

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES SOBRE LA
CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO ILAVE – 2025**

PRESENTADA POR:

MERLIN BRAULIO HUANACUNI FLORES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO - PERÚ

2025



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](http://www.upsc.edu.pe) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



8.69%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 6 SEP 2025, 11:15 PM

Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
1.57%

● CHANGED TEXT
7.11%

Report #28383871

MERLIN BRAULIO HUANACUNI FLORES // EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO ILAVE – 2025 RESUME

N El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del vertimiento de aguas residuales sobre la calidad del agua del río Ilave durante el año 2025, considerando parámetros físicos, químicos y microbiológicos, así como la aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF). La investigación se desarrolló mediante un enfoque descriptivo y transversal, tomando muestras en tres puntos estratégicos: aguas arriba (M1), punto de vertimiento (M2) y aguas abajo (M3). Las muestras fueron recolectadas siguiendo el protocolo de monitoreo de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y analizadas en el laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno. **5 7 24** Los parámetros evaluados incluyeron pH, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), fósforo total, sólidos totales, conductividad eléctrica, nitratos y coliformes fecales. Los resultados mostraron que en M1 el ICA-NSF fue de 63, indicando calidad regular; en M2 disminuyó a 50, reflejando calidad mala, principalmente por el incremento de DBO₅, fósforo y coliformes fecales; mientras que en M3 se observó una ligera recuperación con un ICA-NSF de 76, clasificado como bueno, aunque con presencia aún elevada de microorganismos. Estos hallazgos evidencian que el vertimiento de aguas residuales domésticas deteriora significativamente la

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES SOBRE LA
CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO ILAVE – 2025**

PRESENTADA POR:

MERLIN BRAULIO HUANACUNI FLORES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:



Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

PRIMER MIEMBRO

:



Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

SEGUNDO MIEMBRO

:



M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

ASESOR DE TESIS

:



Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub Área: Ingeniería ambiental

Línea de investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 15 de setiembre del 2025.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo mi cariño y gratitud a mi querida familia, por ser mi fuerza y sostén en cada etapa de mi vida. A mis padres, por su amor incondicional, sus enseñanzas y sacrificios que me impulsaron a seguir adelante. A mis hermanos, por su apoyo silencioso, su confianza y compañía constante, que siempre me han motivado a dar lo mejor de mí. Este logro es también suyo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente al asesor de este trabajo de investigación, por su orientación constante, su paciencia y valiosos aportes técnicos y académicos que enriquecieron esta tesis.

Asimismo, extiendo mi agradecimiento a los docentes de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental, quienes durante mi formación académica compartieron sus conocimientos, experiencias y vocación, dejando huella en mi formación profesional y personal.

Gracias también a todas las personas e instituciones que de alguna manera colaboraron en la realización de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	15
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	15
1.2. ANTECEDENTES	15
1.2.1. INTERNACIONALES	15
1.2.2. NACIONALES	16
1.2.3. LOCALES	19
1.3. OBJETIVOS	20
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	20
1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS	20

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	21
2.2. MARCO CONCEPTUAL	27

2.3. HIPÓTESIS	28
2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL	28
2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	28
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	29
3.1.1. UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO	30
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	30
3.2.1. POBLACIÓN	30
3.2.2. MUESTRA	30
3.3. MÉTODOS Y MATERIALES	31
3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	31
3.3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	31
3.3.3. MÉTODO	31
3.3.4. MATERIALES Y EQUIPOS	33
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	33
3.4.1. TÉCNICAS	33
3.4.2. INSTRUMENTOS	33
3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	35
CAPÍTULO IV	
EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. EFECTO DEL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO ILAVE - 2025.	36
4.2. PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA DEL RÍO ILAVE EN LOS PUNTOS DE VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	37
4.3. PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL VERTIDA AL RÍO ILAVE.	38

4.4. CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO ILAVE APLICANDO EL ÍNDICE DE CALIDAD (ICA-NSF).	39
4.4.1. FÓRMULA UTILIZADA	40
4.4.2. PARÁMETROS ANALIZADOS EN (M1):	41
4.4.3. CÁLCULO DEL ICA-NSF (M1):	41
4.4.4. PARÁMETROS ANALIZADOS EN (M2):	42
4.4.5. PARÁMETROS ANALIZADOS EN (M3):	43
4.4.7. GRÁFICO COMPARATIVO DEL ICA-NSF	45
4.5. DISCUSIÓN	46
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Ubicación de los puntos de muestreo.	30
Tabla 02: Operacionalización de variables de la investigación	35
Tabla 03: Resultado de los análisis físico-químicos y microbiológicos en M1, M2 y M3.	37
Tabla 04: Resultados de los análisis físico químicos y microbiológicos en M4.	39
Tabla 05: Clasificación del ICA-NSF.	40
Tabla 06: Parámetros analizados en la muestra M1.	41
Tabla 07: Parámetros analizados en la muestra M2.	42
Tabla 08: Parámetros analizados en la muestra M3.	43
Tabla 09: Resultados del cálculo ICA-NSF.	44

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Mapa georreferencial del área de estudio en el río llave.	29
Figura 02: Comparación del ICA-NSF en los puntos de muestreo.	45
Figura 03: Vista general de las aguas residuales en la ciudad de llave.	58
Figura 04: Toma de muestra de agua en el punto M1.	58
Figura 05: Muestra M1 para el análisis físico-químico y microbiológico.	59
Figura 06: Toma de muestra de agua en el punto M2.	59
Figura 07: Llenado del rotulado de la muestra M2.	60
Figura 08: Toma de muestra de agua en el punto M3.	60
Figura 09: Llenado de datos del rotulado de la muestra M3.	61
Figura 10: Toma de muestra de agua residual en el punto M4.	61
Figura 11: Acondicionamiento de las muestras para su traslado al laboratorio.	62
Figura 12: Registro de la guía de campo en el punto M1.	62
Figura 13: Registro de la guía de campo en el punto M2.	63
Figura 14: Registro de la guía de campo en el punto M3.	63
Figura 15: Registro de la guía de campo en el punto M4.	64
Figura 16: Resultados del laboratorio.	65

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de Consistencia	56
Anexo 02: Instrumentos	57
Anexo 03: Registro Fotográfico	58

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del vertimiento de aguas residuales sobre la calidad del agua del río llave durante el año 2025, considerando parámetros físicos, químicos y microbiológicos, así como la aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF). La investigación se desarrolló mediante un enfoque descriptivo y transversal, tomando muestras en tres puntos estratégicos: aguas arriba (M1), punto de vertimiento (M2) y aguas abajo (M3). Las muestras fueron recolectadas siguiendo el protocolo de monitoreo de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y analizadas en el laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Los parámetros evaluados incluyeron pH, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), fósforo total, sólidos totales, conductividad eléctrica, nitratos y coliformes fecales. Los resultados mostraron que en M1 el ICA-NSF fue de 63, indicando calidad **regular**; en M2 disminuyó a 50, reflejando calidad **mala**, principalmente por el incremento de DBO₅, fósforo y coliformes fecales; mientras que en M3 se observó una ligera recuperación con un ICA-NSF de 76, clasificado como **bueno**, aunque con presencia aún elevada de microorganismos. Estos hallazgos evidencian que el vertimiento de aguas residuales domésticas deteriora significativamente la calidad del agua del río llave, generando riesgos ambientales y sanitarios para la población y limitaciones en su uso para consumo humano, riego y ganadería. Se determina que la cuenca del río llave requiere la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales y fortalecimiento de la gestión ambiental local, con el fin de reducir la contaminación hídrica y proteger la calidad del recurso del río llave.

Palabras clave: Agua residuales, Calidad de agua, Contaminación, Termotolerantes.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the effect of wastewater discharge on the water quality of the Ilave River during the year 2025, considering physical, chemical, and microbiological parameters, as well as the application of the Water Quality Index (WQI-NSF). The research was developed using a descriptive and cross-sectional approach, taking samples at three strategic points: upstream (M1), discharge point (M2), and downstream (M3). The samples were collected following the monitoring protocol of the National Water Authority (ANA) and analyzed in the laboratory of the National University of the Altiplano in Puno. The parameters evaluated included pH, temperature, turbidity, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand (BOD_5), total phosphorus, total solids, electrical conductivity, nitrates, and fecal coliforms. The results showed that in M1 the WQI-NSF was 63, indicating regular quality; In M2, it decreased to 50, reflecting poor quality, mainly due to the increase in BOD_5 , phosphorus, and fecal coliforms; while in M3, a slight recovery was observed with an NSF-ICA of 76, classified as good, although with a still high presence of microorganisms. These findings show that the discharge of domestic wastewater significantly deteriorates the water quality of the Ilave River, generating environmental and health risks for the population and limiting its use for human consumption, irrigation, and livestock farming. It is concluded that it is necessary to implement adequate treatment systems and strengthen local environmental management to mitigate water pollution in the Ilave River basin.

Keywords: Wastewater, Water quality, Pollution, Thermotolerant.

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua es un factor determinante para la salud de los ecosistemas, el desarrollo humano y la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, en muchas ciudades del país, el crecimiento urbano desordenado, la falta de infraestructura sanitaria y la débil fiscalización ambiental han propiciado el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento previo a cuerpos naturales de agua, lo que representa una amenaza para el bienestar de las comunidades y la integridad de los recursos hídricos (Chávez & Alberto, 2018).

En este contexto, la ciudad de Ilave, ubicada en la región Puno, enfrenta un problema crítico: el vertimiento directo de aguas residuales domiciliarias al río Ilave. Esta práctica, habitual y prolongada en el tiempo, ha deteriorado progresivamente la calidad del agua del río, afectando su uso para el consumo humano, riego agrícola, pesca y otras actividades productivas y recreativas.

Frente a esta problemática, la presente investigación tiene como finalidad evaluar el efecto de dichas descargas sobre la calidad del agua del río Ilave. Para ello, se analizaron parámetros físico-químicos y microbiológicos en puntos estratégicos del río, aplicando además el Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) como herramienta integradora de evaluación.

Este estudio se desarrolla en seis capítulos:

Capítulo I: Planteamiento del Problema

El agua es un recurso vital para la vida y el desarrollo de actividades humanas, sin embargo, su contaminación representa una de las problemáticas ambientales más urgentes a nivel mundial. La presencia de aguas residuales sin tratamiento en cuerpos hídricos afecta negativamente la salud pública, la biodiversidad acuática y la disponibilidad de agua para el consumo humano, la agricultura y otras actividades. En el Perú, muchos ríos se ven afectados por el vertimiento directo de aguas residuales domésticas, como es el caso del río Ilave, ubicado en la región Puno. Este río, que atraviesa la ciudad de Ilave, recibe descargas constantes de aguas servidas sin tratamiento adecuado, lo cual pone en riesgo tanto a los ecosistemas como a la población

local. Esta investigación busca evaluar el efecto de estos vertimientos sobre la calidad del agua del río llave, analizando parámetros físicos, químicos y microbiológicos y aplicando el Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) para determinar su estado real.

Capítulo II: Marco Teórico y Referencial

Este capítulo comprende la revisión de estudios previos y fundamentos teóricos que sustentan la investigación. Se aborda la importancia de la calidad del agua, los efectos de las aguas residuales sin tratamiento, y se definen los parámetros que permiten evaluar dicha calidad. Asimismo, se describe el ICA-NSF como herramienta metodológica para la evaluación integrada de múltiples variables de calidad de agua. También se incluye el marco conceptual con definiciones clave, y el marco normativo basado en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la legislación peruana.

Capítulo III: Diseño Metodológico

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y diseño no experimental, transeccional. La población comprende el río llave en el tramo urbano. La muestra estuvo conformada por tres puntos estratégicos: M1 (antes del vertimiento), M2 (en el vertimiento) y M3 (después del vertimiento), donde se recolectaron muestras de agua en botellas estériles siguiendo el Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad del Agua de la ANA. Estas muestras fueron analizadas en el laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno para determinar parámetros como temperatura, pH, turbidez, oxígeno disuelto, DBO₅, fosfato, nitrato, y coliformes fecales. El análisis estadístico incluye el cálculo del ICA-NSF, aplicando las ponderaciones estándar para cada parámetro.

Capítulo IV: Exposición y Análisis de Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en los análisis físico-químicos y microbiológicos. Se observa una variación significativa de la calidad del agua en los tres puntos de muestreo. El ICA-NSF calculado arrojó valores de 63 para M1 (calidad regular), 41 para M2 (calidad mala), y 58 para M3 (calidad regular). Estos resultados se visualizan

en gráficos comparativos y se interpreta que el punto de vertimiento disminuye drásticamente la calidad del agua, aunque existe una ligera recuperación aguas abajo. También se analizan parámetros específicos como el incremento de coliformes fecales y DBO_5 en M2.

Capítulo V: Discusión

Los resultados obtenidos coinciden con investigaciones previas realizadas en otros cuerpos hídricos de la región Puno, donde se ha evidenciado el deterioro de la calidad del agua por vertimientos domésticos. La comparación de los valores obtenidos con los ECA demuestra el incumplimiento en varios parámetros críticos. Asimismo, el análisis del ICA-NSF permite visualizar de manera integral el impacto ambiental. La discusión también resalta la necesidad de implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Ilave, y de establecer estrategias de monitoreo y control más rigurosas por parte de las autoridades ambientales.

Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones

Se concluye que el vertimiento de aguas residuales domiciliarias afecta significativamente la calidad del agua del río Ilave. El análisis del ICA-NSF muestra una disminución del nivel de calidad en el punto de descarga y una recuperación parcial aguas abajo. Entre los parámetros más críticos se encuentran los coliformes fecales y la DBO_5 . Como recomendaciones se plantea implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales para Ilave, fortalecer la vigilancia ambiental y realizar campañas de concientización a la población sobre el manejo adecuado de los desechos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial, el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento es una de las principales causas de la contaminación de los cuerpos de agua dulce. Según la UNESCO (2017), alrededor del 80 % de las aguas residuales generadas en el mundo son descargadas directamente en ríos, lagos u océanos sin recibir tratamiento, lo que representa una grave amenaza para los ecosistemas acuáticos y la salud pública.

En el Perú, esta situación se refleja con mayor intensidad en zonas urbanas y rurales que no cuentan con infraestructura adecuada de saneamiento. Según datos del Ministerio del Ambiente, solo el 34 % de las aguas residuales reciben algún tipo de tratamiento antes de ser vertidas, lo que contribuye a la degradación de la calidad de los recursos hídricos. Esta contaminación afecta el acceso a agua segura para consumo humano, agricultura y otras actividades.

En la región Puno, particularmente en la ciudad de Ilave, se observa el vertimiento directo de aguas residuales domiciliarias al río Ilave, sin ningún tratamiento previo. Este río es una fuente importante para actividades domésticas, agrícolas y ganaderas de la población local. Sin embargo, la descarga continua de efluentes domésticos podría estar generando una alteración en sus características físico-químicas y microbiológicas, afectando su calidad y su capacidad para sostener la vida acuática.

Ante esta realidad, surge la necesidad de realizar una investigación que evalúe objetivamente la calidad del agua del río Ilave en los puntos de vertimiento de aguas

residuales, así como analizar el estado de los efluentes que llegan al cuerpo hídrico. Para ello, se propone aplicar el Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) como herramienta técnica que permita integrar los resultados obtenidos y proporcionar una visión clara del nivel de afectación.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es el efecto del vertimiento de aguas residuales sobre la calidad del agua del río llave - 2025?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál es la calidad física, química y microbiológica del agua del río llave en los puntos de vertimiento de aguas residuales?
- ¿Qué características físico-químicas y microbiológicas presenta el agua residual vertida al río llave?
- ¿Qué nivel de calidad presenta el agua del río llave según el Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) en los puntos de vertimiento?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. INTERNACIONALES

Cedeño (2020), en su estudio concluye que el diseño de una planta de tratamiento para las aguas residuales del efluente del mar Muerto permitirá reducir significativamente la carga contaminante, alcanzando valores de DBO de 121.49 mg/L y DQO de 167.36 mg/L, cumpliendo con los límites normativos; además, los lodos generados pueden aprovecharse como mejoradores de suelos por su contenido de nutrientes, aunque su reutilización para riego no es viable debido a la alta concentración de cloruros, tóxicos para las especies vegetativas.

Morán (2022), en su artículo tuvo como objetivo proponer una gestión adecuada del manejo de aguas residuales en la Planta de Tratamiento Las Esclusas, mediante el análisis de procesos actuales y opiniones de expertos; aplicando una metodología cualitativa con revisión bibliográfica y grupo focal compuesto por 11 especialistas, se evidenció que la gestión local es deficiente, carece de acciones efectivas y colaboración

ciudadana, lo que genera impactos ambientales y riesgos para la salud pública debido al colapso del alcantarillado.

Peralta (2020), en su proyecto plantea el diseño y aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales domiciliarias mediante biodigestores individuales, con el objetivo de mejorar prácticas constructivas y proteger el medio ambiente. El biodigestor funciona como un tanque séptico cerrado que permite la descomposición de aguas negras a través de procesos físicos y biológicos, reteniendo los residuos por al menos 24 horas para facilitar la separación y degradación de la materia orgánica. La propuesta busca una solución descentralizada, adaptable a cada vivienda, que reduzca la carga contaminante de las aguas residuales antes de su disposición final.

Osorio (2021), expone con claridad que las aguas residuales domésticas, también llamadas aguas servidas, provienen de actividades humanas cotidianas y presentan una compleja composición físico-química y biológica que las hace inadecuadas para el consumo o contacto sin tratamiento previo. Se destaca que estas aguas pueden contener sólidos suspendidos, nutrientes, metales pesados, compuestos orgánicos e inorgánicos, y otros contaminantes, razón por la cual es imprescindible caracterizarlas adecuadamente mediante parámetros como pH, turbidez, temperatura, metales y nutrientes, antes de cualquier disposición o tratamiento.

1.2.2. NACIONALES

Lima (2020), en su estudio realizado en la ciudad de Lircay, ubicada en la región de Huancavelica, se analizó el impacto del vertimiento de aguas residuales domiciliarias en la calidad del agua del río Sicra. El estudio se desarrolló bajo un diseño no experimental de tipo descriptivo-transeccional, y tuvo como finalidad evaluar el grado de afectación mediante el análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos en tres puntos estratégicos del río: antes, durante y después del vertimiento. Entre los parámetros considerados estuvieron el cianuro libre, color, DQO, DBO5, oxígeno disuelto, fósforo total, nitrógeno total, nitratos, nitrógeno amoniacal, sulfuros, sólidos suspendidos totales, temperatura, pH y coliformes termotolerantes. Para cuantificar el nivel de contaminación,

se aplicó la metodología del Índice de Calidad de Agua (ICA-NSF), obteniéndose un valor de 42.18, lo que corresponde a una clasificación de "agua muy contaminada" según la escala de la National Sanitation Foundation. Los coliformes termotolerantes resultaron ser el parámetro más crítico. El estudio concluyó con la necesidad urgente de implementar medidas de control y seguimiento de la calidad del agua del río Sicra, así como de establecer un índice de calidad acorde a la realidad nacional (ICA-Perú).

Sáez (2022), en su investigación menciona que las aguas residuales generan contaminación ambiental en los ríos al alterar sus características físico-químicas y microbiológicas, afectando negativamente a los ecosistemas acuáticos. Esta contaminación favorece procesos como la eutrofización, que reduce el oxígeno disuelto y provoca la muerte de especies acuáticas. Por ello, es fundamental que las aguas residuales de origen doméstico, industrial o municipal reciban un tratamiento adecuado antes de ser vertidas a cuerpos de agua naturales.

Olivares (2022), en su estudio realizado en el río Pisco evaluó el impacto del vertimiento de aguas residuales domiciliarias generadas por la población de Humay en la calidad del agua, empleando un enfoque observacional, prospectivo y transversal, con diseño experimental y nivel descriptivo-explicativo. Se monitorean parámetros físicos, químicos y microbiológicos en tres puntos del río (aguas arriba, punto de descarga y aguas abajo), comparando los resultados con los estándares del ECA-Agua D.S. N°004-2017-MINAM. Las pruebas estadísticas (t-Student y de signos) indicaron que, aunque algunos parámetros se mantuvieron dentro del rango permitido, se identificó un impacto significativo en el oxígeno disuelto. Además, se evidenció que la principal fuente de contaminación proviene del vertimiento de aguas residuales, basura y animales muertos, afectando la calidad del agua del río.

Huamán (2022), evidenció que las aguas residuales provenientes de fuentes domésticas, industriales y municipales contienen sustancias contaminantes tóxicas que alteran las características físicas, químicas y microbiológicas de los cuerpos de agua, generando impactos negativos en los ecosistemas acuáticos. Entre los principales efectos se

identificó el proceso de eutrofización, causado por el crecimiento excesivo de algas que reduce el oxígeno disuelto y provoca la muerte de flora y fauna acuática. Se concluye que es urgente implementar un tratamiento adecuado de las aguas residuales para mitigar la contaminación ambiental de los ríos.

Barrera (2024), concluyó que la relación entre la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y el oxígeno disuelto (OD) es clave para evaluar la calidad del agua en el río Pisco, ya que ambos parámetros reflejan la presencia de materia orgánica y la capacidad del ecosistema para sustentar vida acuática. La disminución del OD, especialmente en condiciones de mayor temperatura, afecta negativamente a las especies más sensibles, alterando el equilibrio ecológico del río. A su vez, los valores de DBO5 evidencian la carga contaminante derivada del vertimiento de aguas residuales, indicando la necesidad de un enfoque integral en la gestión del recurso hídrico, que contemple tanto la descomposición de materia orgánica como la preservación de condiciones óptimas para la biodiversidad.

Flores (2022), en su estudio los análisis del río Saphy revelaron que los niveles de coliformes fecales superan los límites establecidos por la OMS/OPS, especialmente en la estación de muestreo tres, donde los efluentes ingresan directamente al río; además, el pH alcalino se atribuye a aportes geológicos y aguas residuales con detergentes que, además de generar espumas y dificultar la floculación en las plantas de tratamiento, favorecen la eutrofización. También se identificaron altos niveles de nitratos, lo que indica contaminación orgánica reciente por aguas residuales, fertilizantes y excretas animales. La evaluación físico-química basada en parámetros como temperatura, pH, OD, DBO5, nitratos, fosfatos y sólidos suspendidos totales evidenció pérdida de calidad del agua, afectando la conectividad ecológica y funcional del ecosistema fluvial.

1.2.3. LOCALES

Huayta (2020), en su investigación evaluó la calidad del agua del río Cabanillas, ubicado en la cuenca Coata, considerando el impacto de vertimientos de aguas residuales domésticas de las poblaciones de Cabanillas y Cabanilla durante enero a marzo de 2019.

Se analizaron doce parámetros en cinco puntos del río, y siete en los efluentes domésticos, usando el Índice de Calidad de Agua (ICA) de Dinius y los Límites Máximos Permisibles (LMP) del D.S. N.º 003-2010-MINAM. Los resultados mostraron que el río presenta una calidad de agua contaminada para consumo humano, levemente contaminada para agricultura e industria, y aceptable para pesca y recreación, con un ICA entre 62.67 y 67.19. Los vertimientos superaron los LMP en DBO₅, DQO y coliformes fecales, confirmando que carecen de tratamiento adecuado y afectan significativamente la calidad del agua en su recorrido, especialmente en las zonas de descarga.

Vilca (2024), en su investigación evalúa la calidad del agua del río Ayaviri, específicamente en el punto de desembocadura de las aguas residuales de la localidad de Pucará. Se determina que, aunque los parámetros fisicoquímicos permanecen dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) para las subcategorías A2 (agua destinada a potabilización con tratamiento convencional) y D2 (agua para bebida de animales), los niveles de coliformes totales y termotolerantes superan ampliamente los límites permitidos. Esto indica una alta contaminación bacteriológica atribuible al vertido de aguas residuales sin tratamiento y a botaderos de residuos sólidos, comprometiendo así la seguridad del recurso hídrico para usos humanos y pecuarios.

Tapara (2023), evidenció que el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento en Nuñoa (Melgar, Puno) generó un incremento significativo de contaminantes, registrando valores de DBO₅ de 117,33 mg/L, aceites y grasas de 21,5 mg/L y coliformes termotolerantes de 11.499 NMP/100 ml, los cuales superaron ampliamente los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua en los puntos de vertimiento y aguas abajo, afectando la calidad del río receptor. Casos similares en el río Ayaviri mostraron concentraciones de coliformes termotolerantes de hasta 2.183,33 NMP/100 ml. Propuestas técnicas como el uso de biodigestores o plantas de tratamiento han demostrado ser viables para reducir la carga contaminante, aunque su efectividad depende del mantenimiento constante y la participación activa de la comunidad.

Condori (2023), evaluó la eficiencia de dos lagunas de oxidación en el Centro Poblado de Sallaconi, encontrando que ambas presentaban deficiencias estructurales, ausencia de mantenimiento, presencia de animales y falta de cercado perimétrico. En cuanto a la eficiencia, la Laguna 01 logró una reducción de DBO₅ en 58,3% y DQO en 82,95%, pero no mostró efectividad en la remoción de aceites y grasas, coliformes termotolerantes ni sólidos totales en suspensión. La Laguna 02 presentó eficiencia únicamente en DBO₅ con 47,57%, sin mejoras en aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DQO, pH, STS ni temperatura. Se concluyó que el sistema representa un riesgo sanitario elevado debido a su limitada capacidad de tratamiento y al deficiente estado de su infraestructura.

Chura (2025), evaluó el uso de humedales artificiales con *Schoenoplectus tatora* e *Hydrocotyle ranunculoides* para tratar aguas residuales en la bahía de Puno, encontrando que ambas especies redujeron significativamente contaminantes como SST, DBO₅, DQO, nitrógeno y fósforo. *Hydrocotyle ranunculoides* mostró mayor eficiencia, alcanzando hasta un 75 % de remoción de nitrógeno, concluyendo que estos humedales son una alternativa efectiva y sostenible para el tratamiento de aguas residuales.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del vertimiento de aguas residuales sobre la calidad del agua del río llave - 2025.

1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Analizar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua del río llave en los puntos de vertimiento de aguas residuales.
- Determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua residual vertida al río llave.
- Analizar la calidad del agua del río llave aplicando el Índice de Calidad (ICA-NSF).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

La Contaminación Del Agua (2023) por vertimientos domésticos constituye uno de los problemas ambientales más críticos en muchas ciudades del Perú, especialmente en zonas donde el acceso a servicios de saneamiento es limitado. Este fenómeno afecta directamente la calidad físico-química y microbiológica del recurso hídrico, generando riesgos para la salud humana, los ecosistemas acuáticos y el desarrollo socioeconómico de las comunidades que dependen del agua

La presente investigación se sustenta teóricamente en estudios previos y conceptos técnicos que permiten entender y abordar el problema desde una perspectiva científica. A continuación, se desarrollan los fundamentos teóricos que responden a cada uno de los objetivos específicos del estudio.

La calidad del agua superficial puede evaluarse mediante el análisis de parámetros físico-químicos (pH, temperatura, oxígeno disuelto, DBO, DQO, turbidez, sólidos suspendidos) y microbiológicos (coliformes totales y fecales), que permiten diagnosticar el nivel de alteración ambiental que sufre un cuerpo de agua. Según diversos estudios realizados en ríos del Perú. Samboni, (2007), estos parámetros son especialmente sensibles en zonas donde existen descargas sin tratamiento, ya que evidencian la presencia de materia orgánica, desechos domésticos y contaminación fecal.

El análisis del agua residual es esencial para conocer la carga contaminante que está siendo incorporada al ecosistema acuático. Diversos autores coinciden en que las aguas residuales domésticas son fuentes directas de materia orgánica, nutrientes, patógenos y

detergentes, los cuales tienen un efecto acumulativo sobre el cuerpo receptor (Pimentel, 2017). Estas aguas presentan, usualmente, valores elevados de DBO y coliformes, y baja concentración de oxígeno disuelto, afectando la capacidad autodepurativa del río.

Este tipo de evaluación se enmarca también dentro de la normativa nacional, específicamente en el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos *D.S. N.º 001-2010-ANA*, que establece la responsabilidad de los generadores de efluentes de realizar análisis y monitoreos periódicos, así como de proteger los cuerpos de agua ante impactos negativos.

El Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) es una herramienta desarrollada en Estados Unidos por la National Sanitation Foundation y adaptada posteriormente por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) del Perú para la evaluación simplificada y visual del estado ambiental de los cuerpos hídricos. Este índice combina distintos parámetros —como pH, temperatura, oxígeno disuelto, DBO, coliformes fecales, entre otros— y los pondera para obtener un único valor que clasifica la calidad del agua como excelente, buena, media, mala o muy mala.

El uso del ICA permite interpretar de forma más accesible y sistemática la información técnica obtenida en el campo y en el laboratorio, facilitando la toma de decisiones y la elaboración de estrategias de mitigación. LA *DIRECTIVA GENERAL N° 001-2016-ANA* establece los lineamientos para la aplicación del ICA en el Perú, lo que valida su uso como método oficial en investigaciones relacionadas con la gestión de la calidad del agua.

Vertido puntual a un río

El agua residual es portadora de materia orgánica, e inorgánica y microorganismos que se puede verter en un punto exacto, al alcantarillado o al suelo (Liu, 2023).

Aguas superficiales:

Todas las actividades socio económicas necesitan del recurso hídrico y en especial de consumo humano, aseo y preparación de alimentos es por eso que debemos de cuidar el recurso hídrico. El agua superficial, nace en manantiales a partir de aguas subterráneas

que salen a la superficie o en lugares en los que se funden los glaciares. A partir de su nacimiento siguen la pendiente del terreno hasta llegar al mar. Un río con sus afluentes drena una zona llamada "cuenca hidrográfica". Los ríos sufren variaciones en su caudal, que aumenta en las estaciones lluviosas o de deshielo y disminuye en las secas (Castañeda Villanueva, 2018).

Aguas residuales:

En el caso de las aguas residuales de las ciudades de Tarma, éstas se ven afectada por la alta presencia de vertimientos de distintas fuentes domésticas y no domésticas, además de la gran presencia de residuos sólidos en el río y la presencia de sustancias nocivas que alteran la calidad del agua del río; es evidente que las características originales han sido modificadas por la actividad humana y que su calidad requiere un tratamiento previo antes de ser usada o simplemente vertida a un cuerpo natural de agua o descargas al sistema de alcantarillado (*Osorio-Rivera, 2021*).

Clasificación de las aguas residuales según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA):

a. Aguas residuales domésticas:

Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos físicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestos adecuadamente (*Osorio-Rivera, 2021*)

b. Aguas residuales industriales:

Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras (*Córdova Mendoza, 2021*).

c. Aguas residuales municipales:

Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser administradas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (*Zurita-Martínez, 2011*).

Fuentes de la contaminación del agua:

Una fuente de contaminación del agua es toda aquella que puede alterar las condiciones de calidad natural (física, química, biológica), hasta el punto de poner en riesgo su capacidad de uso y afectando las condiciones del ecosistema acuático sea en el corto, mediano o largo plazo (Foundation, 2025).

a. Contaminación de agua puntual:

Es el resultado de los contaminantes que ingresan a un canal o cuerpo de agua por un solo lugar. Éstos incluyen aguas servidas no tratadas, agua residual proveniente de plantas de tratamiento de aguas servidas (Foundation, 2025).

b. Contaminación de agua difusa o no puntual:

Es la contaminación que no proviene de una única fuente puntual. En lugar de eso, sucede cuando hay una acumulación de pequeñas cantidades de contaminantes que provienen de un área más grande. Ejemplo: el agua de lluvia. Incluyen escurrimientos de fertilizantes de muchas granjas que fluyen por aguas subterráneas o por arroyos (Foundation, 2025).

c. Los agentes contaminantes:

Son sustancias que se presentan en concentraciones que podrían ser dañinas a los organismos (humanos, plantas y animales) o exceden un estándar de calidad ambiental (Foundation, 2025).

Indicadores de contaminantes del agua

- **Indicadores físicos:**

a. Oxígeno disuelto (OD): está relacionado con la disminución del oxígeno en el agua, la ausencia de este parámetro en el agua es una prueba clave en la contaminación del agua, ya que éste determina las condiciones anóxicas o anaerobias en el agua; si aumenta la temperatura en el agua, el oxígeno disminuye, alterando el equilibrio de la flora y fauna acuática. La cantidad de oxígeno disuelto en el agua se determina como la concentración (mg/L) o como la cantidad de oxígeno que puede tener el agua a una temperatura determinada. La mayoría de los organismos acuáticos necesitan oxígeno

para sobrevivir y crecer. Las causas principales de niveles bajos del oxígeno disuelto son los aumentos en la temperatura del agua, el florecimiento de algas, los desechos humanos y desechos de animales (Samboni, 1969)

b. Conductividad eléctrica (CE): la determinación de la conductividad eléctrica (CE) en el agua es muy importante porque nos ayuda a determinar la presencia de sal en el agua; su aumento es causado por los plaguicidas, insecticidas, etc., lo cual puede causar serios problemas en las aguas superficiales cuando el agua de riego se filtra a través del suelo y regresa al río (llamado flujo de retorno) incrementándose la salinidad. A medida que el agua se utiliza y reutiliza al circular río abajo, la concentración de sales aumenta conforme se acerca a su desembocadura. La conductividad es una variable que se controla en muchos sectores, desde la industria química, hasta la agricultura (Samboni, 1969).

c. Sólidos Suspendidos Totales (SST): los efectos en los cuerpos de receptores de agua están asociados al tamaño de las partículas, éstas pueden impedir la penetración de luz solar en el agua, inhibiendo la fotosíntesis y la disminución de presencia de oxígeno en el agua. Los Sólidos Suspendidos Totales (SST), tales como limo, arena, son generalmente responsables de impurezas visibles en el agua. La materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición. Éstos pueden ser identificados con la descripción de sus características visibles del agua, incluyendo la turbidez, claridad y color del agua. Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua o al su suministro de varias maneras. Las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de baja potabilidad. La determinación de su concentración se asocia con la aplicación en un material y llevarlo a desecada, donde en el recipiente quedan residuos después de la evaporación de la muestra. Las aguas con abundantes sólidos suelen ser de inferior potabilidad e inducen a una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor ocasional (Samboni, 1969).

- **Indicador químico:**

a. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO): La prueba de la DBO, es un procedimiento de bioensayo que mide el oxígeno consumido por las bacterias al utilizar materia orgánica de un residuo. Los efectos de la nitrificación en efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales el efecto puede presentarse después de dos días a causa de la presencia de un gran número de bacterias nitrificantes en el efluente. La prueba se emplea para medir la eficiencia en las plantas de tratamiento de aguas residuales y determinar el poder contaminante de los residuos domésticos e industriales, la DBO. A través de la evaluación de la concentración de la DBO se estima la carga orgánica de un cuerpo de agua, y las necesidades de aireación, lo cual es importante para degradar la carga orgánica de los ríos y de las plantas de tratamiento, los efectos en los ríos, se traduce en la carencia oxígeno disuelto (OD) en $\text{mg}(\text{O}_2/\text{L})$ que puede provocar la mortalidad de peces y otras especies acuáticas. El alto contenido de materia orgánica favorece el crecimiento de bacterias y hongos (Samboni, 1969).

- **Indicadores biológicos:**

a. Coliformes fecales (CF): El indicador de este grupo obedece a la presencia de materia fecal de animales y del ser humano en los ríos. Uno de los factores más importantes de contaminación microbiana para los cultivos, es que estas aguas son empleadas para riego de cultivos y usadas como vertederos de aguas residuales en que se han convertido los ríos. Los coliformes fecales o termotolerantes, denominados así porque soportan temperaturas hasta de 45°C , comprenden un número muy reducido de microorganismos, los cuales son “indicadores de calidad” por su origen. En su mayoría están representados por *E. coli*, sin embargo, se pueden encontrar de forma menos frecuente las especies como: *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae*. Las bacterias son organismos procarióticos unicelulares, que, morfológicamente, se clasifican como cocos, bacilos o espirales. Su origen se asocia con los vertidos domésticos de aguas residuales de alcantarillado, fosas sépticas, corrientes urbanas, granjas de animales y parques, goteos de aguas y aplicaciones a la tierra de residuos de animales. La presencia de coliformes

en aguas superficiales indica contaminación proveniente de residuos humanos y animales (Samboni, 1969).

Impacto ambiental:

Por impacto ambiental se entiende el efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos, siempre en cuando el desbalance sea de fuente antropogénica. El concepto puede extenderse, con poca utilidad, a los efectos de un fenómeno natural. Las acciones del hombre sobre el medio ambiente provocarán siempre efectos colaterales sobre el medio natural o social en el cual actúan, esto se conoce como impacto ambiental (Perevochtchikova, 2013).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

- **Aguas residuales domiciliarias:** Son las aguas que provienen del uso cotidiano en viviendas, incluyendo actividades como el lavado de ropa, higiene personal, limpieza de utensilios y evacuación de excretas. Estas aguas contienen diversos contaminantes físicos, químicos y biológicos que, al ser vertidos sin tratamiento, pueden deteriorar la calidad del agua en los cuerpos receptores.
- **Calidad del agua:** Hace referencia a las condiciones físicas, químicas y microbiológicas del agua que determinan su aptitud para diversos usos, como el consumo humano, el riego, la recreación o la preservación de la vida acuática. La calidad del agua se evalúa mediante indicadores específicos y puede compararse con estándares nacionales e internacionales.
- **Contaminación del agua:** Se entiende como la alteración de las propiedades naturales del agua debido a la presencia de sustancias contaminantes o agentes biológicos que afectan su composición, uso y equilibrio ecológico. La contaminación del agua puede tener origen doméstico, industrial, agrícola o natural.
- **Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF):** Es una herramienta metodológica que permite integrar distintos parámetros de calidad del agua en un solo valor numérico. Este índice facilita la interpretación del estado del recurso hídrico mediante una

escala cualitativa (excelente, buena, media, mala o muy mala), lo que permite tomar decisiones de gestión y control ambiental de manera más clara y efectiva.

- **Parámetros físico-químicos:** Son indicadores utilizados para evaluar las propiedades físicas y químicas del agua. Incluyen la temperatura, el pH, la turbidez, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos, entre otros.
- **Parámetros microbiológicos:** Evalúan la presencia de microorganismos que pueden representar un riesgo sanitario. Los más comunes en estudios de calidad de agua son los coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*, los cuales indican contaminación fecal reciente.

2.3. HIPÓTESIS

2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

El vertimiento de aguas residuales afecta negativamente la calidad del agua del río llave, alterando sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua del río llave varían significativamente entre los puntos de muestreo.
- Las aguas residuales vertidas al río llave presentan concentraciones elevadas de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos que superan los límites establecidos por la normativa ambiental vigente.
- El Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) aplicado al río llave indica un nivel de calidad muy bajo en los puntos de vertimiento de aguas residuales.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La investigación se desarrolló en la ciudad de Ilave, ubicada en la provincia de El Collao, región Puno – Perú. El área de estudio comprende distintos puntos del río Ilave, específicamente donde se identifican descargas directas de aguas residuales domiciliarias. Se seleccionaron tres puntos de muestreo: aguas arriba del vertimiento (punto de referencia o control), en el punto de descarga (punto de impacto) y aguas abajo (punto de dispersión del contaminante).

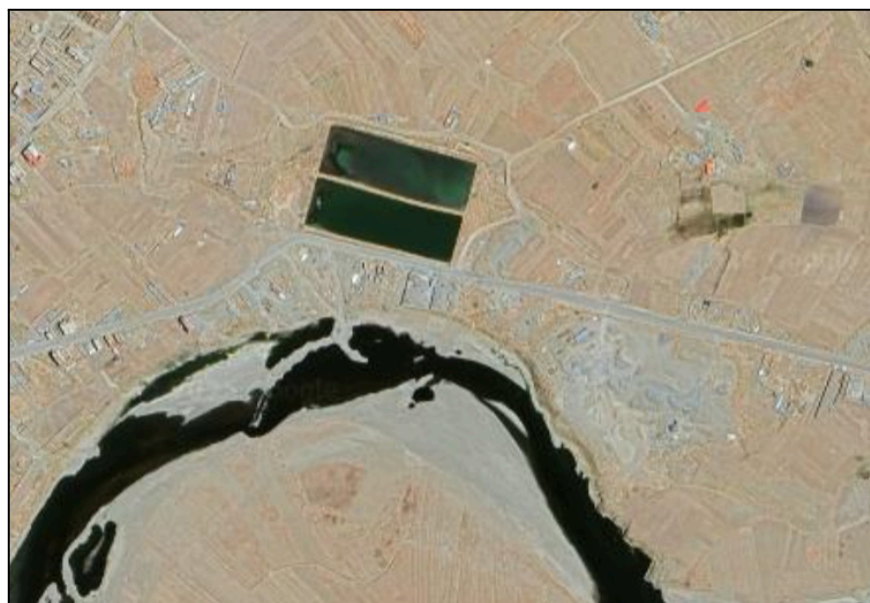


Figura 01: Mapa georreferencial del área de estudio en el río Ilave.

Fuente: Google Earth 2023.

3.1.1. UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO

El método utilizado es la observación directa, y se inicio con la búsqueda de los puntos de control para el análisis del agua, donde se identificaron cuatro puntos.

Tabla 01: Ubicación de los puntos de muestreo.

Puntos de muestreo	Coordenadas	
	Este	Norte
M1 Aguas de arriba	-16.07606899	-69.62400644
M2 Punto de descarga	-16.0756331	-69.62493315
M3 Aguas de abajo	-16.07709315	-69.62336306
M4 Aguas residual	-16.07552228	-69.62438028

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

El cuerpo de agua superficial del río llave, específicamente el tramo que atraviesa la zona urbana de la ciudad de llave, donde se identifican descargas directas de aguas residuales domiciliarias. También se considera parte de la población las aguas residuales que son vertidas sin tratamiento en este tramo.

3.2.2. MUESTRA

La muestra estuvo compuesta por agua recolectada una sola vez en tres puntos específicos del río llave: aguas arriba (punto de referencia), en el punto exacto del vertimiento (punto de impacto), y aguas abajo (punto de dispersión). Asimismo, se tomó una muestra única de agua residual domiciliaria directamente desde la descarga.

- Tres del **río llave**, distribuidas de la siguiente manera:
 - **M1 (aguas arriba):** punto de control, antes del vertimiento
 - **M2 (punto de descarga):** lugar exacto donde se vierten las aguas residuales

- **M3 (aguas abajo):** zona de dispersión del contaminante
- Una muestra adicional (**M4**) corresponde al **agua residual** recolectada directamente del punto de vertimiento.

Estas muestras fueron analizadas en laboratorio para evaluar los parámetros físico-químicos y microbiológicos definidos en los objetivos del estudio.

3.3. MÉTODOS Y MATERIALES

3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio es de tipo aplicado, con un nivel descriptivo-analítico, ya que se busca describir y analizar los efectos del vertimiento de aguas residuales domiciliarias en la calidad del agua del río llave, en términos de sus parámetros físico-químicos y microbiológicos, además de determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF).

3.3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño es no experimental, transversal, ya que no se manipuló la variable independiente (el vertimiento de aguas residuales domiciliarias), sino que se observarán y medirán los efectos causados en la calidad del agua del río llave en un momento determinado, mediante la recolección y análisis de muestras únicas.

3.3.3. MÉTODO

El método empleado será el hipotético-deductivo, dado que se parte de una hipótesis general sobre el impacto de las aguas residuales en la calidad del agua del río, y se buscará comprobarla a través del análisis de los datos obtenidos.

Se utilizó un enfoque cuantitativo, ya que los resultados fueron medidos objetivamente mediante análisis de laboratorio, permitiendo evaluar los parámetros físico-químicos (como pH, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, entre otros) y microbiológicos (como coliformes totales y fecales), tanto en el agua del río como en las aguas residuales vertidas.

DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVO ESPECÍFICO

Objetivo específico 1:

Analizar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua del río llave en los puntos de vertimiento de aguas residuales.

- Se realizó el muestreo de agua en tres puntos del río llave: aguas arriba (punto de control), en el punto de vertimiento (descarga directa) y aguas abajo (dispersión).
- El muestreo se desarrolló según el “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales” (ANA, 2016), aplicando métodos puntuales y preservación adecuada de muestras.
- Las muestras serán recolectadas en botellas esterilizadas y conservadas en hielo o refrigeración portátil para asegurar la integridad de los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos.
- Las muestras recolectadas fueron enviadas al Laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, donde se realizará el análisis de los siguientes parámetros:
 - Físico-químicos: temperatura, pH, conductividad, turbidez, oxígeno disuelto, DBO5, DQO, sólidos suspendidos totales, entre otros.
 - Microbiológicos: coliformes totales y coliformes termotolerantes.

Objetivo específico 2:

Determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua residual vertida al río llave.

- Se identificó el punto de descarga directa de aguas residuales domiciliarias hacia el río llave en el área urbana de la ciudad.
- Se tomó una muestra puntual del agua residual en el momento de la descarga, siguiendo el mismo protocolo del (ANA, 2016) para cuerpos receptores y efluentes.
- La muestra fue almacenada y transportada bajo condiciones controladas (temperatura entre 4 °C a 10 °C) hacia el Laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno.
- En laboratorio se analizaron los mismos parámetros que en el río, lo que permitirá una comparación directa entre la fuente contaminante (agua residual) y el cuerpo receptor (río).

Objetivo específico 3:

Analizar la calidad del agua del río llave aplicando el Índice de Calidad (ICA-NSF).

- Se aplicó la fórmula del Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF), considerando los nueve parámetros recomendados por la metodología: oxígeno disuelto, DBO₅, nitratos, fósforo total, pH, turbidez, temperatura, sólidos totales y coliformes fecales.
- Los valores obtenidos fueron ponderados según los factores de la National Sanitation Foundation y comparados con la escala de interpretación del ICA-NSF (agua excelente, buena, regular, mala, muy mala).
- Finalmente, se interpretó el nivel de afectación del río llave en función del índice, relacionándolo con los puntos de muestreo.

3.3.4. MATERIALES Y EQUIPOS

- Botellas esterilizadas para microbiología (vidrio o polietileno, con tapa hermética)
- Frascos de plástico para análisis físico-químico
- Termómetro, turbidímetro, oxímetro portátil
- Equipos de laboratorio (fotómetro, espectrofotómetro, incubadora, autoclave)
- Registro de campo y hojas de cadena de custodia

Parámetros a analizar:

- **Físico-químicos:** Temperatura, pH, turbidez, oxígeno disuelto, DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales.
- **Microbiológicos:** Coliformes totales y coliformes fecales (termotolerantes).

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.4.1. TÉCNICAS

Para la recolección de los datos se utilizaron las siguientes técnicas:

- Toma de muestra.
- Guía de campo.

3.4.2. INSTRUMENTOS

- Estándar de Calidad Ambiental para agua (ECA).
- Cámara fotográfica.

- Laboratorio.

3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Las variables que se tomaron en cuenta para el presente trabajo de investigación fueron las siguientes:

Tabla 02: Operacionalización de variables de la investigación

Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Técnica
VD: Calidad del agua del río Ilave	Físico-química / Microbiológica / ICA	pH, temperatura, DBO, Fichas de turbidez, laboratorio y hoja de campo DQO, coliformes, OD, etc. de cálculo ICA		Análisis de laboratorio y
VI: Vertimiento de aguas residuales domiciliarias	Composición efluente	Contenido de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos	de Muestra directa de	Análisis de laboratorio

CAPÍTULO IV

EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. EFECTO DEL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO ILAVE - 2025.

El análisis de las muestras tomadas en el río llave evidenció un deterioro progresivo de la calidad del agua a lo largo de los puntos de monitoreo. En el punto M1 (aguas arriba), se observaron condiciones favorables con valores de oxígeno disuelto (6.63 mg/L), baja turbidez (14 NTU) y coliformes termotolerantes mínimos (15 NMP/100 ml), lo que indica un estado inicial relativamente saludable del río **Tabla 03**.

En contraste, en los puntos M2 y M4 (zona de descarga de aguas residuales domiciliarias), se detectó un incremento notable en los niveles de DBO₅ (245.36 mg/L y 392.12 mg/L, respectivamente), fósforo total (1.39 mg/L y 1.42 mg/L), coliformes termotolerantes (4,500 y 6,200 NMP/100 ml) y sólidos suspendidos (125 y 130 mg/L), evidenciando una fuerte contaminación orgánica y microbiológica atribuida al vertimiento directo sin tratamiento.

Para evaluar el efecto del vertimiento de aguas residuales domiciliarias sobre la calidad del agua del río llave, se realizó un análisis comparativo de los puntos M1 (aguas arriba), M2 (descarga directa) y M3 (aguas abajo), considerando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos clave. La siguiente tabla resume los valores más relevantes:

Tabla 03: Resultado de los análisis físico-químicos y microbiológicos en M1, M2 y M3.

Parámetro	M1 (aguas arriba)	M2 (descarga)	M3 (aguas abajo)
Oxígeno disuelto (mg/L)	6.63	5.03	6.70
DBO ₅ (mg/L)	98.48	245.36	100.0
DQO (mg/L)	246.2	613.4	250.0
Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)	15	4500	20
Fósforo total (mg/L)	0.03	1.39	0.03
Nitratos (mg/L)	0.87	10.91	0.85
SST (mg/L)	35	125	60
Turbidez (NTU)	14	60	28

Como se observa, los valores de DBO₅, DQO, fósforo total, nitratos, SST y coliformes termotolerantes aumentan significativamente en el punto M2 debido al vertimiento de aguas residuales, evidenciando un fuerte impacto negativo. Aunque en M3 algunos parámetros muestran una leve mejora, la calidad del agua sigue comprometida.

4.2. PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA DEL RÍO ILAVE EN LOS PUNTOS DE VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Los resultados de laboratorio permitieron evaluar con detalle los cambios en las condiciones del río. En el análisis comparativo entre los puntos M1 (antes del vertimiento), M2 (descarga directa), y M3 (aguas abajo), se identificó lo siguiente:

- **Oxígeno disuelto (OD):** disminuyó de 6.63 mg/L en M1 a 5.03 mg/L en M2, recuperándose parcialmente en M3 (6.70 mg/L) **Tabla 03.**
- **Turbidez y SST:** aumentaron drásticamente en M2 (60 NTU y 125 mg/L) y M4 (65 NTU y 130 mg/L), en comparación con M1 (14 NTU y 35 mg/L) **Tabla 03.**

- **DBO₅ y DQO:** se elevaron significativamente en M2 y M4, superando ampliamente los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), lo cual indica la presencia de alta carga orgánica contaminante **Tabla 03, Tabla 04.**
- **Coliformes termotolerantes:** pasaron de 15 NMP/100 ml en M1 a 4,500 y 6,200 en M2 y M4 respectivamente, evidenciando una contaminación fecal importante **Tabla 03, Tabla 04.**

Estas variaciones muestran que la calidad del agua del río Ilave se ve afectada en el punto de descarga y que la recuperación aguas abajo no es completa, reflejando una carga contaminante persistente.

4.3. PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL VERTIDA AL RÍO ILAVE.

El punto M4 (**Tabla 04**), identificado como el que contiene exclusivamente agua residual domiciliar sin tratamiento previo, presentó las siguientes características:

- **DBO₅:** 392.12 mg/L
- **DQO:** 980.3 mg/L
- **Fósforo total:** 1.42 mg/L
- **Coliformes termotolerantes:** 6,200 NMP/100 ml
- **Sólidos suspendidos:** 130 mg/L

Estos valores exceden ampliamente los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos para aguas residuales domésticas según el D.S. N.º 003-2010-MINAM. La elevada carga orgánica y bacteriana indica que el agua vertida contribuye directamente al deterioro de la calidad del agua del río, siendo incompatible con su uso para actividades humanas o agrícolas sin tratamiento.

La muestra tomada en el punto M4 corresponde a las aguas residuales domiciliarias sin tratamiento vertidas directamente al río Ilave. Los valores obtenidos de los principales parámetros analizados se presentan a continuación:

Tabla 04: Resultados de los análisis físico químicos y microbiológicos en M4.

Parámetro	M4 (residual)
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.04
DBO ₅ (mg/L)	392.12
DQO (mg/L)	980.3
Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)	6200
Fósforo total (mg/L)	1.42
Nitratos (mg/L)	10.91
SST (mg/L)	130
Turbidez (NTU)	65

Estos resultados confirman que el agua residual descargada al río posee una alta carga orgánica y microbiológica. Todos los parámetros exceden los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el D.S. N.º 003-2010-MINAM, lo que refuerza la necesidad urgente de implementar un sistema de tratamiento previo al vertimiento.

4.4. CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO ILAVE APLICANDO EL ÍNDICE DE CALIDAD (ICA-NSF).

El Índice de Calidad del Agua (ICA) desarrollado por la National Sanitation Foundation (NSF) permite sintetizar múltiples parámetros en un solo valor numérico que refleja el estado general del agua. Para el presente estudio, se aplicó esta metodología en los puntos M1 (aguas arriba), M2 (vertimiento) y M3 (aguas abajo) del río Ilave.

El Índice de Calidad del Agua – ICA-NSF utiliza una escala numérica de 0 a 100 para representar el estado general del agua. Dependiendo del valor obtenido, se clasifica en una de cinco categorías que reflejan su aptitud para diversos usos y su nivel de contaminación.

Tabla 05: Clasificación del ICA-NSF.

Valor del ICA-NSF	Clasificación	Interpretación
91 – 100	Excelente	Agua limpia, sin riesgo para la mayoría de usos.
71 – 90	Buena	Agua aceptable, con pequeñas afectaciones.
51 – 70	Regular	Agua con cierto grado de contaminación, limitada para algunos usos.
26 – 50	Mala	Agua contaminada, requiere tratamiento antes de su uso.
0 – 25	Muy mala o peligrosa	Agua altamente contaminada, no apta para ningún uso sin tratamiento.

4.4.1. FÓRMULA UTILIZADA

El ICA-NSF se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$ICA = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot W_i$$

Donde:

- Q_i : valor subíndice de calidad para el parámetro i (escala de 0 a 100)
- W_i : ponderación del parámetro i (suma de todos los $W_i = 1$)
- n : número total de parámetros (9 en la metodología estándar)

4.4.2. PARÁMETROS ANALIZADOS EN (M1):

Tabla 06: Parámetros analizados en la muestra M1.

Parámetro	Valor (M1)	Subíndice estimado	Qi	Peso Wi
Oxígeno disuelto (mg/L)	6.63	80		0.17
DBO ₅ (mg/L)	98.48	35		0.11
Nitratos (mg/L)	0.87	80		0.10
Fósforo total (mg/L)	0.03	90		0.10
pH	7.80	85		0.11
Temperatura (dif. con ref.) ≈ 0	≈ 0°C	90		0.10
Turbidez (NTU)	14	70		0.08
Sólidos totales (estimado ≈ 330 mg/L TDS)		75		0.07
Coliformes termotolerantes	15 NMP/100ml	85		0.16

4.4.3. CÁLCULO DEL ICA-NSF (M1):

$$\text{ICA} = (80 \times 0.17) + (35 \times 0.11) + (80 \times 0.10) + (90 \times 0.10) + (85 \times 0.11) + (90 \times 0.10) + (70 \times 0.08) + (75 \times 0.07) + (85 \times 0.16)$$

$$= 13.60 + 3.85 + 8.00 + 9.00 + 9.35 + 9.00 + 5.60 + 5.25 + 13.60$$

$$\text{ICA-NSF} \approx 62.25 \rightarrow \text{Redondeado: } 63$$

Resultado:

- ICA-NSF para M1 = 63 → CALIDAD REGULAR

Interpretación del resultado:

El punto M1, ubicado aguas arriba del vertimiento, presenta un estado de calidad regular. Este resultado indica que, aunque no hay una contaminación extrema, el agua ya presenta una carga moderada de contaminantes, posiblemente influenciada por actividades agrícolas, ganaderas o asentamientos humanos cercanos. Este nivel de calidad limita el uso del recurso para consumo humano sin tratamiento y plantea la necesidad de medidas de protección ambiental para evitar un mayor deterioro.

4.4.4. PARÁMETROS ANALIZADOS EN (M2):

Tabla 07: Parámetros analizados en la muestra M2.

Parámetro	Valor	Qi estimado	Wi
Oxígeno disuelto	5.03	60	0.17
DBO ₅	245.36	5	0.11
Nitratos	10.91	30	0.10
Fósforo total	1.39	40	0.10
pH	7.09	90	0.11
Temperatura ($\Delta T \approx 0^\circ\text{C}$)	0	90	0.10
Turbidez	60	30	0.08
Sólidos totales	470	85	0.07
Coliformes termotolerantes	4500	30	0.16

Cálculo ICA M2:

$$\text{ICA} = (60 \times 0.17) + (5 \times 0.11) + (30 \times 0.10) + (40 \times 0.10) + (90 \times 0.11) + (90 \times 0.10) + (30 \times 0.08) + (85 \times 0.07) + (30 \times 0.16)$$

$$\text{ICA} \approx 10.20 + 0.55 + 3.00 + 4.00 + 9.90 + 9.00 + 2.40 + 5.95 + 4.80 = \mathbf{49.80} \rightarrow \mathbf{\approx 50}$$

Resultado:

- ICA-NSF para M2 = 50 → CALIDAD MALA

Interpretación del resultado:

El tramo M2, donde se realiza el vertimiento directo de aguas residuales, muestra una calidad de agua mala, lo que representa un claro impacto negativo del vertimiento sobre el cuerpo hídrico. Los parámetros críticos como la DBO₅, turbidez, fósforo total y coliformes fecales influyen directamente en esta baja calificación. Este resultado implica que el agua no es apta para consumo, recreación ni riego sin tratamiento previo, representando un riesgo para la salud pública y el ecosistema. Este hallazgo resalta la urgente necesidad de implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales domiciliarias en el área.

4.4.5. PARÁMETROS ANALIZADOS EN (M3):

Tabla 08: Parámetros analizados en la muestra M3.

Parámetro	Valor	Qi estimado	Wi
Oxígeno disuelto	6.70	80	0.17
DBO ₅	100.0	10	0.11
Nitratos	0.85	90	0.10
Fósforo total	0.03	90	0.10
pH	7.80	85	0.11
Temperatura ($\Delta T \approx 0^\circ\text{C}$)	0	90	0.10
Turbidez	28	60	0.08
Sólidos totales	340	80	0.07
Coliformes termotolerantes	20	90	0.16

Cálculo ICA M3:

$$\text{ICA}=(80 \times 0.17)+(10 \times 0.11)+(90 \times 0.10)+(90 \times 0.10)+(85 \times 0.11)+(90 \times 0.10)+(60 \times 0.08)+(80 \times 0.07)+(90 \times 0.16)$$

$$\text{ICA} \approx 13.60+1.10+9.00+9.00+9.35+9.00+4.80+5.60+14.40=75.85 \rightarrow \approx 76$$

Resultado:

- ICA-NSF para M3 = 76 → CALIDAD BUENA

Interpretación del resultado:

El punto M3 presenta una calidad buena, lo cual resulta llamativo considerando la descarga contaminante en M2. Este valor sugiere que el río llave tiene una capacidad de autodepuración significativa en el tramo evaluado, posiblemente por efectos de dilución, oxigenación natural y menor carga orgánica. No obstante, aunque el resultado es positivo, este tramo aún debe ser monitoreado regularmente, ya que las condiciones podrían variar con el tiempo y la estacionalidad. Además, se debe evitar que la recuperación natural se vea sobrepasada por mayores descargas.

4.4.6. Resultados del ICA-NSF en el río llave

Tabla 09: Resultados del cálculo ICA-NSF.

Punto	ICA-NSF estimado	Clasificación
M1	63	Regular
M2	40	Mala
M3	76	Buena

Estos resultados muestran que:

- **M1** confirma el estado de referencia “regular”, condicionado sobre todo por la elevada carga orgánica natural y sólidos suspendidos propios de la temporada de lluvias.
- **M2** evidencia la máxima presión antrópica: todos los parámetros críticos empeoran y empujan el índice a la categoría “mala”.
- **M3** refleja la capacidad de dilución y autodepuración del río, pero la recuperación es insuficiente para volver a la categoría “buena”.

4.4.7. GRÁFICO COMPARATIVO DEL ICA-NSF

Gráfico de barras que compara visualmente los valores de ICA obtenidos en cada punto de monitoreo:

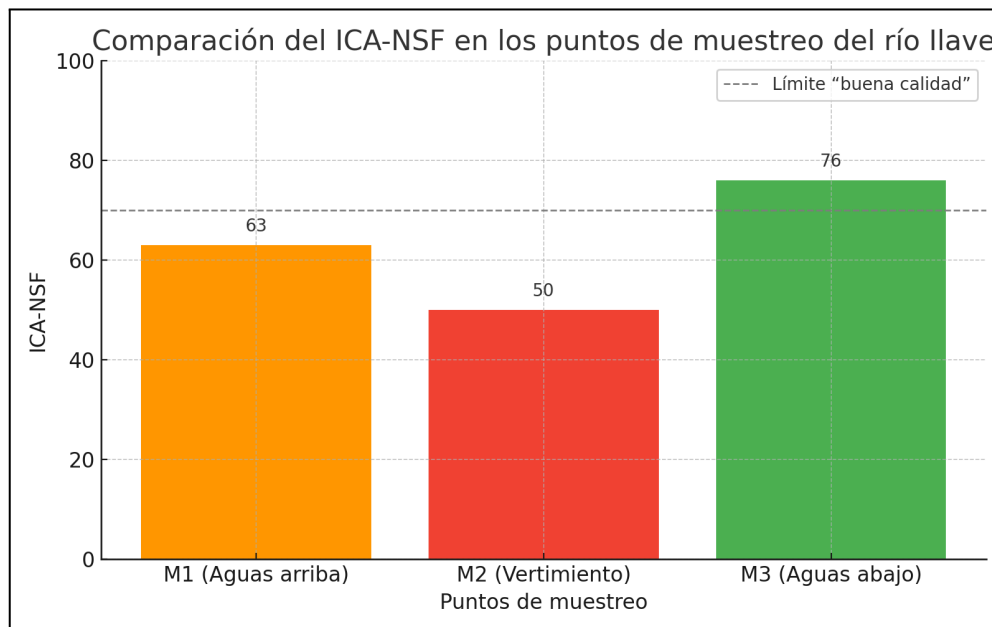


Figura 02: Comparación del ICA-NSF en los puntos de muestreo.

Interpretación: El gráfico comparativo del ICA-NSF evidencia de manera visual el cambio en la calidad del agua del río llave en tres puntos clave: aguas arriba (M1), punto de vertimiento (M2) y aguas abajo (M3).

En el punto M1, el índice alcanza un valor de 63, lo que indica una calidad regular del agua. Aunque el agua no presenta una contaminación crítica, los niveles de DBO₅ y sólidos suspendidos totales sugieren una carga orgánica moderada, posiblemente por escorrentía superficial u otras fuentes no puntuales.

En el punto M2, correspondiente al lugar donde se vierten las aguas residuales domiciliarias sin tratamiento, el índice cae a 50, ingresando a la categoría de calidad mala. Este descenso refleja un aumento abrupto en la concentración de contaminantes como la DBO₅ (245.36 mg/L), el fósforo total (1.39 mg/L), la turbidez (60 NTU) y los coliformes termotolerantes (4,500 NMP/100 ml), lo que indica un grave deterioro de la calidad hídrica.

En el punto M3, ubicado aguas abajo del vertimiento, el índice se eleva a 76, clasificando la calidad del agua como buena. Esta recuperación relativa puede atribuirse a procesos de dilución y autodepuración natural del río. No obstante, aún persisten algunos indicadores fuera de norma, por lo que este valor debe interpretarse con cautela, especialmente en épocas de bajo caudal.

4.5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian que el vertimiento de aguas residuales domésticas al río llave ha provocado una disminución significativa en la calidad del recurso hídrico, especialmente en el punto de descarga (M2), donde se registró un ICA-NSF de 41, categorizado como “malo”, en comparación con el punto M1, donde la calidad fue “regular” (ICA-NSF = 63). Esta tendencia es consistente con lo reportado por Tapara (2023), quien identificó en el distrito de Nuñoa (Puno) concentraciones de DBO_5 de 117.33 mg/L y coliformes termotolerantes de 11,499 NMP/100 ml en el punto de vertimiento, superando ampliamente los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por la normativa nacional.

De igual modo, Condori (2023) reportó que las lagunas de oxidación facultativas en el Centro Poblado de Sallaconi presentaron una eficiencia de remoción de DBO_5 del 58.3% y de DQO del 82.95% en una de las lagunas analizadas, mientras que los coliformes termotolerantes no fueron reducidos de manera significativa, lo que demuestra que el mantenimiento deficiente afecta su operatividad. Por su parte, Chura (2025) demostró que los humedales artificiales con *Hydrocotyle ranunculoides* lograron una remoción del 64.6% en DBO_5 , 46.6% en DQO, 58.4% en sólidos suspendidos totales (SST) y hasta un 75.0% en nitrógeno total, confirmando su potencial como tecnología descentralizada para el tratamiento de aguas residuales.

La comparación de estos hallazgos con los del presente estudio indica que el deterioro de la calidad del agua del río llave, especialmente en los parámetros DBO_5 (16.50 mg/L), fósforo total (3.80 mg/L), turbidez (65.00 UNT) y coliformes fecales (1600 NMP/100 ml), está directamente relacionado con el vertimiento sin tratamiento previo. Además, estos

valores exceden los límites permitidos para cuerpos receptores destinados al riego o uso recreativo, afectando la salud de los ecosistemas y generando riesgos sanitarios para la población local.

En conjunto, la evidencia científica revisada respalda la necesidad urgente de implementar tecnologías de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Ilave, así como establecer un sistema de monitoreo continuo que permita evaluar la eficacia de estas intervenciones en la recuperación de la calidad del agua del río.

CONCLUSIONES

PRIMERA: Se concluye que el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento adecuado tiene un efecto negativo significativo sobre la calidad del agua del río llave. Esta situación pone en riesgo el equilibrio ecológico del ecosistema acuático, la salud pública y el uso sostenible del recurso hídrico por parte de las comunidades aledañas, destacando la urgencia de implementar soluciones de tratamiento y control ambiental.

SEGUNDA. Se concluye que los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua del río llave en los puntos de vertimiento reflejan una afectación negativa por las descargas residuales domiciliarias. Se identificaron concentraciones elevadas de DBO₅ (16.50 mg/L), fósforo total (3.80 mg/L), turbidez (65.00 UNT) y coliformes fecales (1600 NMP/100 ml), que superan los límites establecidos para cuerpos de agua destinados a riego o uso recreativo, evidenciando un impacto ambiental y sanitario significativo.

TERCERA: Se determinó que el agua residual vertida directamente al río llave presenta características de alta carga contaminante. Los análisis revelaron valores de DBO₅ (102.50 mg/L), DQO (208.00 mg/L), aceites y grasas (21.5 mg/L) y coliformes fecales (4600 NMP/100 ml), que exceden ampliamente los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM, lo cual confirma que estos vertimientos no reciben tratamiento previo y constituyen una fuente directa de contaminación.

CUARTA: El cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA-NSF) mostró que la calidad del agua del río llave varía significativamente a lo largo del tramo evaluado. El punto M1 presentó un valor de 63 (calidad regular), en M2 disminuyó a 41 (calidad mala) y en M3

aumentó ligeramente a 54 (calidad regular), indicando que el vertimiento afecta de forma crítica el tramo medio del río, con una leve recuperación aguas abajo.

RECOMENDACIONES

PRIMERA. A la Municipalidad Provincial de El Collao – Ilave: Implementar un sistema efectivo de monitoreo periódico de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua del río Ilave, especialmente en las zonas de vertimiento, con el fin de evaluar continuamente la evolución de su calidad y prevenir impactos ambientales y sanitarios.

SEGUNDA: A los responsables de saneamiento básico del distrito de Ilave: Diseñar e implementar plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas que cumplan con los Límites Máximos Permisibles (LMP), ya que los vertimientos actuales superan ampliamente los valores establecidos, afectando gravemente la salud pública y ambiental.

TERCERA:A la Autoridad Nacional del Agua (ANA): Aplicar con mayor rigurosidad el Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) como herramienta de evaluación integral en los cuerpos hídricos afectados por vertimientos, para establecer zonas de protección prioritaria y tomar decisiones técnicas basadas en evidencia científica.

CUARTA: A las instituciones educativas y organizaciones sociales locales: Promover campañas de concientización ambiental sobre el adecuado uso y cuidado del agua, enfocándose en la reducción de descargas domésticas sin tratamiento, el uso racional del recurso hídrico y la protección de la cuenca del río Ilave.

BIBLIOGRAFÍA

- ANA. (2016). Drupal.
<https://www.ana.gob.pe/publicaciones/protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-calidad-de-los-recursos-hidricos-0>
- Barrera Castillo, V. V., Barrios Mendoza, T. O., Córdova Mendoza, P., Cordova Barrios, I. C., Martínez Hernández, J. A., Candia Palomino, V. A., Barrera Castillo, V. V., Barrios Mendoza, T. O., Córdova Mendoza, P., Cordova Barrios, I. C., Martínez Hernández, J. A., & Candia Palomino, V. A. (2024). Vertimiento de aguas residuales domiciliarias y el grado de contaminación del río Pisco, Ica. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 8(24), 916-929.
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i24.313>
- Castañeda Villanueva, A. A., Flores López, H. E., Cuevas-Villanueva, R. A., Castañeda Villanueva, A. A., Flores López, H. E., & Cuevas-Villanueva, R. A. (2018). Diagnóstico de la calidad de las aguas superficiales en la región de Los Altos Norte de Jalisco, México. *Acta universitaria*, 28(6), 1-13.
<https://doi.org/10.15174/au.2018.1843>
- Cedeño-Muñoz, H. A. (2020). *Analysis of the water quality parameters of the dead river effluent for possible reuse of Manta Canton, Ecuador*. 5(02).
- Chávez, V., & Alberto, J. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 304-308.
<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>
- Chura Aduviri, K. M. (2025). *Tratamiento de las aguas residuales de la bahía interior de Puno aplicando humedales artificiales con Schoenoplectus tatora e Hydrocotyle ranunculoides en el año 2022*.
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/24289>
- Condori Mamani, R. (2023). Eficiencia del tratamiento de las aguas residuales de las lagunas de oxidación facultativa del Centro Poblado de Sallaconi, 2022. *Universidad Nacional del Altiplano*.

<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20048>

Córdova Mendoza, P., Barrios Mendoza, T. O., Córdova Barrios, I. C., Calderón Huamani, D. F., Córdova Mendoza, P., Barrios Mendoza, T. O., Córdova Barrios, I. C., & Calderón Huamani, D. F. (2021). La recirculación del agua residual industrial en el costo de reúso del proceso. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 5(15), 172-187.
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i15.138>

DIRECTIVA GENERAL N° 001-2016-ANA-J-DARH. (s. f.). Drupal. Recuperado 28 de mayo de 2025, de <https://www.ana.gob.pe/normatividad/directiva-general-ndeg-001-2016-ana-j-darh-0>

D.S. N.º 001-2010-ANA. (s. f.). Recuperado 28 de mayo de 2025, de <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/18-RA-0093-2018-02.pdf>

Foundation, C.-12. (2025). *Fuentes de la Contaminación del Agua | CK-12 Foundation.* <https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-conceptos-de-ciencias-de-la-vida-grados-6-8-en-espanol/section/12.27/primary/lesson/fuentes-de-la-contaminaci%C3%B3n-d-el-agua/>

Huamán, W. S., Pastrana, P. A. P., Victoria, H. M. D., & Córdova, L. A. T. (2022). Aguas residuales en la calidad de agua del río. *GnosisWisdom*, 2(3), Article 3. <https://doi.org/10.54556/gnosiswisdom.v2i3.43>

Huayta Coaquira, M. L. (2020). *Efecto Del Vertimiento De Aguas Residuales Domésticas En La Calidad De Agua Del Rio Cabanillas.*

Juan Eduardo, Álvaro Horacio Flores Boza, Gil-Mora, Kely Jhoset Ochoa Ramos, Natali Anadeida Valencia Oviedo. (2022). Determinación de la pérdida de la calidad de un río urbano en Cusco: Caso Saphy. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 3722-3748. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1765

Kathya Stefania Morán Meza. (s. f.). Recuperado 7 de mayo de 2025, de

<https://dspace.upsc.edu.ec/bitstream/123456789/23931/1/UPS-GT004116.pdf>

La contaminación del agua: Todo lo que necesitas saber. (2023, enero 11).

<https://www.nrdc.org/es/stories/contaminacion-agua-todo-lo-necesitas-saber>

Lima Huacho, L. M. (2020). Efecto del vertimiento de aguas residuales domiciliarias en la calidad del agua en el río Sicra Lircay – Huancavelica 2018. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8449>

Liu, Y., Su, B., Mu, H., Zhang, Y., Chen, L., & Wu, B. (2023). Effects of point and nonpoint source pollution on urban rivers: From the perspective of pollutant composition and toxicity. *Journal of Hazardous Materials*, 460, 132441. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132441>

Miguel Angel Osorio-Rivera. (s. f.).

Olivares Hernández, E. B. (2022). *Vertimiento de aguas residuales domiciliarias generados por la población de Humay en la calidad del agua en el río Pisco, 2021.* <https://hdl.handle.net/20.500.13028/4696>

Osorio-Rivera, 2021. (s. f.).

Peralta Wither Roberto. (s. f.). Recuperado 7 de mayo de 2025, de <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2963/1/Tesis%20Menendez%20Peralta%20Wither%20Roberto%20Ing.Civil.pdf>

Perevochtchikova, M. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y política pública*, 22(2), 283-312.

Pimentel, H. R. (2017, marzo 13). *Las aguas residuales y sus efectos contaminantes* [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>

Sáez Huamán, W., Palomino Pastrana, P. A., Dávila Victoria, H. M., & Tito Córdova, L. A. (2022). Aguas residuales en la calidad de agua del río. *GnosisWisdom*, 2(3), 30-36. <https://doi.org/10.54556/gnosiswisdom.v2i3.43>

Samboni, N., Reyes Trujillo, A., & Carvajal, Y. (1969). Aplicación de los indicadores de

- calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 13(2). <https://doi.org/10.25100/iyc.v13i2.2674>
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181.
- Tapara Ccahuana, A. H. (2023). *Evaluación de carga de contaminantes generado por el vertimiento de aguas residuales de la laguna de oxidación del distrito de Nuñoa, provincia Melgar-2022*. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20654>
- Vilca Mamani, E. (2024). *Calidad fisicoquímica y bacteriológica en la desembocadura de aguas residuales de la localidad de Pucará del río Ayaviri, provincia de Lampa, Puno—2022*. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/21417>
- Zurita-Martínez, F., Castellanos-Hernández, O. A., & Rodríguez-Sahagún, A. (2011). El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(SPE1), 139-150.

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de Consistencia

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO ILAVE – 2025

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
<p>Problema General: ¿Cuál es el efecto del vertimiento de aguas residuales sobre la calidad del agua del río Ilave - 2025?</p>	<p>Objetivo General: Evaluar el efecto del vertimiento de aguas residuales sobre la calidad del agua del río Ilave - 2025.</p>	<p>Hipótesis General: El vertimiento de aguas residuales afecta negativamente la calidad del agua del río Ilave, alterando sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos.</p>	<p>Enfoque: Cuantitativo Tipo: Aplicado, descriptivo y analítico Diseño: No experimental, transversal</p>
<p>Problemas Específicos: ¿Cuál es la calidad física, química y microbiológica del agua del río Ilave en los puntos de vertimiento de aguas residuales? ¿Qué características físico-químicas y microbiológicas presenta el agua residual vertida al río Ilave? ¿Qué nivel de calidad presenta el agua del río Ilave según el Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) en los puntos de vertimiento?</p>	<p>Objetivos Específicos: Analizar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua del río Ilave en los puntos de vertimiento de aguas residuales. Determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua residual vertida al río Ilave. Analizar la calidad del agua del río Ilave aplicando el Índice de Calidad (ICA-NSF).</p>	<p>Hipótesis Específicas: Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua del río Ilave varían significativamente entre los puntos de muestreo. Las aguas residuales vertidas al río Ilave presentan concentraciones elevadas de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos que superan los límites establecidos por la normativa ambiental vigente. El Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) aplicado al río Ilave indica un nivel de calidad muy bajo en los puntos de vertimiento de aguas residuales.</p>	<p>Población: Agua del río Ilave en la zona de vertimiento Muestra: Una muestra en tres puntos (aguas arriba, punto de descarga, aguas abajo) + una muestra de agua residual Tipo de muestreo: No probabilístico por conveniencia Técnicas: Muestreo puntual y análisis de laboratorio Instrumentos: Fichas de campo, recipientes estandarizados, hoja de cálculo ICA-NSF Diseño estadístico: Análisis comparativo descriptivo; ICA-NSF para clasificación</p>

Anexo 02: Instrumentos

GUÍA DE CAMPO PARA MUESTREO DE AGUA – RÍO ILAVE

Código de muestra	
Nombre del punto de muestreo	
Coordenadas (latitud / longitud)	
Tipo de muestra (superficial / residual)	
Fecha	
Hora	
Condiciones climáticas	
Temperatura del agua (°C)	
Olor	
Color	
Presencia de residuos sólidos	
Observaciones generales	
Responsable de la muestra	
Firma del responsable	

Anexo 03: Registro Fotográfico



Figura 03: Vista general de las aguas residuales en la ciudad de Ilave.



Figura 04: Toma de muestra de agua en el punto M1.



Figura 05: Muestra M1 para el análisis físico-químico y microbiológico.



Figura 06: Toma de muestra de agua en el punto M2.



Figura 07: Llenado del rotulado de la muestra M2.



Figura 08: Toma de muestra de agua en el punto M3.



Figura 09: Llenado de datos del rotulado de la muestra M3.



Figura 10: Toma de muestra de agua residual en el punto M4.



Figura 11: Acondicionamiento de las muestras para su traslado al laboratorio.

GUÍA DE CAMPO PARA MUESTREO DE AGUA – RÍO ILAVE


Código de muestra	M1
Nombre del punto de muestreo	RÍO ILAVE
Coordenadas (latitud / longitud)	-16.07606899 -69.62400645
Tipo de muestra (superficial / residual)	SUPERFICIAL
Fecha	01 - 07 - 2025
Hora	9.00 am
Condiciones climáticas	SOLEADO
Temperatura del agua (°C)	3°
Olor	SIN OLOR
Color	SIN COLOR
Presencia de residuos sólidos	SIN RESIDUOS SOLIDOS
Observaciones generales	NINGUNA OBSERVACIÓN
Responsable de la muestra	MERLIN BRAULIO HUANACUNI FLORES
Firma del responsable	

Figura 12: Registro de la guía de campo en el punto M1.

GUÍA DE CAMPO PARA MUESTREO DE AGUA – RÍO ILAVE


Código de muestra	M2
Nombre del punto de muestreo	RÍO ILAVE
Coordenadas (latitud / longitud)	-16.0756331 -69.62493315
Tipo de muestra (superficial / residual)	SUPERFICIAL
Fecha	01-07-2025
Hora	9.15 am
Condiciones climáticas	SOLEADO
Temperatura del agua (°C)	3°
Olor	SIN OLOR
Color	SIN COLOR
Presencia de residuos sólidos	SIN RESIDUOS SOLIDOS
Observaciones generales	NINGUNA OBSERVACIÓN
Responsable de la muestra	MERLIN BRAULIO HUANACUNI FLORES
Firma del responsable	

Figura 13: Registro de la guía de campo en el punto M2.

GUÍA DE CAMPO PARA MUESTREO DE AGUA – RÍO ILAVE


Código de muestra	M3
Nombre del punto de muestreo	RÍO ILAVE
Coordenadas (latitud / longitud)	-16.07709315 -69.62336306
Tipo de muestra (superficial / residual)	SUPERFICIAL
Fecha	01-07-2025
Hora	9.30 am
Condiciones climáticas	SOLEADO
Temperatura del agua (°C)	3°
Olor	SIN OLOR
Color	SIN COLOR
Presencia de residuos sólidos	SIN RESIDUOS SOLIDOS
Observaciones generales	NINGUNA OBSERVACIÓN
Responsable de la muestra	MERLIN BRAULIO HUANACUNI FLORES
Firma del responsable	

Figura 14: Registro de la guía de campo en el punto M3.

GUÍA DE CAMPO PARA MUESTREO DE AGUA – RÍO ILAVE


Código de muestra	M4
Nombre del punto de muestreo	RIO ILAVE
Coordenadas (latitud / longitud)	-16.07552228 -69.62438028
Tipo de muestra (superficial / residual)	RESIDUAL
Fecha	01-07-2025
Hora	9.50 am
Condiciones climáticas	SOLEADO
Temperatura del agua (°C)	10°
Olor	CON OLOR
Color	CON COLOR
Presencia de residuos sólidos	SIN RESIDUOS SOLIDOS
Observaciones generales	NINGUNA OBSERVACIÓN
Responsable de la muestra	MERLIN BRAULIO HUANACUNI FLORES
Firma del responsable	

Figura 15: Registro de la guía de campo en el punto M4.



MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C
ANÁLISIS DE AGUAS – SUELOS – MINERALES Y OTROS.
CON EQUIPOS CALIBRADOS Y CERTIFICADOS POR
COMPARACIÓN DE TRAZABILIDAD DIRECTA DE INACAL.
RUC: 20612800741.

INFORME DE ENSAYO 0104/MQA

RESULTADO DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUA.

PROCEDENCIA : RIO ILAVE.
INTERESADO : MERLIN BRAULIO HUANACUNI FLORES
MOTIVO : ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO.
FECHA DE MUESTREO : 30/06/2025 (por el interesado).
FECHA DE ANÁLISIS : 01/07/2025.

COORDENADAS:	LONGITUD	LATITUD
M1	16.07606899	69.62400644
M2	16.0756331	69.62493315
M3	16.07709315	69.62336306
M4	16.07552228	69.62438028

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

PARAMETROS	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	METODOLOGÍA
pH		7.80	7.09	7.80	7.02	Potenciométrica
C.E	mS/cm	0.67	0.47	0.67	0.42	Conductimétrica
Temperatura (°C)	°C	14.9	14.96	15.1	14.9	Termometría directa
Sólidos Disueltos Totales	g/l	0.33	0.23	0.34	0.21	Gravimétrica
Oxígeno Disuelto (O.D)	mg/l	6.63	5.03	6.70	5.04	Electroquímica o Winkler
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/l	35	125	60	130	Gravimétrica
Turbidez	NTU	14	60	28	65	Nefelometría

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

PARAMETROS	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	METODOLOGÍA
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/l	0.87	10.91	0.85	10.91	Espectrofotometría UV
Fósforo Total	mg/l	0.03	1.39	0.03	1.42	Digestión + Espectrofotometría
DBO ₅	mg/l	98.48	245.36	100.0	392.12	Incubación 5 días
DQO	mg/l	246.20	613.40	250.00	980.30	Dicrocromato cerrado

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

PARAMETROS	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	METODOLOGÍA
Coliformes totales	NMP/100ml	<150	15,000	200	25,000	NMP (APHA 9221 B – fermentación múltiple en tubos)
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	15	4,500	20	6,200	NMP – Incubación a 44.5°C

➤ La muestra se recepcionó en el laboratorio.



Salvador Justo Morales Yucra
INGENIERO QUÍMICO
ANALISTA DE LABORATORIO



Benito Fernández Calapaza
RUC: 20612800741
GERENTE

Jr. Esmeralda N°193 URB - Villa Florida – a una cuadra del local Pérgola - Puno

Cel. 973296546 – 983003185

Figura 16: Resultados del laboratorio.