



UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO
FACULTAD DE POSGRADO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ARTÍCULOS PROFESIONALES DE ALTO NIVEL
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN QUÍMICA

TEMA:

Determinación de metales en aguas residuales domésticas de la población
Santa Fe, del cantón Guaranda.

Autor:

Ing. Jerry Leodan Mena Nagua
Ing. Kristina Estefanía Velarde Escobar

Director:

Dra. Yonaiker del Mar Navas Montes

Milagro, 2026

Determinación de metales en aguas residuales domésticas de la población Santa Fe, cantón Guaranda

Determination of metals in domestic wastewater from Santa Fe, Guaranda canton

Jerry Leodan Mena Nagua ^{1,2}; Kristina Estefanía Velarde Escobar ¹; Yonaiker del Mar Navas-Montes ^{1,3}.

¹ Facultad de posgrados, Maestría en química, Universidad Estatal de Milagro, Milagro, Provincia del Guayas 091050, Ecuador

² Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

³ Universidad Estatal Península de Santa Elena

Resumen: *El presente estudio tuvo como objetivo determinar las concentraciones de metales pesados presentes en aguas residuales domésticas de la población de Santa Fe y evaluar complementariamente la calidad físico-química y microbiológica del efluente, se desarrolló una investigación observacional, descriptiva y de corte transversal con enfoque cuantitativo mediante la recolección de muestras compuestas de 24 horas en dos puntos estratégicos: la descarga principal del sistema de alcantarillado doméstico (ARSF-DP) y la zona de mezcla del cuerpo receptor (ARSF-Q), durante un día laborable y un día no laborable, las concentraciones Pb, As, Cu, Zn y Cr total fueron determinadas mediante espectrofotometría UV-Visible con métodos colorimétricos estandarizado, los resultados evidenciaron concentraciones bajas de metales pesados y dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre puntos de muestreo ($p > 0,05$), lo que indica una distribución homogénea de estos elementos en el sistema estudiado. Sin embargo, se identificaron incumplimientos relevantes en DBO₅, DQO, SST, grasas y aceites, surfactantes aniónicos y parámetros microbiológicos. En conjunto el estudio establece que la principal presión ambiental en el sistema evaluado no está asociada a contaminación metálica, sino a carga orgánica y sanitaria derivada de descargas domésticas sin tratamiento adecuado, además es importante recalcar que este estudio aporta una línea base técnica útil para procesos de monitoreo, planificación sanitaria y gestión del recurso hídrico en zonas rurales andinas.*

Palabras Clave: *aguas residuales domésticas, contaminación del agua, gestión del agua, línea base, metales pesados, región andina*

Abstract: *This study aimed to determine the concentrations of heavy metals present in domestic wastewater from the Santa Fe population and to complementarily evaluate the physicochemical and microbiological quality of the effluent. An observational, descriptive, and cross-sectional study with a quantitative approach was conducted through the collection of 24-hour composite samples at two strategic points: the main discharge of the domestic sewer system (ARSF-DP) and the mixing zone of the receiving water body (ARSF-Q), during one working day and one non-working day. Concentrations of Pb, As, Cu, Zn, and total Cr were determined by UV-Visible spectrophotometry using standardized colorimetric methods. The results showed low concentrations of heavy metals within the maximum permissible limits established by Ecuadorian environmental regulations. No statistically significant differences were observed between sampling points ($p > 0.05$), indicating a homogeneous distribution of these elements within the studied system. However, relevant non-compliance was identified for biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, total suspended solids, oils and grease, anionic surfactants, and microbiological parameters. Overall, the study establishes that the main environmental pressure in the evaluated system is not associated with metallic contamination, but rather with organic and sanitary loads derived from untreated domestic wastewater discharges. In addition, it is important to emphasize that this study provides a useful technical baseline for environmental monitoring, sanitation planning, and water resource management in rural Andean areas.*

Keywords: domestic wastewater, water pollution, heavy metals, water management, baseline, Andean region

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación de cuerpos hídricos por descargas residuales constituye una de las principales problemáticas ambientales contemporáneas, especialmente en territorios donde la infraestructura sanitaria no ha evolucionado al mismo ritmo que el crecimiento poblacional, en la actualidad, se reconoce que las aguas residuales domésticas, anteriormente consideradas de bajo impacto relativo, pueden contener metales pesados y otros contaminantes capaces de generar riesgos ecológicos y sanitarios incluso a bajas concentraciones (Jiménez-Oyola et al., 2021). La presencia de estos elementos en sistemas de alcantarillado y cuerpos receptores requiere monitoreo permanente, debido a su persistencia ambiental y potencial acumulativo.

Los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales, especialmente los procesos primarios y secundarios, no siempre logran remover de manera eficiente metales pesados presentes en forma disuelta o asociada a partículas finas, como consecuencia, una fracción de estos contaminantes puede permanecer en el efluente final o transferirse a lodos residuales, favoreciendo su acumulación progresiva en sedimentos y organismos de los ecosistemas receptores (Uddin et al., 2021). En este contexto, la incorporación de tecnologías terciarias, como precipitación química, adsorción o intercambio iónico, resulta relevante para mejorar la calidad ambiental de las descargas.

En América Latina persisten limitaciones estructurales en cobertura de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, particularmente en zonas rurales y peri urbanas. Diversos estudios señalan que numerosas plantas de tratamiento operan sin procesos terciarios como precipitación química, adsorción o intercambio iónico, tecnologías fundamentales para la remoción de metales y otros contaminantes persistentes (Guzmán Sánchez et al., 2024). En numerosos asentamientos pequeños, las descargas continúan siendo conducidas directamente hacia quebradas o ríos sin tratamiento adecuado, situación que incrementa riesgos ecológicos, deterioro paisajístico, proliferación microbiológica y conflictos por uso del recurso hídrico (Guzmán Sánchez et al., 2024).

La parroquia Santa Fe presenta limitaciones estructurales en su sistema de saneamiento, el alcantarillado existente es de tipo mixto (sanitario-pluvial) y descarga aguas residuales sin tratamiento hacia una quebrada afluente del río Salinas (Haga Moreira & Rosales Herrera, 2022). De acuerdo con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) 2024-2028 del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Bolívar (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Bolívar GADPB, 2024), solo el 42 % de las viviendas a nivel provincial dispone de conexión a red pública de alcantarillado, persistiendo descargas directas hacia cuerpos de agua. Esta cobertura insuficiente, sumada al envejecimiento de la infraestructura, incrementa el riesgo de deterioro operacional y posibles aportes contaminantes al sistema hídrico receptor.

A diferencia de las fuentes industriales puntuales, las descargas domésticas constituyen una fuente difusa de contaminación, caracterizada por múltiples aportes dispersos, los metales pueden originarse no solo en actividades productivas, sino también en productos de uso cotidiano, como fármacos, detergentes, pigmentos y microplásticos, así como en la propia infraestructura urbana, incluyendo plomo en soldaduras o zinc en superficies galvanizadas (Liu

et al., 2021). Sin embargo, no existen monitoreos sistemáticos que permitan determinar las concentraciones reales de metales en estos efluentes ni verificar su cumplimiento con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA). Esta ausencia de información técnica limita el control ambiental y la evaluación del impacto acumulativo sobre los ecosistemas receptores.

En contextos rurales con infraestructura sanitaria limitada, los cuerpos receptores aguas abajo pueden destinarse a riego agrícola, incrementando el riesgo de transferencia de metales hacia suelos y cultivos. Debido a su persistencia y capacidad de acumulación en sedimentos y matrices edáficas, estos elementos pueden incorporarse progresivamente a cadenas tróficas y representar riesgos ecológicos y sanitarios a largo plazo (Alengebawy et al., 2021). En este sentido, la falta de una línea base local impide establecer el fondo geoquímico de referencia y cuantificar la contribución relativa de las descargas domésticas frente a futuros cambios en el uso del suelo o nuevas actividades productivas.

Bajo este contexto, el objetivo del presente estudio fue determinar las concentraciones de metales pesados en las aguas residuales domésticas de la población de Santa Fe mediante espectrofotometría UV-Visible, con el fin de evaluar la calidad ambiental del efluente y su cumplimiento con la normativa ecuatoriana vigente. De manera complementaria, se caracterizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para establecer una línea base técnica que contribuya a la gestión del recurso hídrico y al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6: Agua limpia y saneamiento.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se desarrolló un estudio observacional, descriptivo y de corte transversal, con enfoque cuantitativo, orientado a la determinación y análisis de concentraciones de metales en aguas residuales domésticas. La investigación se ejecutó en la parroquia Santa Fe, donde se seleccionaron dos puntos de monitoreo (PM) asociados al sistema local de alcantarillado y su cuerpo receptor, considerando criterios de representatividad hidráulica y flujo continuo. El diseño metodológico se estructuró con el propósito de evaluar el comportamiento del efluente doméstico en su punto principal de descarga y en su tramo receptor inmediato, a fin de obtener una caracterización técnica de la calidad del agua bajo condiciones reales del sistema evaluado.

Los PM fueron definidos como ARSF-DP y ARSF-Q, siendo el punto ARSF-DP definido como la descarga principal del sistema de alcantarillado doméstico, representativa del efluente

en origen antes de su incorporación al cuerpo receptor, por otra parte, ARSF-Q correspondió a la zona de mezcla localizada en la quebrada receptora, utilizada para evaluar el comportamiento inicial del efluente luego de su descarga. La selección de ambos PM permitió contrastar la calidad del agua entre el punto de emisión y el tramo receptor inmediato, aportando una referencia espacial del comportamiento del sistema.

Figura 1 Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo (PM) en la parroquia Santa Fe, cantón Guaranda, provincia Bolívar



Nota: La figura debe presentar la localización espacial de los puntos ARSF-DP y ARSF-Q sobre la red hidrográfica local, incluyendo coordenadas geográficas, dirección de flujo del sistema receptor y delimitación territorial de la parroquia Santa Fe

La parroquia Santa Fe se localiza en el cantón Guaranda, provincia Bolívar, en la región interandina central del Ecuador, en un entorno montañoso caracterizado por pendientes moderadas y presencia de quebradas de régimen pluvial que descargan hacia el río Salinas. De acuerdo con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) 2024-2028 del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Bolívar (2024), el territorio presenta altitudes comprendidas entre 2 400 y 3 200 m s.n.m., con predominio de clima mesotérmico húmedo andino, temperaturas promedio entre 12 °C y 18 °C y precipitaciones anuales que oscilan entre 800 y 1 200 mm, concentradas principalmente entre los meses de octubre y mayo. La cobertura vegetal dominante corresponde a pastizales antrópicos, remanentes de vegetación arbustiva andina y áreas destinadas a actividades agropecuarias de pequeña escala, características que condicionan la dinámica hidrológica y la capacidad de autodepuración de los cuerpos receptores presentes en la zona de estudio. El sistema hídrico evaluado forma parte de la cuenca hidrográfica del río Guayas, específicamente dentro de la subcuenca del río Chimbo y del sistema receptor asociado al río Salinas, alineándose con los instrumentos nacionales de

planificación y gestión integrada del recurso hídrico establecidos para la región andina ecuatoriana.

Las características climáticas e hidrológicas del área influyen directamente sobre el comportamiento del efluente doméstico y sobre los procesos de dilución, transporte y sedimentación de contaminantes dentro del sistema receptor; durante periodos de precipitación elevada se incrementa los caudales superficiales y la incorporación de sólidos suspendidos al sistema de alcantarillado mixto, mientras que en épocas de menor precipitación disminuye la cabida de dilución del cuerpo receptor, favoreciendo la concentración de carga orgánica y microbiológica. En este contexto, la ubicación de los puntos ARSF-DP y ARSF-Q permitió evaluar el comportamiento inicial de las descargas domésticas dentro de una microcuenca andina con limitada infraestructura sanitaria y elevada sensibilidad ambiental, aportando una referencia espacial y territorial útil para procesos de monitoreo ambiental, planificación hídrica y fortalecimiento del saneamiento rural en la provincia Bolívar.

Con el propósito de obtener muestras representativas de la variabilidad temporal del sistema y de las fluctuaciones asociadas a los hábitos de consumo de agua de la población, el muestreo se estructuró en dos jornadas diferenciadas: 20 de marzo de 2026 (día laborable) y 22 de marzo de 2026 (día no laborable), selección que permitió comparar condiciones habituales de generación de aguas residuales frente a escenarios de mayor permanencia domiciliaria y actividad doméstica propios del fin de semana; en cada PM se recolectaron muestras compuestas durante un periodo de 24 horas, integrando submuestras obtenidas en horarios de mayor actividad doméstica, con el fin de reducir sesgos asociados a muestreos puntuales y representar de mejor manera la dinámica diaria del efluente. Las muestras fueron recolectadas en frascos de polietileno previamente lavados con ácido nítrico al 10%, conservadas a 4°C y transportadas inmediatamente al laboratorio para preservar sus características fisicoquímicas y microbiológicas hasta su procesamiento. El procedimiento de toma, preservación y transporte de muestras se realizó conforme a los lineamientos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013, equivalente a la ISO 5667-3, referente a la conservación y manipulación de muestras de agua, así como a los procedimientos descritos en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF, 24th edition, garantizando la reproducibilidad metodológica y la trazabilidad analítica del estudio.

Se evaluaron parámetros agrupados en tres categorías analíticas con el fin de obtener una caracterización integral del efluente. En el componente de metales se determinaron Pb, As, Cu,

Zn y Cr mediante procedimientos colorimétricos y lectura instrumental por espectrofotometría UV-Visible, siguiendo las secuencias operativas descritas en laboratorio para preparación de muestra, desarrollo de color y lectura en mg/L. Para Pb se utilizó pretratamiento químico y lectura en cubeta; As fue determinado mediante reacción química y comparación colorimétrica en rango de 0–500 ppb; Cu, Zn y Cr fueron analizados mediante reactivos específicos y lectura instrumental posterior al ajuste de blanco.

En la categoría fisicoquímica se analizaron pH, sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), grasas y aceites, así como sustancias activas al azul de metileno (MBAS), parámetros utilizados para evaluar la carga orgánica, presencia de sólidos y compuestos derivados del uso doméstico. La medición de pH se realizó mediante lectura directa con electrodo previamente calibrado. Los SST fueron determinados mediante lectura instrumental en mg/L a partir de muestra homogenizada. Para DBO_5 se empleó incubación controlada durante cinco días a 20 ± 1 °C y lectura instrumental en sistema BODTrak II. La DQO fue determinada mediante digestión térmica en reactor DRB200 a 150 °C durante dos horas y lectura posterior en espectrofotómetro. En el componente de parámetros orgánicos específicos se determinaron grasas y aceites mediante extracción y lectura a 450 nm, y MBAS mediante reacción química y lectura instrumental. Finalmente, en el componente microbiológico se cuantificaron coliformes totales (CT) y *Escherichia coli* mediante filtración por membrana, siembra en medio m-ColiBlue24 e incubación durante 24 horas a 37 °C, registrándose los resultados en UFC/100 mL.

La evaluación del cumplimiento ambiental de los parámetros analizados se realizó con base en los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Libro VI, Anexo 1, Tabla 9: Límites de descarga a cuerpo de agua dulce, normativa empleada como referencia técnica para la comparación de las concentraciones de metales, parámetros fisicoquímicos y componentes orgánicos determinados en el presente estudio. En el caso del cromo, la comparación se realizó de manera referencial, considerando que la normativa establece el límite específico para cromo hexavalente y el análisis efectuado correspondió a cromo total.

En el tratamiento estadístico se calcularon medidas descriptivas de tendencia central y dispersión, específicamente media aritmética y desviación estándar, a fin de resumir el comportamiento de las variables evaluadas, la distribución de los datos fue analizada mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, seleccionada por su adecuada sensibilidad en

conjuntos de datos de tamaño reducido. La estructura analítica estuvo conformada por doce registros ($n = 12$), correspondientes a la integración de dos puntos de monitoreo (ARSF-DP y ARSF-Q), dos jornadas de muestreo (día laborable y día no laborable) y tres intervalos horarios de recolección (mañana, tarde y noche). En función de la distribución observada, se aplicaron pruebas paramétricas y no paramétricas para la comparación entre PM, utilizándose la prueba t de Student cuando se cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, mientras que en los casos donde estos supuestos no se verificaron se empleó la prueba U de Mann–Whitney, por tratarse de dos grupos independientes. En el caso de Pb no fue posible aplicar contraste inferencial debido a la ausencia de variabilidad observada entre registros. En todos los análisis se adoptó un nivel de significancia de $p < 0,05$ y el procesamiento estadístico se realizó mediante InfoStat versión 2020.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación incluyó la determinación de metales, parámetros fisicoquímicos, compuestos orgánicos específicos e indicadores microbiológicos en aguas residuales domésticas de la población de Santa Fe, cantón Guaranda. Los resultados obtenidos se presentan a continuación en función de cada componente analizado y su comparación con los Límites Máximos Permisibles establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), Libro VI, Anexo 1.

Metales pesados

Las concentraciones promedio de Pb, As, Cu, Zn y Cr total se presentan en la Tabla I. En términos generales, los valores determinados fueron bajos y se mantuvieron dentro de los LMP establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana. El Pb registró una concentración constante de 0,004 mg/L, mientras que el zinc presentó la mayor concentración media entre los metales evaluados, con 0,950 mg/L.

Este comportamiento fue consistente con lo reportado por Castro & Abejón, (2024) quienes señalan que en sistemas acuáticos influenciados por aguas residuales la presencia y comportamiento de metales depende de las características del efluente y de la interacción entre contaminantes disueltos y material particulado.

TABLA I.
CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE METALES PESADOS Y CUMPLIMIENTO NORMATIVO

<u>Parámetro</u>	<u>Media (mg/L)</u>	<u>Desviación estándar</u>	<u>LMP TULSMA (mg/L)</u>	<u>Cumplimiento</u>
------------------	---------------------	----------------------------	------------------------------	---------------------

Pb	0,004	-----	0,5	Cumple
As	0,033	0,005	0,1	Cumple
Cu	0,118	0,014	1	Cumple
Zn	0,95	0,1	10	Cumple
Cr total	0,196	0,015	0,5*	Referencial

Nota. Los valores reportados corresponden a $n = 12$ observaciones, derivadas de la integración de dos puntos de monitoreo (ARSF-DP y ARSF-Q), dos jornadas de muestreo (día laborable y día no laborable) y tres intervalos horarios (mañana, tarde y noche). El valor reportado para Cr corresponde a cromo total; el TULSMA establece el límite específico para cromo hexavalente, por lo que la comparación normativa se presenta de manera referencial.

Fuente: Autores

La comparación estadística entre ARSF-DP y ARSF-Q no evidenció diferencias significativas para los metales evaluados, como se muestra en la Tabla II. En el caso del Pb, no fue posible aplicar contraste inferencial debido a la ausencia de variabilidad, ya que todas las muestras registraron el mismo valor, para As y Cr total se aplicó la prueba de U de Mann–Whitney para muestras independientes, obteniéndose en ambos casos $W = 39,00$ y $p > 0,9999$, mientras que para Cu se empleó t de Student pareada ($t = -0,79$; $p = 0,4650$) y para Zn se empleó t de Student para muestras independientes ($t = -1,94$; $p = 0,0815$). En todos los casos, los valores de p fueron superiores a 0,05, por lo que no se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre la descarga principal y la zona de mezcla.

TABLA II.
COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE METALES PESADOS ENTRE ARSF-DP Y ARSF-Q

<u>Parámetro</u>	<u>Prueba aplicada</u>	<u>Estadístico</u>	<u>p-valor</u>	<u>Interpretación</u>
Pb	No aplicable	—	—	Sin variación
As	U de Mann–Whitney	$W = 39,00$	$> 0,9999$	No significativa
Cr total	U de Mann–Whitney	$W = 39,00$	$> 0,9999$	No significativa
Cu	t de Student pareada	$t = -0,79$	0,4650	No significativa
Zn	t de Student independiente	$t = -1,94$	0,0815	No significativa

Fuente: Autores

Desde una perspectiva regional, las bajas concentraciones metálicas registradas son coherentes con sistemas de predominio doméstico, donde los aportes suelen proceder de fuentes difusas y no de descargas industriales concentradas. Castro & Abejón, (2024) señalan que los metales presentes en aguas residuales pueden encontrarse tanto en forma disuelta como asociados a partículas y coloides, condición que influye directamente en su movilidad y en su comportamiento dentro del sistema acuático., y que su destino depende de condiciones fisicoquímicas del sistema, mientras que mientras que Jiménez-Oyola et al., (2021) señalan que, aun en concentraciones bajas, los metales presentes en sistemas hídricos requieren seguimiento continuo debido a su persistencia ambiental, su capacidad de acumulación en matrices receptoras y su potencial riesgo ecológico y sanitario.. En el contexto ecuatoriano andino, Arcentales-Ríos et al., (2022) reportaron en Cuenca concentraciones bajas de metales

en sistemas de abastecimiento y aguas residuales, señalando que el comportamiento de estos elementos depende de las características fisicoquímicas del sistema y de las condiciones ambientales propias de la región andina, de forma similar García-Avila et al., (2023) evidenciaron en un ecosistema altoandino ecuatoriano que la respuesta ecológica del sistema hídrico mantiene una estrecha relación con la calidad del agua y con las presiones ambientales presentes en el entorno acuático. En este sentido, aunque los resultados obtenidos en Santa Fe evidenciaron cumplimiento de los LMP durante el periodo evaluado, el monitoreo periódico continúa siendo necesario como medida preventiva y de seguimiento ambiental considerando que las condiciones hidrológicas, la variabilidad espacial y la influencia de actividades antrópicas pueden modificar progresivamente la calidad del recurso hídrico y su equilibrio ecológico.

El comportamiento del Cr total debe interpretarse con cautela, debido a que la determinación realizada correspondió a cromo total y no permitió diferenciar especies químicas con distinta movilidad y toxicidad ambiental. Esta consideración es relevante porque la evaluación normativa y toxicológica del cromo depende de su forma química presente en el medio. En ecosistemas andinos ecuatorianos sometidos a presión antrópica se ha documentado deterioro progresivo de la calidad hídrica asociado a descargas residuales y actividades humanas. En la microcuenca del río Pachanlica, provincia de Tungurahua, Uquillas-Romo et al., (2026) reportaron disminución de la calidad del agua en la zona baja de la subcuenca debido a descargas de aguas residuales y actividades agrícolas, evidenciando la sensibilidad de estos cuerpos receptores frente a alteraciones ambientales locales. Aunque dicho estudio no incluyó determinación de metales pesados, sus resultados respaldan la necesidad de mantener monitoreo periódico de cromo y otros elementos traza para fortalecer la vigilancia ambiental y prevenir procesos de acumulación en matrices receptoras.

Parámetros fisicoquímicos

A diferencia de los metales pesados, los parámetros fisicoquímicos evidenciaron una presión contaminante más marcada, los SST alcanzaron una media de 307,50 mg/L, la DBO_5 presentó un promedio de 357,50 mg/L y la DQO registró 739,17 mg/L, valores que superaron los LMP establecidos en el TULSMA. El pH presentó una media de 7,08, manteniéndose dentro del rango permitido de 6 a 9, como se muestra en la Tabla III.

TABLA III.
PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y CUMPLIMIENTO NORMATIVO

Parámetro	Unidad	Min - Max	Media ± Desviación estándar	Límite TULSMA	Cumplimiento
pH	Unidades de pH	6,9 – 7,3	7,08 ± 0,14	6-9	Cumple
SST	mg/L	260 – 360	307,50 ± 31,30	220	No cumple
DBO ₅	mg/L	290 – 420	357,50 ± 45,50	250	No cumple
DQO	mg/L	610 – 860	739,17 ± 84,82	500	No cumple

Fuente: Autores

Los valores elevados de *DBO₅* y *DQO* evidencian una carga importante de materia orgánica biodegradable y compuestos oxidables, condición característica de aguas residuales domésticas descargadas sin tratamiento adecuado (Raffo Lecca & Ruiz Lizama, 2014). Guzmán Sánchez et al., (2024) señalan que en numerosos asentamientos periurbanos y rurales de América Latina persisten limitaciones estructurales en los sistemas de saneamiento y tratamiento de aguas residuales, especialmente cuando no existen procesos complementarios de remoción ni infraestructura suficiente para el manejo del efluente doméstico en el caso de Santa Fe, estos resultados indican que la principal presión ambiental del efluente no está relacionada con metales pesados, sino con carga orgánica y sólidos suspendidos. En este sentido, los hallazgos obtenidos guardan concordancia con lo reportado por Pauta et al., (2019) en sistemas hídricos urbanos del Ecuador, donde identificaron que el incremento de la *DBO₅* y de los sólidos suspendidos está asociado directamente con descargas residuales domésticas sin tratamiento, generando un deterioro progresivo de la calidad del agua y disminuyendo la capacidad natural de autodepuración del cuerpo receptor.

La elevada concentración de sólidos suspendidos totales puede favorecer procesos de sedimentación, incremento de turbidez y transporte de contaminantes asociados a partículas. Este aspecto es relevante porque, como indican Castro & Abejón, (2024) los metales y otros contaminantes pueden asociarse a partículas suspendidas y otras fracciones sólidas presentes en el agua residual, modificando su transporte y comportamiento ambiental dentro del sistema receptor. Aunque en este estudio los metales se mantuvieron dentro de norma, la presencia de sólidos por encima del LP evidencia una condición de deterioro físico del efluente que puede afectar al cuerpo receptor, esta condición podría generar impactos ecológicos acumulativos a mediano plazo, debido a que los sedimentos funcionan como reservorios de contaminantes y pueden liberarlos nuevamente bajo cambios de caudal, pH o turbulencia hidráulica. En este sentido, los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Pauta et al., (2019) en sistemas hídricos urbanos del Ecuador, donde se identificó que el incremento de sólidos suspendidos se relaciona con la disminución progresiva de la calidad del agua y con una mayor presión sobre la capacidad natural de autodepuración del cuerpo receptor, especialmente en sectores con aportes continuos de aguas residuales domésticas.

Grasas, surfactantes e indicadores microbiológicos

Las grasas y aceites alcanzaron una media de 115,42 mg/L, mientras que las MBAS registraron un valor promedio de 16,50 mg/L, ambos superiores a los límites normativos correspondientes. Además, los indicadores microbiológicos presentaron valores elevados, con una media de $4,5 \times 10^7$ NMP/100 mL para CT y $2,29 \times 10^7$ NMP/100 mL para *Escherichia coli*. Estos resultados confirman la influencia directa de descargas domésticas sin tratamiento sobre el sistema receptor, en conjunto, los valores registrados evidencian incumplimiento de los parámetros sanitarios y orgánicos evaluados y muestran que la mayor carga contaminante del efluente doméstico en Santa Fe se asocia con grasas, compuestos surfactantes y contaminación microbiológica.

TABLA IV.
PARÁMETROS ORGÁNICOS ESPECÍFICOS E INDICADORES MICROBIOLÓGICOS

Parámetro	Media	Unidad	Límite TULSMA	Interpretación
Grasas y aceites	115,42	mg/L	50	Excede límite
MBAS	16,50	mg/L	2	Excede límite
Coliformes totales	$4,5 \times 10^7$	NMP/100 mL	—	Elevado
<i>E. coli</i>	$2,29 \times 10^7$	NMP/100 mL	—	Elevado

Fuente: Autores

La presencia elevada de grasas y aceites puede asociarse con actividades domésticas como preparación de alimentos, lavado de utensilios y disposición inadecuada de residuos grasos (Guzmán Sánchez et al., 2024). Estos compuestos pueden formar películas superficiales que dificultan el intercambio de oxígeno, alteran las condiciones del cuerpo receptor y reducen la disponibilidad de oxígeno disuelto para los procesos biológico (Raffo Lecca & Ruiz Lizama, 2014). Asimismo, los valores altos de MBAS evidencian presencia importante de surfactantes aniónicos derivados del uso de detergentes, lo que coincide con lo señalado por Choque-Quispe et al. (2021), quienes reportan que los surfactantes pueden actuar como indicadores de presión doméstica en microcuencas altoandinas.

En el componente microbiológico, las concentraciones elevadas de coliformes totales y *E. coli* confirman contaminación fecal asociada a descargas domésticas directas. Holcomb & Stewart, (2020) indican que las bacterias indicadoras fecales continúan siendo herramientas válidas para evaluar contaminación microbiológica en cuerpos de agua, debido a su persistencia en ambientes acuáticos y su utilidad para estimar riesgos asociados a contaminación fecal.. En Santa Fe, los valores registrados evidenciaron presencia microbiológica elevada en el efluente doméstico evaluado, con concentraciones superiores a los límites establecidos para descarga y calidad sanitaria del agua. Estos resultados sugieren una afectación sanitaria del cuerpo

receptor, particularmente por la persistencia de bacterias indicadoras fecales en el agua y sedimentos, condición que puede incrementar la exposición microbiológica en sectores aguas abajo. Holcomb & Stewart, (2020) señalan que la permanencia de bacterias indicadoras fecales en medios acuáticos puede mantenerse bajo distintas condiciones ambientales, lo que incrementa su valor como indicadores de contaminación fecal y exposición microbiológica potencial., mientras que Pauta et al., (2019) en ríos urbanos del Ecuador, identificaron que la elevada presencia de coliformes fecales constituye uno de los principales factores de deterioro de la calidad del agua asociados a descargas residuales domésticas no tratadas.

Síntesis normativa e interpretación integral

La comparación integral de los LMP establecidos en el TULSMA evidenció un patrón diferenciado en el sistema evaluado. Los metales pesados analizados Pb, As, Cu, Zn y Cr total registraron concentraciones dentro de los valores permisibles establecidos para descarga, mientras que los parámetros fisicoquímicos asociados a materia orgánica, sólidos suspendidos, grasas y aceites, MBAS e indicadores microbiológicos presentaron incumplimientos normativos o concentraciones elevadas. En términos generales, estos resultados muestran que la calidad del efluente doméstico de la población de Santa Fe estuvo condicionada principalmente por carga orgánica y sanitaria, mientras que la fracción metálica presentó concentraciones bajas durante el periodo de monitoreo. La síntesis comparativa de estos hallazgos y su prioridad de gestión ambiental se presentan en la Tabla V.

TABLA V.
SÍNTESIS INTEGRAL DEL DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DEL SISTEMA EVALUADO

<u>Componente evaluado</u>	<u>Resultado general</u>	<u>Interpretación ambiental</u>	<u>Prioridad de gestión</u>
Metales pesados	Dentro de límites normativos	Baja presión metálica durante el periodo evaluado	Baja
Carga orgánica	DBO ₅ y DQO elevadas	Presencia de materia orgánica biodegradable y oxidable	Alta
Sólidos suspendidos	Sobre el límite permisible	Riesgo de sedimentación y transporte de contaminantes	Alta
Grasas y aceites	Sobre el límite permisible	Aporte doméstico asociado a residuos grasos	Alta
MBAS	Sobre el límite permisible	Presencia elevada de detergentes y surfactantes	Alta
Microbiología	Coliformes y <i>E. coli</i> elevados	Contaminación fecal y riesgo sanitario	Muy alta
Estado global	Deterioro por carga orgánica y sanitaria	Requiere fortalecimiento del saneamiento local	Crítica

Fuente: Autores

En conjunto, los resultados indican que las prioridades de gestión ambiental para Santa Fe deben orientarse hacia el fortalecimiento del saneamiento básico, la reducción de materia orgánica, el control de SST, grasas y detergentes, así como la disminución de la carga

microbiológica antes de la descarga al cuerpo receptor. La vigilancia de metales pesados debe mantenerse como componente preventivo, debido a su persistencia ambiental, pero los datos obtenidos demuestran que la presión inmediata más importante corresponde a contaminación orgánica y fecal, este comportamiento coincide con lo reportado por Pauta et al., (2019) en sistemas hídricos urbanos del Ecuador, donde la presencia elevada de materia orgánica y coliformes fecales se relacionó con el deterioro progresivo de la calidad del agua y con mayores restricciones para usos domésticos, agrícolas y ambientales del recurso hídrico.

Desde la perspectiva de salud pública, la presencia elevada de coliformes totales y *Escherichia coli* constituye un indicador de contaminación fecal reciente y de posible presencia de microorganismos patógenos de origen hídrico, en este sentido, la Organización Mundial de la Salud establece que *E. coli* es el indicador más preciso de contaminación fecal en el agua y señala que la exposición a agua contaminada puede favorecer la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otros procesos infecciosos asociados al consumo o contacto con agua afectada microbiológicamente (Organización Mundial de la Salud, 2017). Asimismo, estudios desarrollados en la microcuenca del río Pachanlica, Ecuador, evidencian que la contaminación microbiológica en cuerpos de agua representa un riesgo significativo para la salud pública, especialmente en comunidades que mantienen contacto directo con el recurso hídrico para actividades domésticas o agrícolas, pudiendo incrementar la exposición a enfermedades gastrointestinales y dermatológicas (González Polo et al., 2026), en concordancia con lo analizado, los resultados obtenidos evidencian que la carga microbiológica del efluente doméstico en Santa Fe constituye una condición prioritaria de atención para la gestión sanitaria y la protección del cuerpo receptor.

En este sentido, el estudio constituye una línea base técnica útil para la planificación sanitaria, el monitoreo ambiental y la protección del recurso hídrico en zonas rurales andinas, entre las limitaciones del estudio se reconoce que el monitoreo fue realizado en dos jornadas específicas, correspondientes a un día laborable y un día no laborable, lo que permitió una caracterización temporal inicial del sistema, aunque no representa toda la variabilidad estacional del efluente. Adicionalmente, la investigación se enfocó en la evaluación de metales pesados, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la matriz líquida del agua residual, por lo que futuras investigaciones podrían complementar estos resultados mediante campañas multitemporales, análisis de sedimentos y estudios de especiación metálica, particularmente en elementos como

el cromo, a fin de ampliar la comprensión del comportamiento ambiental del sistema receptor y fortalecer la evaluación integral del riesgo asociado a las descargas domésticas.

IV. CONCLUSIONES

Las concentraciones de Pb, As, Cu, Zn y Cr determinadas en las aguas residuales domésticas de Santa Fe fueron bajas y se mantuvieron dentro de los LMP establecidos en el TULSMA sin evidenciar diferencias estadísticamente significativas entre ARSF-DP y ARSF-Q para los parámetros comparados mediante la prueba U de Mann–Whitney y las pruebas aplicadas según la naturaleza de los datos, en contraste, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evidenciaron concentraciones elevadas, particularmente en SST, DBO_5 , DQO, grasas y aceites, MBAS, CT y *Escherichia coli*, lo que confirma que la principal presión ambiental del sistema evaluado se relaciona con la carga orgánica y sanitaria del efluente doméstico, en este contexto, los resultados obtenidos constituyen una línea base técnica para el monitoreo de la calidad del agua residual doméstica en Santa Fe y aportan información útil para la gestión ambiental y sanitaria del territorio rural. Asimismo, el cumplimiento normativo registrado para los metales pesados no excluye la necesidad de mantener programas periódicos de vigilancia ambiental, considerando su relevancia como indicadores de calidad del agua y su seguimiento dentro del sistema evaluado.

Entre las limitaciones del estudio se reconoce que el monitoreo fue desarrollado en dos jornadas específicas, correspondientes a un día laborable y un día no laborable, lo que permitió obtener una caracterización temporal inicial del sistema, aunque no representa la variabilidad estacional completa de la subcuenca analizada. Asimismo, la evaluación se enfocó en el análisis de agua residual mediante parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y metales pesados determinados durante el periodo de estudio, por lo que futuras investigaciones podrán fortalecer esta línea base mediante campañas multitemporales y análisis complementarios que amplíen la caracterización del sistema receptor. En conjunto, esta información representa un aporte técnico aplicable al fortalecimiento de la gestión hídrica rural, a la planificación territorial impulsada por el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Bolívar y al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 relacionado con agua limpia y saneamiento.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a EMAPAG - Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda por el valioso apoyo técnico brindado durante el desarrollo de la

investigación, especialmente en la ejecución de los análisis de laboratorio, la asesoría metodológica en las actividades de muestreo y las facilidades institucionales otorgadas para la realización del estudio.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R., & Wang, M.-Q. (2021). Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. *Toxics*, 9(3), 42. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>
2. Arcentales-Ríos, R., Carrión-Méndez, A., Cipriani-Ávila, I., Acosta, S., Capparelli, M., Moulatlet, G. M., & Pinos-Vélez, V. (2022). Assessment of metals, emerging contaminants, and physicochemical characteristics in the drinking water and wastewater of Cuenca, Ecuador. *Journal of Trace Elements and Minerals*, 2, 100030. <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2022.100030>
3. Castro, K., & Abejón, R. (2024). Removal of Heavy Metals from Wastewaters and Other Aqueous Streams by Pressure-Driven Membrane Technologies: An Outlook on Reverse Osmosis, Nanofiltration, Ultrafiltration and Microfiltration Potential from a Bibliometric Analysis. *Membranes*, 14(8), 180. <https://doi.org/10.3390/membranes14080180>
4. Choque-Quispe, D., Masco-Arriola, M. L., Ramos-Pacheco, B. S., Ligarda-Samanez, C. A., Solano-Reynoso, A. M., Choque-Quispe, Y., & Alonzo-Lanado, J. F. (2021). Study of the pollution by surfactants in a river of a high Andean micro basin. *DYNA*, 88(217), 9–12. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n217.90795>
5. Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Bolívar GADPB. (2024). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2024–2028*.
6. García-Avila, F., Loja-Suco, P., Siguenza-Jeton, C., Jiménez-Ordoñez, M., Valdiviezo-Gonzales, L., Cabello-Torres, R., & Aviles-Anazco, A. (2023). Evaluation of the water quality of a high Andean lake using different quantitative approaches. *Ecological Indicators*, 154, 110924. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110924>
7. González Polo, S. I., Escobar Arrieta, S. N., Beltrán Dávalos, A. A., Patiño Pomavilla, L. R., Flores Cantos, V. F., & Uquillas Romo, E. A. (2026). Contaminación microbiana en el río Pachanlica: evaluación de la calidad microbiológica y riesgos asociados para la salud pública en Tungurahua, Ecuador. *Tesla Revista Científica*, 6(1). <https://doi.org/10.55204/trc.v6i1.e573>
8. Guzmán Sánchez, J., Perevochtchikova, M., & Kolb, M. (2024). Wastewater in Latin American urban peripheries: Identifying research trends and challenges through a systematic literature review. *Science of the Total Environment*, 931, 173019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173019>
9. Haga Moreira, A. W., & Rosales Herrera, D. J. (2022). *Diseño de la red de alcantarillado sanitario de la parroquia Santa Fé, Bolívar*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
10. Holcomb, D. A., & Stewart, J. R. (2020). Microbial Indicators of Fecal Pollution: Recent Progress and Challenges in Assessing Water Quality. *Current Environmental Health Reports*, 7(3), 311–324. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00278-1>
11. Jiménez-Oyola, S., García-Martínez, M.-J., Ortega, M. F., Chavez, E., Romero, P., García-Garizabal, I., & Bolonio, D. (2021). Ecological and probabilistic human health risk assessment of heavy metal(loid)s in river sediments affected by mining activities in Ecuador. *Environmental Geochemistry and Health*. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-00935-w>

12. Liu, S., Shi, J., Wang, J., Dai, Y., Li, H., Li, J., Liu, X., Chen, X., Wang, Z., & Zhang, P. (2021). Interactions between microplastics and heavy metals in aquatic environments: A review. *Frontiers in Microbiology*, 12, 652520. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.652520>
13. Organización Mundial de la Salud. (2017). *Guías para la calidad del agua de consumo humano* (4th ed.). Organización Mundial de la Salud.
14. Pauta, G., Velasco, M., Gutiérrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, Ó., & Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *MASKANA*, 10(2), 76–88. <https://doi.org/10.18537/mskn.10.02.08>
15. Raffo Lecca, E., & Ruiz Lizama, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71–80.
16. Uddin, M. G., Nash, S., & Olbert, A. I. (2021). A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*, 122, 107218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>
17. Uquillas-Romo, E., Chalán Ramírez, A., Patiño-Pomavilla, L., Ayala-Izurieta, J., & Beltrán-Dávalos, A. (2026). Diatomeas epilíticas como bioindicadores de calidad hídrica en el río Pachanlica, Ecuador. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 17(2), 1–42. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2026-02-01>

Guaranda, 2 de junio de 2026

Estimados/as

Jerry Leodan Mena Nagua ^{1,2}; Kristina Estefanía Velarde Escobar ³; Yonalker del Mar Navas-Montes ^{1,3}.

¹ Universidad Estatal de Milagro

² Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

³ Universidad Estatal Península de Santa Elena

Presente. -

De mi consideración:

Por medio de la presente me dirijo a ustedes para comunicarles que su artículo de investigación titulado: **"Determinación de metales en aguas residuales domésticas de la población Santa Fe, cantón Guaranda"**, luego de la evaluación por pares académicos ciegos y revisión de estilo, ha sido aceptado para publicación en la *Revista de Investigación Talentos*, vol. 13 nro. 1 (enero - junio 2026) con ISSN online: 2631-2476 e ISSN impreso: 1390-8197.

Desde nuestro Comité Editorial, les extendemos una cordial invitación a continuar contribuyendo al avance de la ciencia mediante sus valiosas investigaciones.

Sin más a que hacer referencia y esperando que esta información sea utilizada para los fines pertinentes.

Atentamente,



Dr. Isidro Favián Bayas Morejón PhD.
Director Científico Revista Talentos
Universidad Estatal de Bolívar

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

