S4	1	0	43	49	22	33
S4	1	1	31	48	22	32
S5	1	0	41	47	18	29
S5	1	1	29	46	18	30
S6	0	0	39	45	21	31
S6	0	1	38	45	21	30
S7	0	0	37	44	19	28
S7	0	1	36	44	19	29
S8	0	0	38	46	23	32
S8	0	1	37	46	23	31
S9	0	0	36	43	17	27
S9	0	1	35	43	17	26
S10	0	0	40	47	24	34
S10	0	1	39	47	24	33

Nota. Los valores utilizados en esta base corresponden a los registros técnicos, operativos y comerciales certificados por EP-EMAPAG mediante el Oficio N.º 214-GER-EP. EMAPA-G, de 5 de octubre de 2026. Para el procesamiento estadístico, Grupo se codificó como 1 = Intervención y 0 = Comparación, mientras que Tiempo se codificó como 0 = “Antes” y 1 = “Después”. Los valores originales no fueron modificados para ajustar los resultados de los modelos estadísticos.

Anexo F
Script en R para la reproducción y validación del análisis estadístico

El presente anexo contiene el script desarrollado en el software RStudio para la depuración de la base de datos, el análisis descriptivo, la estimación del Modelo Lineal Mixto (LMM), el análisis complementario mediante ANCOVA y la generación de tablas y gráficos empleados en la investigación. Su incorporación responde a los principios de transparencia, reproducibilidad y verificabilidad de la investigación científica, permitiendo que los procedimientos estadísticos utilizados puedan ser replicados o adaptados en futuras investigaciones con características similares.

```
# ============================================================
# Evaluación del efecto del plan integral de reducción del
# Agua No Contabilizada (ANC)
# ============================================================

# El archivo "Base de datos sectores.xlsx" debe estar en el
# mismo directorio de trabajo del script.
#
# Si los paquetes no están instalados, ejecutar una sola vez:
#
install.packages(c("readxl","dplyr","tidyr","ggplot2","janitor",
#                   "car","lme4","lmerTest","emmeans","rstatix"))

library(readxl)
library(dplyr)
library(tidyr)
library(ggplot2)
library(janitor)
library(car)
library(lme4)
library(lmerTest)
library(emmeans)
library(rstatix)

options(scipen = 999, digits = 4)

# ------------------------------------------------------------
# 1. IMPORTACIÓN Y PREPARACIÓN DE LOS DATOS
# ------------------------------------------------------------

archivo_datos <- "Base de datos sectores.xlsx"

datos <- read_excel(archivo_datos) |>
  clean_names()

variables_requeridas <- c(
  "sector","grupo","tiempo","anc",
  "presion","antiguedad","consumo"
)

variables_faltantes       <-       setdiff(variables_requeridas,
names(datos))

if (length(variables_faltantes) > 0) {
  stop(
    paste(
      "Faltan las variables:",
```

```
            paste(variables_faltantes, collapse = ", ")
          )
        )
      }

      datos <- datos |>
        mutate(
          sector = factor(sector),
          grupo = factor(
            grupo,
            levels = c(0, 1),
            labels = c("Comparación", "Intervención")
          ),
          tiempo = factor(
            tiempo,
            levels = c(0, 1),
            labels = c("Antes", "Después")
          )
        )

      if (anyNA(datos)) {
        stop("La base contiene valores faltantes.")
      }

      if (any(table(datos$sector) != 2)) {
        stop("Cada sector debe tener exactamente dos mediciones: Antes
y Después.")
      }

      formatear_p <- function(x) {
        ifelse(
          is.na(x),
          NA_character_,
          ifelse(
            x < 0.001,
            "< 0,001",
            sub("\\.", ",", sprintf("%.3f", x))
          )
        )
      }

      mostrar_tabla <- function(titulo, tabla, digitos = 3) {
        salida <- as.data.frame(tabla)

        columnas_p <- intersect(c("p", "p_bilateral"), names(salida))
        for (col in columnas_p) {
          salida[[col]] <- formatear_p(salida[[col]])
        }

        columnas_numericas <- names(salida)[vapply(salida, is.numeric,
logical(1))]
        salida[columnas_numericas] <- lapply(
          salida[columnas_numericas],
          round,
          digits = digitos
        )

        cat("\n", titulo, "\n", sep = "")
        print(salida, row.names = FALSE)
```

```
  invisible(salida)
}

# ------------------------------------------------------------
# 2. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA
# ------------------------------------------------------------

tabla_descriptivos <- datos |>
  group_by(grupo, tiempo) |>
  summarise(
    N = n(),
    Media = mean(anc),
    DE = sd(anc),
    Mediana = median(anc),
    Minimo = min(anc),
    Maximo = max(anc),
    EE = DE / sqrt(N),
    IC95_inferior = Media - qt(0.975, N - 1) * EE,
    IC95_superior = Media + qt(0.975, N - 1) * EE,
    .groups = "drop"
  ) |>
  transmute(
    Grupo = grupo,
    Momento = tiempo,
    N,
    Media,
    DE,
    Mediana,
    Minimo,
    Maximo,
    IC95_inferior,
    IC95_superior
  )

mostrar_tabla(
  "TABLA 6. Estadísticos descriptivos del ANC por grupo y momento",
  tabla_descriptivos
)

tabla_operativas <- datos |>
  group_by(grupo, tiempo) |>
  summarise(
    Presion_media = mean(presion),
    Presion_DE = sd(presion),
    Antiguedad_media = mean(antiguedad),
    Antiguedad_DE = sd(antiguedad),
    Consumo_medio = mean(consumo),
    Consumo_DE = sd(consumo),
    .groups = "drop"
  ) |>
  transmute(
    Grupo = grupo,
    Momento = tiempo,
    Presion_media,
    Presion_DE,
    Antiguedad_media,
    Antiguedad_DE,
    Consumo_medio,
    Consumo_DE
```

```
    )

  mostrar_tabla(
    "TABLA 7. Caracterización descriptiva de las variables
operativas",
    tabla_operativas
  )

  # Figura: evolución promedio del ANC por grupo y momento
  grafica_interaccion <- ggplot(
    tabla_descriptivos,
    aes(x = Momento, y = Media, color = Grupo, group = Grupo)
  ) +
    geom_line(linewidth = 1) +
    geom_point(size = 3) +
    geom_errorbar(
      aes(ymin = IC95_inferior, ymax = IC95_superior),
      width = 0.10
    ) +
    labs(
      x = "Momento de evaluación",
      y = "Agua no contabilizada (%)",
      color = "Grupo"
    ) +
    theme_classic(base_size = 12)

  print(grafica_interaccion)

  # Figura: distribución del ANC por grupo y momento
  grafica_distribucion <- ggplot(
    datos,
    aes(x = tiempo, y = anc, fill = grupo)
  ) +
    geom_boxplot(
      alpha = 0.70,
      width = 0.60,
      outlier.shape = NA
    ) +
    geom_jitter(
      aes(color = grupo),
      width = 0.08,
      size = 2,
      alpha = 0.85,
      show.legend = FALSE
    ) +
    labs(
      x = "Momento de evaluación",
      y = "Agua no contabilizada (%)",
      fill = "Grupo"
    ) +
    theme_classic(base_size = 12)

  print(grafica_distribucion)

  # ------------------------------------------------------------
  # 3. VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DEL MODELO LINEAL MIXTO
  # ------------------------------------------------------------

  normalidad_celdas <- datos |>
```

```
  group_by(grupo, tiempo) |>
  shapiro_test(anc) |>
  transmute(
    Supuesto = paste(
      "Normalidad:",
      as.character(grupo),
      "-",
      as.character(tiempo)
    ),
    Estadistico = statistic,
    p = p,
    Decision = ifelse(
      p >= 0.05,
      "No se rechaza",
      "Se rechaza"
    )
  )

levene_obj <- leveneTest(
  anc ~ grupo * tiempo,
  data = datos
)

fila_levene <- data.frame(
  Supuesto = "Homogeneidad de varianzas",
  Estadistico = levene_obj[1, "F value"],
  p = levene_obj[1, "Pr(>F)"],
  Decision = ifelse(
    levene_obj[1, "Pr(>F)"] >= 0.05,
    "No se rechaza",
    "Se rechaza"
  )
)

# ------------------------------------------------------------
# 4. MODELO LINEAL MIXTO (LMM)
# ------------------------------------------------------------

modelo_lmm <- lmer(
  anc ~ grupo * tiempo + (1 | sector),
  data = datos,
  REML = TRUE
)

# Coeficientes e intervalos de confianza
coef_lmm <- as.data.frame(coef(summary(modelo_lmm)))
coef_lmm$efecto_original <- rownames(coef_lmm)
rownames(coef_lmm) <- NULL

ic_coef_lmm <- as.data.frame(
  confint(
    modelo_lmm,
    parm = "beta_",
    level = 0.95,
    method = "Wald"
  )
)

ic_coef_lmm$efecto_original <- rownames(ic_coef_lmm)
```

```
rownames(ic_coef_lmm) <- NULL
names(ic_coef_lmm)[1:2] <- c("IC95_inferior", "IC95_superior")

coef_lmm <- left_join(
  coef_lmm,
  ic_coef_lmm,
  by = "efecto_original"
)

tabla_coef_lmm <- coef_lmm |>
  mutate(
    Parametro = dplyr::recode(
      efecto_original,
      "(Intercept)" = "Intercepto",
      "grupoIntervención" = "Grupo: intervención",
      "tiempoDespués" = "Momento: después",
      "grupoIntervención:tiempoDespués" = "Grupo × momento"
    )
  ) |>
  transmute(
    Parametro,
    Estimacion = Estimate,
    Error_estandar = `Std. Error`,
    IC95_inferior,
    IC95_superior,
    gl = df,
    t = `t value`,
    p = `Pr(>|t|)`
  )

mostrar_tabla(
  "TABLA 9. Coeficientes estimados del Modelo Lineal Mixto",
  tabla_coef_lmm
)

# ANOVA tipo III
anova_lmm_obj <- anova(
  modelo_lmm,
  type = 3,
  ddf = "Satterthwaite"
)

tabla_anova_lmm <- as.data.frame(anova_lmm_obj)
tabla_anova_lmm$efecto_original <- rownames(tabla_anova_lmm)
rownames(tabla_anova_lmm) <- NULL

tabla_anova_lmm <- tabla_anova_lmm |>
  mutate(
    Efecto = dplyr::recode(
      efecto_original,
      "grupo" = "Grupo",
      "tiempo" = "Momento",
      "grupo:tiempo" = "Grupo × momento"
    )
  ) |>
  transmute(
    Efecto,
    SC = `Sum Sq`,
    gl_num = NumDF,
```

```
          gl_den = DenDF,
          F = `F value`,
          p = `Pr(>F)`
        )

      mostrar_tabla(
        "TABLA 10. Análisis de varianza tipo III del Modelo Lineal
Mixto",
        tabla_anova_lmm
      )

      # Medias marginales estimadas
      medias_lmm <- emmeans(
        modelo_lmm,
        ~ grupo * tiempo
      )

      tabla_medias_lmm <- as.data.frame(medias_lmm) |>
        transmute(
          Grupo = grupo,
          Momento = tiempo,
          Media_ajustada = emmean,
          Error_estandar = SE,
          gl = df,
          IC95_inferior = lower.CL,
          IC95_superior = upper.CL
        )

      mostrar_tabla(
        "TABLA 11. Medias marginales estimadas del ANC por grupo y
momento",
        tabla_medias_lmm
      )

      # Cambios temporales dentro de cada grupo
      contrastes_tiempo <- contrast(
        emmeans(modelo_lmm, ~ tiempo | grupo),
        method = "pairwise",
        adjust = "none"
      )

      tabla_contrastes_tiempo <- as.data.frame(
        summary(
          contrastes_tiempo,
          infer = c(TRUE, TRUE),
          level = 0.95
        )
      ) |>
        transmute(
          Grupo = grupo,
          Comparacion = "Antes - después",
          Diferencia = estimate,
          Error_estandar = SE,
          IC95_inferior = lower.CL,
          IC95_superior = upper.CL,
          gl = df,
          t = t.ratio,
          p = p.value
        )
```

```
mostrar_tabla(
  "TABLA 12. Cambios temporales del ANC dentro de cada grupo",
  tabla_contrastes_tiempo
)

# Comparaciones entre grupos en cada momento
contrastes_grupo <- contrast(
  emmeans(modelo_lmm, ~ grupo | tiempo),
  method = "pairwise",
  adjust = "none"
)

tabla_contrastes_grupo <- as.data.frame(
  summary(
    contrastes_grupo,
    infer = c(TRUE, TRUE),
    level = 0.95
  )
) |>
  transmute(
    Momento = tiempo,
    Comparacion = "Comparación – intervención",
    Diferencia = estimate,
    Error_estandar = SE,
    IC95_inferior = lower.CL,
    IC95_superior = upper.CL,
    gl = df,
    t = t.ratio,
    p = p.value
  )

mostrar_tabla(
  "TABLA 13. Contrastes entre grupos según el momento de
evaluación",
  tabla_contrastes_grupo
)

# Diferencia de diferencias: interacción grupo × momento
contraste_interaccion <- contrast(
  medias_lmm,
  interaction = "revpairwise",
  adjust = "none"
)

tabla_interaccion <- as.data.frame(
  summary(
    contraste_interaccion,
    infer = c(TRUE, TRUE),
    level = 0.95
  )
) |>
  transmute(
    Comparacion = "Diferencia de diferencias",
    Estimacion = estimate,
    Error_estandar = SE,
    IC95_inferior = lower.CL,
    IC95_superior = upper.CL,
    gl = df,
```

```
    t = t.ratio,
    p = p.value
  )

mostrar_tabla(
  "TABLA 14. Contraste de interacción grupo por momento",
  tabla_interaccion
)

# Componentes de varianza e ICC
varcomp_lmm <- as.data.frame(VarCorr(modelo_lmm))

var_sector <- varcomp_lmm |>
  filter(
    grp == "sector",
    var1 == "(Intercept)"
  ) |>
  pull(vcov)

var_residual <- sigma(modelo_lmm)^2
icc_lmm <- var_sector / (var_sector + var_residual)

tabla_varianza_lmm <- data.frame(
  Componente = c(
    "Varianza entre sectores",
    "Varianza residual",
    "ICC"
  ),
  Estimacion = c(
    var_sector,
    var_residual,
    icc_lmm
  )
)

mostrar_tabla(
  "RESULTADO AUXILIAR. Componentes de varianza e ICC del LMM",
  tabla_varianza_lmm
)

# Residuos del LMM
residuos_lmm <- residuals(modelo_lmm)
ajustados_lmm <- fitted(modelo_lmm)

shapiro_lmm <- shapiro.test(residuos_lmm)

fila_shapiro_lmm <- data.frame(
  Supuesto = "Normalidad de los residuos del LMM",
  Estadistico = unname(shapiro_lmm$statistic),
  p = shapiro_lmm$p.value,
  Decision = ifelse(
    shapiro_lmm$p.value >= 0.05,
    "No se rechaza",
    "Se rechaza"
  )
)

tabla_supuestos_lmm <- bind_rows(
  normalidad_celdas,
```

```
  fila_levene,
  fila_shapiro_lmm
)

mostrar_tabla(
  "TABLA 8. Verificación de supuestos del Modelo Lineal Mixto",
  tabla_supuestos_lmm
)

# Figura: diagnóstico de residuos del LMM
par(mfrow = c(1, 2))

qqnorm(
  residuos_lmm,
  main = "Q-Q Plot de los residuos"
)
qqline(
  residuos_lmm,
  col = "red",
  lwd = 2
)

plot(
  ajustados_lmm,
  residuos_lmm,
  pch = 19,
  xlab = "Valores ajustados",
  ylab = "Residuos",
  main = "Residuos vs valores ajustados"
)
abline(
  h = 0,
  col = "red",
  lwd = 2
)

par(mfrow = c(1, 1))

# ------------------------------------------------------------
# 5. ANCOVA
# ------------------------------------------------------------

datos_ancova <- datos |>
  select(sector, grupo, tiempo, anc) |>
  mutate(
    momento = dplyr::recode(
      as.character(tiempo),
      "Antes" = "antes",
      "Después" = "despues"
    )
  ) |>
  select(-tiempo) |>
  pivot_wider(
    names_from = momento,
    values_from = anc,
    names_prefix = "anc_"
  )

# Homogeneidad de pendientes
```

```
      modelo_pendientes <- lm(
        anc_despues ~ grupo * anc_antes,
        data = datos_ancova
      )

      anova_pendientes <- Anova(
        modelo_pendientes,
        type = 3
      )

      estad_pendientes <- anova_pendientes[
        "grupo:anc_antes",
        "F value"
      ]

      p_pendientes <- anova_pendientes[
        "grupo:anc_antes",
        "Pr(>F)"
      ]

      # Modelo ANCOVA
      modelo_ancova <- lm(
        anc_despues ~ grupo + anc_antes,
        data = datos_ancova
      )

      anova_ancova_obj <- Anova(
        modelo_ancova,
        type = 3
      )

      tabla_anova_ancova <- as.data.frame(anova_ancova_obj)
      tabla_anova_ancova$efecto_original                                    <-
rownames(tabla_anova_ancova)
      rownames(tabla_anova_ancova) <- NULL

      ss_error <- tabla_anova_ancova |>
        filter(efecto_original == "Residuals") |>
        pull(`Sum Sq`)

      tabla_anova_ancova <- tabla_anova_ancova |>
        filter(
          efecto_original != "Residuals",
          efecto_original != "(Intercept)"
        ) |>
        mutate(
          Efecto = dplyr::recode(
            efecto_original,
            "grupo" = "Grupo",
            "anc_antes" = "ANC inicial"
          ),
          Eta2_parcial = `Sum Sq` / (`Sum Sq` + ss_error)
        ) |>
        transmute(
          Efecto,
          SC = `Sum Sq`,
          gl = Df,
          F = `F value`,
          p = `Pr(>F)`,
```

```
      Eta2_parcial
    )

  # Supuestos de ANCOVA
  shapiro_ancova <- shapiro.test(
    residuals(modelo_ancova)
  )

  levene_ancova <- leveneTest(
    residuals(modelo_ancova) ~ datos_ancova$grupo
  )

  tabla_supuestos_ancova <- data.frame(
    Supuesto = c(
      "Homogeneidad de pendientes",
      "Normalidad de los residuos",
      "Homogeneidad de varianzas"
    ),
    Estadistico = c(
      estad_pendientes,
      unname(shapiro_ancova$statistic),
      levene_ancova[1, "F value"]
    ),
    p = c(
      p_pendientes,
      shapiro_ancova$p.value,
      levene_ancova[1, "Pr(>F)"]
    ),
    Decision = c(
      ifelse(p_pendientes >= 0.05, "No se rechaza", "Se rechaza"),
      ifelse(
        shapiro_ancova$p.value >= 0.05,
        "No se rechaza",
        "Se rechaza"
      ),
      ifelse(
        levene_ancova[1, "Pr(>F)"] >= 0.05,
        "No se rechaza",
        "Se rechaza"
      )
    )
  )

  mostrar_tabla(
    "TABLA 15. Verificación de los supuestos para la aplicación de
la ANCOVA",
    tabla_supuestos_ancova
  )

  mostrar_tabla(
    "TABLA 16. Análisis de covarianza del ANC posterior",
    tabla_anova_ancova
  )

  # Medias ajustadas
  medias_ancova <- emmeans(
    modelo_ancova,
    ~ grupo
  )
```

```
tabla_medias_ancova <- as.data.frame(medias_ancova) |>
  transmute(
    Grupo = grupo,
    Media_ajustada = emmean,
    Error_estandar = SE,
    gl = df,
    IC95_inferior = lower.CL,
    IC95_superior = upper.CL
  )

mostrar_tabla(
  "TABLA 17. Medias ajustadas del ANC posterior según el grupo",
  tabla_medias_ancova
)

# Diferencia ajustada entre grupos
comparacion_ancova <- contrast(
  medias_ancova,
  method = "pairwise",
  adjust = "none"
)

tabla_comparacion_ancova <- as.data.frame(
  summary(
    comparacion_ancova,
    infer = c(TRUE, TRUE),
    level = 0.95
  )
) |>
  transmute(
    Comparacion = "Comparación – intervención",
    Diferencia_ajustada = estimate,
    Error_estandar = SE,
    IC95_inferior = lower.CL,
    IC95_superior = upper.CL,
    gl = df,
    t = t.ratio,
    p = p.value
  )

mostrar_tabla(
  "TABLA 18. Diferencia ajustada del ANC posterior entre grupos",
  tabla_comparacion_ancova
)

# Gráfico diagnóstico: linealidad ANC inicial vs ANC posterior
grafica_linealidad_ancova <- ggplot(
  datos_ancova,
  aes(
    x = anc_antes,
    y = anc_despues,
    color = grupo
  )
) +
  geom_point(size = 3) +
  geom_smooth(
    method = "lm",
    formula = y ~ x,
```

```
    se = FALSE
  ) +
  labs(
    x = "ANC en el momento Antes (%)",
    y = "ANC en el momento Después (%)",
    color = "Grupo"
  ) +
  theme_classic(base_size = 12)

print(grafica_linealidad_ancova)

# ------------------------------------------------------------
# 6. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD: PERMUTACIÓN EXACTA
# ------------------------------------------------------------

cambios_sector <- datos_ancova |>
  mutate(
    cambio = anc_despues - anc_antes
  )

cambio_intervencion <- cambios_sector |>
  filter(grupo == "Intervención") |>
  summarise(media = mean(cambio)) |>
  pull(media)

cambio_comparacion <- cambios_sector |>
  filter(grupo == "Comparación") |>
  summarise(media = mean(cambio)) |>
  pull(media)

dif_observada <- cambio_intervencion - cambio_comparacion

n_intervencion <- sum(
  cambios_sector$grupo == "Intervención"
)

combinaciones <- combn(
  seq_len(nrow(cambios_sector)),
  n_intervencion
)

dif_permutadas <- apply(
  combinaciones,
  2,
  function(idx) {
    mean(cambios_sector$cambio[idx]) -
      mean(cambios_sector$cambio[-idx])
  }
)

tolerancia <- sqrt(.Machine$double.eps)

p_permutacion <- mean(
  abs(dif_permutadas) >=
    abs(dif_observada) - tolerancia
)

tabla_sensibilidad <- data.frame(
  Cambio_medio_intervencion = cambio_intervencion,
```

```
        Cambio_medio_comparacion = cambio_comparacion,
        Diferencia_de_diferencias = dif_observada,
        Permutaciones = length(dif_permutadas),
        p_bilateral = p_permutacion
      )

      mostrar_tabla(
        "RESULTADO AUXILIAR. Análisis de sensibilidad mediante
permutación exacta",
        tabla_sensibilidad
      )

      cat(
        "\nANÁLISIS FINALIZADO.\n",
        "Las tablas se muestran en la consola y las figuras en el panel
Plots de R/RStudio.\n",
        sep = ""
      )
```

Anexo G

Evidencia fotográfica de la implementación del plan integral

El presente anexo presenta una selección de evidencias fotográficas correspondientes a las principales actividades desarrolladas durante la implementación del plan integral de reducción del agua no contabilizada en la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda. Las imágenes ilustran algunas de las acciones ejecutadas en campo como parte de la intervención realizada.

Figura G 1

Instalación de válvulas para la sectorización de la red



Nota. Registro fotográfico de la instalación de válvulas como parte de las actividades de sectorización de la red de distribución. Proporcionado por EP-EMAPAG (2026).

Figura G 2

Reemplazo de micromedidores que cumplieron su vida útil



Nota. Registro fotográfico del reemplazo de micromedidores que cumplieron su vida útil en los sectores intervenidos. Proporcionado por EP-EMAPAG (2026).

Figura G 3

Instalación de válvula de aire en la red de distribución



Nota. Registro fotográfico de la instalación de una válvula de aire como parte de las acciones de mejoramiento de la red de distribución. Proporcionado por EP-EMAPAG (2026).

Figura G 4

Reemplazo de micromedidor domiciliario



Nota. Registro fotográfico del reemplazo de un micromedidor domiciliario realizado durante la intervención. Proporcionado por EP-EMAPAG (2026).

Figura G 5

Instalación de válvula de corte



Nota. Registro fotográfico de la instalación de una válvula de corte para mejorar el control operativo de la red. Proporcionado por EP-EMAPAG (2026).

Figura G 6

Comprobación de caudal y velocidad en la red de distribución



Nota. Registro fotográfico de la comprobación de caudal y velocidad realizada en la red de distribución durante las actividades de control operativo. Proporcionado por EP-EMAPAG (2026).

Figura G 7

Identificación de fugas en la red de distribución



Nota. Registro fotográfico de las actividades de identificación de fugas efectuadas en la red de distribución. Proporcionado por EP-EMAPAG (2026).

Figura G 8

Identificación de accesorio dañado en la red de distribución



Nota. Registro fotográfico de un accesorio deteriorado identificado durante la inspección de la red de distribución. Proporcionado por EP-EMAPAG (2026).

Figura G 9

Instalación de cajas de protección para micromedidores



Nota. Registro fotográfico de la instalación de cajas de protección destinadas a los micromedidores domiciliarios. Proporcionado por EP-EMAPAG (2026).

Figura G 10

Sectorización de la red de distribución



Nota. Registro fotográfico de trabajos realizados como parte del proceso de sectorización de la red de distribución. Proporcionado por EP-EMAPAG (2026).

Figura G 11

Reparación de daños en la red de distribución



Nota. Registro fotográfico de trabajos de reparación de daños identificados en la red de distribución. Proporcionado por EP-EMAPAG (2026).

Figura G 12

Reparación de fugas en la red de distribución



Nota. Registro fotográfico de actividades de reparación de fugas ejecutadas en la red de distribución. Proporcionado por EP-EMAPAG (2026).

Figura G 13

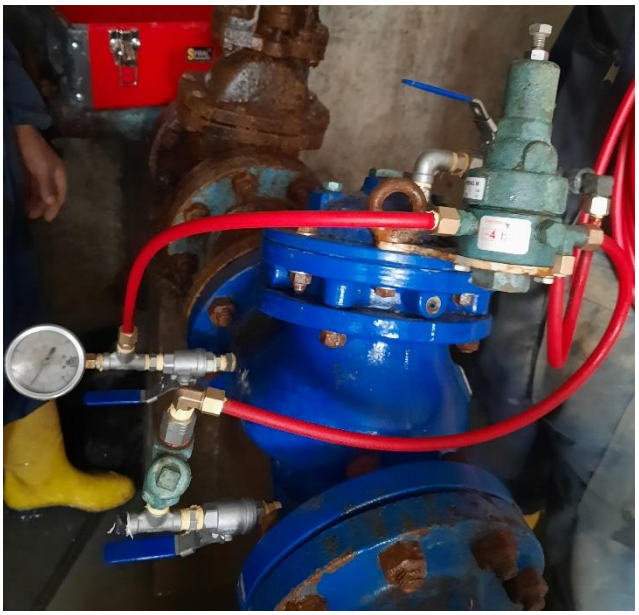
Mantenimiento de válvulas reductoras de presión



Nota. Registro fotográfico de las actividades de mantenimiento realizadas en válvulas reductoras de presión. Proporcionado por EP-EMAPAG (2026).

Figura G 14

Instalación de válvula reductora de presión



Nota. Registro fotográfico de la instalación de una válvula reductora de presión como parte de las acciones de control de la red. Proporcionado por EP-EMAPAG (2026).

Figura G 15

Sectorización de tramos de la red de distribución



Nota. Registro fotográfico de los trabajos de sectorización efectuados en diferentes tramos de la red de distribución. Proporcionado por EP-EMAPAG (2026).

Figura G 16

Comprobación del estado de micromedidores en banco de pruebas



Nota. Registro fotográfico de la verificación del estado y funcionamiento de micromedidores mediante banco de pruebas. Proporcionado por EP-EMAPAG (2026).

Figura G 17

Instalación de macromedidores en la red de distribución



Nota. Registro fotográfico de la instalación de macromedidores para el control de caudales en la red de distribución. Proporcionado por EP-EMAPAG (2026).

Figura G 18

Toma de datos de macromedición en la red de distribución



Nota. Registro fotográfico de la toma de datos de macromedición realizada para el seguimiento operativo de la red de distribución. Proporcionado por EP-EMAPAG (2026).