



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ECOLOGÍA



TESIS

**CONTENIDO DE METALES PESADOS E ÍNDICES DE
BIODEGRADABILIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO, 2022**

PRESENTADA POR:

ALEX MARIO SALAS APAZA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN ECOLOGÍA

CON MENCIÓN EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

PUNO, PERÚ

2023

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

CONTENIDO DE METALES PESADOS E ÍNDICES DE BIODEGRADABILIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO, 2022

AUTOR

ALEX MARIO SALAS APAZA

RECuento DE PALABRAS

20890 Words

RECuento DE CARACTERES

119211 Characters

RECuento DE PÁGINAS

90 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.9MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 9, 2024 10:10 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 9, 2024 10:12 AM GMT-5

● 11% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)



Dr. Juan José Pauro Roque
Biólogo Dr. Sc.
PROF. ASOCIADO/TC - FCCBB UNAP



Resumen



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ECOLOGÍA

TESIS

CONTENIDO DE METALES PESADOS E ÍNDICES DE BIODEGRADABILIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO, 2022



PRESENTADA POR:

ALEX MARIO SALAS APAZA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN ECOLOGÍA

CON MENCIÓN EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE

.....
D.Sc. BELISARIO MANTILLA MENDOZA

PRIMER MIEMBRO

.....
D.Sc. MOISES PEREZ CAPA

SEGUNDO MIEMBRO

.....
Mg. FRANCISCO HALLEY RODRIGUEZ HUANCA

ASESOR DE TESIS

.....
D.Sc. JUAN JOSE PAURO ROQUE

Puno, 24 de noviembre del 2023

ÁREA: Ecología - Ecología y Gestión Ambiental

TEMA: Contenido de Metales Pesados e Índice de Biodegradabilidad de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, 2022.

LÍNEA: Ambiente - Calidad Ambiental



NOMBRE DEL TRABAJO

CONTENIDO DE METALES PESADOS E ÍNDICES DE BIODEGRADABILIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO, 2022

AUTOR

ALEX MARIO SALAS APAZA

RECuento de palabras

20890 Words

RECuento de caracteres

119211 Characters

RECuento de páginas

90 Pages

Tamaño del archivo

3.9MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 9, 2024 10:10 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 9, 2024 10:12 AM GMT-5

● **11% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)


Dr. Juan José Pauro Roque
Biólogo, Dr. Sc.
PROF. ASOCIADO TC - FCCBS UNAP



Resumen



DEDICATORIA

A Dios, mi faro en la oscuridad y mi fortaleza en la debilidad.

A mis queridos padres, Mario Salas Machaca y Matilde Lorena Apaza Condori, por su amor inquebrantable, apoyo incondicional y sacrificio constante, han sido la luz que me ha guiado a lo largo de este viaje académico, gracias por creer en mí, por inspirarme a dar lo mejor de mí mismo y por ser mi fuente constante de fortaleza, esta tesis es un testimonio de la gratitud que siento hacia ustedes por ser los pilares de mi vida, con todo mi amor y reconocimiento.

A mi querida familia, quienes han sido mi apoyo constante en esta travesía académica, sus palabras de aliento, han sido mi mayor fortaleza, esta tesis no es solo mi logro, sino también el de ustedes. Virginia, Geovani, Damaris y Danae.

A mi amada esposa Yamely Fernandez Quezada, tu amor, apoyo incondicional y paciencia infinita han sido las fuerzas que me han impulsado, esta tesis no solo es un testimonio de mi esfuerzo, sino también un tributo a ti, mi compañera de vida, gracias por creer en mí, por sacrificar tiempo juntos y por siempre estar ahí para mí.

A mi amado hijo Amet Yamel Salas Fernandez e hija Alexa Yanara Salas Fernandez en cada página de esta tesis, veo reflejado el deseo de brindarles un buen futuro, su presencia en mi vida ha enriquecido mi experiencia académica y personal de maneras que no puedo expresar con palabras, espero que esta tesis sea un testimonio de mi amor por ustedes y de mi compromiso de proporcionarles las mejores oportunidades posibles en sus vidas.

Con todo mi amor,

Alex M. Salas Apaza



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, mi alma mater, por brindarme la oportunidad de realizar esta investigación y por su inquebrantable compromiso con la excelencia académica, al Programa de Maestría en Ecología, a la Facultad de Ciencias Biológicas y sus docentes, fuentes de conocimiento.

Mi gratitud se extiende al Dr. Juan José Pauro Roque cuya orientación experta y apoyo, fueron fundamentales en la realización de la investigación, al jurado revisor, por la dedicación que han demostrado al revisar mi tesis, por sus valiosos aportes y acertadas correcciones, su contribución ha sido esencial para mejorar la calidad de esta investigación.

No puedo dejar de mencionar el respaldo brindado por mis compañeros de clase y amigos, quienes compartieron sus saberes y vivencias conmigo, creando una red de apoyo de gran valor.

Finalmente, deseo expresar mi agradecimiento a mi familia por su apoyo constante durante mi proceso educativo, sin su aliento y comprensión, este logro no habría sido posible.

La culminación de esta tesis marca el fin de una etapa importante en mi vida académica, y la Universidad Nacional del Altiplano, ha sido un elemento fundamental en mi proceso formativo, mi compromiso es honrar los valores y conocimientos adquiridos aquí en cada paso que dé en mi futuro profesional.

Gracias. Mi eterna gratitud,

Alex M. Salas Apaza



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco Teórico	4
1.1.1 Aguas residuales y la importancia de estudio	4
1.1.2 Concentración de materias oxidables	5
1.1.3 Índices de biodegradabilidad en aguas residuales	6
1.1.4 Metales pesados y su importancia de estudio	7
1.1.5 Normatividad Peruana (D.S. N° 010-2019-Vivienda)	10
1.2 Antecedentes	12

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema	17
2.2 Enunciados del problema	18
2.2.1 Problema general	18
2.2.2 Problemas específicos	18
2.3 Justificación	18
2.4 Objetivos	19
2.4.1 Objetivo general	19
2.4.2 Objetivos específicos	19
2.5 Hipótesis	19
2.5.1 Hipótesis general	19



2.5.2 Hipótesis específicas	20
-----------------------------	----

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio	21
3.1.1 Zonas de estudio	21
3.2 Población	24
3.3 Muestra	24
3.4 Métodos de investigación	24
3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	25
3.5.1 Determinación del contenido de metales pesados de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano y contrastación con los valores máximos admisibles según D.S. N° 010-2019-Vivienda	25
3.5.2 Determinación de valores de DBO ₅ y DQO de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano y contrastación con los valores máximos admisibles según D.S. N° 010-2019-Vivienda	28
3.5.3 Determinación de los índices de biodegradabilidad de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano, en función de los valores de DBO ₅ Y DQO	29

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Contenido de metales pesados en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano y contrastación con los valores máximos admisibles según D.S. N° 010-2019-Vivienda	30
4.1.1 Contenido de aluminio (Al)	30
4.1.2 Contenido de cobre (Cu)	33
4.1.3 Contenido de manganeso (Mn)	36
4.1.4 Contenido de zinc (Zn)	38
4.2 Valores de DBO ₅ y DQO en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano e interpretación según D.S. N° 010-2019-Vivienda	42
4.2.1 Valores de DBO ₅	42
4.2.2 Valores de DQO	45
4.3 Índices de biodegradabilidad de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano, en función de los valores de DBO ₅ y DQO	49
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	55
ANEXOS	67



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Anexo N° 01 (VMA, D.S. 010-2019-Vivienda)	11
2. Anexo N° 02 (VMA, D.S. 010-2019-Vivienda)	12
3. Distribucion de muestras de aguas residuales de la ciudad universitaria	24
4. Condiciones requeridas para analisis de los parametros considerados	26
5. Contenido de aluminio en las cinco zonas de estudio en contraste con los valores maximos admisibles	31
6. Contenido de cobre en las cinco zonas de estudio en contraste con los valores maximos admisibles	34
7. Contenido de manganeso en las cinco zonas de estudio en contraste con los valores maximos admisibles	36
8. Contenido de zinc en las cinco zonas de estudio en contraste con los valores maximos admisibles	39
9. Valores de DBO ₅ en las cinco zonas de estudio en contraste con los valores maximos admisibles	43
10. Valores de DQO en las cinco zonas de estudio en contraste con los valores maximos admisibles	46
11. Indices de biodegradabilidad en las cinco zonas de estudio de las aguas residuales generadas en la ciudad universitaria	50



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Sistema de alcantarillado de la UNA - Puno (ciudad universitaria)	23
2. Contenido de aluminio en las cinco zonas de estudio	32
3. Contenido de cobre en las cinco zonas de estudio	35
4. Contenido de manganeso en las cinco zonas de estudio	37
5. Contenido de zinc en las cinco zonas de estudio	40
6. Valores de DBO ₅ en las cinco zonas de estudio	44
7. Valores de DQO en las cinco zonas de estudio	47
8. Índices de biodegradabilidad en las cinco zonas de estudio	51



INDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Data total de parámetros analizados en la investigación	67
2. Análisis de varianza y prueba de Tukey para el contenido de aluminio en muestras de aguas residuales de la UNA - Puno (ciudad universitaria)	68
3. Análisis de varianza y prueba de Tukey para el contenido de cobre en muestras de aguas residuales de la UNA - Puno (ciudad universitaria)	69
4. Análisis de varianza y prueba de Tukey para el contenido de manganeso en muestras de aguas residuales de la UNA - Puno (ciudad universitaria)	70
5. Análisis de varianza y prueba de Tukey para el contenido de zinc en muestras de aguas residuales de la UNA - Puno (ciudad universitaria)	71
6. Análisis de varianza y prueba de Tukey para DBO ₅ en muestras de aguas residuales de la UNA - Puno (ciudad universitaria)	72
7. Análisis de varianza y prueba de Tukey para DQO en muestras de aguas residuales de la UNA - Puno (ciudad universitaria)	73
8. Análisis de varianza y prueba de Tukey para los índices de biodegradabilidad en muestras de aguas residuales de la UNA - Puno (ciudad universitaria)	74
9. NTP 214.060.2016 - Protocolo de muestreo de aguas residuales no domesticas que se descargan en la red de alcantarillado	75
10. Anexo N° 1 y 2, (VMA, D.S. N° 010-2019-Vivienda)	76
11. Informe de resultados del laboratorio	77
12. Métodos y referencias del informe de ensayo	78

RESUMEN

La gestión adecuada de las aguas residuales en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, para el cuidado del ambiente es de interés público, conocer su composición y biodegradación permite el uso y disposición correcta de las mismas. Por ello se determinó el contenido de metales pesados, materias oxidables e índices de biodegradabilidad de las aguas residuales de generadas en la ciudad universitaria de la UNAP. Se muestrearon cinco zonas de estudio, distribuidos del sistema de alcantarillado y se determinaron los elementos metálicos de alta densidad por espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), evaluándose adicionalmente DBO₅, DQO mediante el método (SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017 (Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5-Day BOD Test), SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017 (Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method) respectivamente, por el laboratorio ALAB (Analytical laboratory) con acreditación Inacal y finalmente el índice de biodegradabilidad se determinó mediante la relación DBO/DQO. En las cinco zonas de estudio los promedios oscilaron para; aluminio (0.18 - 4.27 mg/l); cobre (0.0002 - 0.0612 mg/l); manganeso (0.03 - 0.48 mg/l); zinc (0.04 - 0.36 mg/l); DBO₅ (7.4 - 214.0 mg/l); DQO (19.6 - 569.6 mg/l), con diferencia estadística significativa entre zonas de estudio y la biodegradabilidad de 0.4, las concentraciones reportadas, no superan los valores máximos admisibles según el (DS-010-2019-Vivienda) y el índice de biodegradabilidad indica que las aguas residuales generadas en la ciudad universitaria, son medianamente biodegradables y se sugiere la combinación de sistemas de tratamientos físicos, biológicos y químicos.

Palabras clave: Aguas negras, biodegradación, concentración, evaluación, metales tóxicos, valores máximos admisibles.

ABSTRACT

The proper management of wastewater at the National University of the Altiplano of Puno, for the care of the environment, is of public interest; knowing its composition and biodegradation allows for its correct use and disposal. For this reason, the content of heavy metals, oxidizable materials and biodegradability indices of the wastewater generated in the UNAP university city was determined. Five study areas were sampled, distributed throughout the sewage system, and high-density metallic elements were determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), additionally evaluating BOD5, COD using the method (SMEWW-APHA-AWWA- WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017 (Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5-Day BOD Test), SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017 (Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method) respectively, by the ALAB laboratory (Analytical laboratory) with Inacal accreditation and finally the biodegradability index was determined by the BOD/COD relationship. In the five study areas the averages ranged for: aluminum (0.18 - 4.27 mg/l); copper (0.0002 - 0.0612 mg/l); manganese (0.03 - 0.48 mg/l); zinc (0.04 - 0.36 mg/l); DBO5 (7.4 - 214.0 mg/l); DQO (19.6 - 569.6 mg/l), with a significant statistical difference between study areas and biodegradation of 0.4, the reported concentrations do not exceed the maximum admissible values according to (DS-010-2019-Vivienda) and the biodegradability index indicates that the wastewater generated in the university city , are moderately biodegradable and a combination of physical, biological and chemical treatment systems is suggested.

Keywords: Black water, biodegradation, concentration, evaluation, toxic metals, maximum admissible values.




DR. LUIS ALBERTO SUPE QUISPE
INGENIERO QUÍMICO
CIP. 169015

INTRODUCCIÓN

El agua, es uno de los elementos naturales más abundantes en la naturaleza, pese a dicha afirmación, muchos factores limitan su disposición (Castañeda y Flores, 2013), más del 97% del total se encuentra en océanos y masas salinas, limitando su uso, del 3% restante, el 2% se encuentra en estado sólido (hielo) y sólo el 1% de toda el agua del planeta es apta para el hombre y sus actividades (Guadarrama et al., 2016), encontrándose este volumen en lagos, ríos y acuíferos subterráneos (Huaquisto y Chambilla, 2019).

La importancia de la seguridad hídrica es innegable, pero no constituye por sí solo un factor completo (Miller et al., 2021; Schiaffini-Aponte et al., 2023), la relevancia del agua se torna fundamental en virtud de su influencia en la salud y la creación de condiciones propicias para una calidad de vida digna (Cáceres, 2024), en ocasiones la salud pública no se encuentra integrada dentro de los marcos de seguridad hídrica (Paudel et al., 2021; Redin et al., 2023), pero el agua es la base de un estilo de vida saludable, la protección del ambiente y el desarrollo social sostenible (Rossel et al., 2020), el acceso al agua y su uso es un derecho humano (Young et al., 2021) uno de los principales determinantes de la salud (Pliego y Guadarrama, 2019) y su eficiente gestión es reconocida en los objetivos de desarrollo sostenible (Cerón et al., 2021) ya que el recurso hídrico es fuente necesaria para la vida (Samboni et al., 2007), no obstante su existencia puede conllevar situaciones problemáticas y riesgosas (Camargo y Camacho, 2018).

La gestión del agua representa uno de los desafíos actuales más significativos que la humanidad puede afrontar (Díaz, 2023; Santiago, 2023), constituyen acciones implementadas como parte de estrategias globales para garantizar un uso adecuado y responsable del agua (Alvarado et al., 2024), sin embargo el cambio climático, el incremento demográfico, la gestión no regulada del agua y las infraestructuras en estado de deterioro agravan la actual crisis del recurso hídrico (Young, 2021), la demanda del agua sigue intensificándose en respuesta a las cambiantes necesidades de una población mundial en crecimiento (Baguma et al., 2013).

La inquietud por el uso inapropiado del agua no es un tema reciente, la importancia biológica de este elemento es innegable, desde el inicio de la vida ha sido la base esencial, siendo correctamente identificado como un recurso "vital" en el sentido más literal de la expresión (Quiñones, 2023), con la creciente demanda mundial del agua, la generación

de aguas residuales y el nivel de contaminación aumentan, todos los países en vías de desarrollo vierten sus aguas residuales al ambiente sin ningún tratamiento, más del 80% de aguas residuales generadas, se liberan deliberadamente al ambiente y solo el 8% se tratan en alguna medida (WWAP, 2017) y en la mayoría de casos estos sistemas de tratamientos son instalaciones convencionales construidas en la fase final del sistema de aguas residuales antes de la descarga a los cuerpos de agua (Sanchez y Garcia, 2018).

El Perú, genera alrededor del 70 % de aguas residuales de origen doméstico e industrial (Mera, 2018) que se vierten deliberadamente a los cursos de agua sin ningún tipo de tratamiento (Larios et al., 2015), en la ciudad de Puno el 100% de aguas residuales generadas no se trata adecuadamente (Quispe, 2022) y la Universidad Nacional del Altiplano (ciudad universitaria), no se encuentra exento de tal afirmación, siendo la bahía interior y sus entornos, el principal punto receptor de las aguas residuales generadas en la ciudad de Puno (Puma y Taype, 2017), el crecimiento poblacional y el desarrollo industrial son algunas de las causas que dan lugar a la aparición de desechos complejos de difícil tratamiento, control e identificación, ocasionando la alteración del ecosistema presente y el deterioro del cuerpo de agua (Machacca, 2022).

El conocimiento de la composición y tratamiento de las aguas residuales durante los últimos años ha tenido avances muy importantes, evolucionando desde enfoques basados en procedimientos empíricos a principios de origen científico (López et al., 2017), conocer los niveles de concentración de metales en aguas residuales con énfasis en los pesados y sus contaminantes afines, define estrategias de solución (Villena, 2018) y la presencia de contaminantes emergentes en el medio ambiente es una verdad ineludible que no puede ser subestimada, dado los efectos adversos que generan en los seres humanos, organismos acuáticos y otras formas de vida (Rubio et al., 2013).

En ese contexto, la contribución de la investigación es de la generación de conocimiento de la composición del agua residual generada en una Universidad (UNA - Puno) y los posibles impactos ocasionados por la disposición de las mismas, asimismo, se pretende exhortar al cumplimiento de la normativa actual y la implementación de un sistema de gestión ambiental (planta de tratamiento de aguas residuales), centrado en corregir los daños ya presentes y anticiparse a eventos potencialmente perjudiciales en el futuro, ya que no solo tendría repercusiones en el entorno inmediato, sino también en regiones como



la bahía interior del lago Titicaca, en las orillas de este lago, los habitantes de la ciudad de Puno dependen de este recurso para diversas actividades, incluyendo el consumo de agua potable.

La investigación se compone de cuatro capítulos principales: Capítulo I. Revisión de literatura o base teórica conformada por el marco teórico con temas relacionados a la investigación como aguas residuales, materias oxidables (DBO_5 , DQO), índices de biodegradabilidad y metales pesados, la presentación de estudios relacionados en forma de antecedentes internacionales, nacionales y locales. Capítulo II. Planteamiento del problema, donde se identifica la problemática de la investigación, planteando las interrogantes de estudio, la justificación del estudio y los objetivos e hipótesis de forma general y específica. Capítulo III. Materiales y métodos, descripción de la zona de investigación, la población de estudio, el tamaño de muestra y la metodología utilizada mediante la descripción detallada por objetivos específicos. Capítulo IV. Resultados y discusiones, se describen los datos obtenidos en forma de tablas y figuras estadísticas con sus respectivos análisis e interpretaciones para su discusión correspondiente con otras investigaciones y las conclusiones de la investigación. Finalmente se detalla las recomendaciones para futuras investigaciones, la bibliografía consultada y la evidencia de la investigación en forma de anexos, mediante fotos, documentos y otros relacionados a la investigación.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco Teórico

1.1.1 Aguas residuales y la importancia de estudio

Las aguas residuales son el resultado de acciones humanas que conllevan la liberación de agua contaminada, dichas aguas pueden incluir una variedad de elementos contaminantes, tales como compuestos orgánicos, partículas sólidas en suspensión, nutrientes, metales pesados y microorganismos patógenos, estos agentes contaminantes representan una amenaza tanto para la salud de las personas como para el entorno natural si no se manejan de manera apropiada (Rodriguez y Cabra, 2023), son aquellas que han sido utilizadas con fines consuntivos, incorporándose a ellas sustancias ajenas, que deterioran su calidad original (contaminación), disminuyendo su potencial de uso (Silva, 2004), se consideran aquellas que proceden del empleo de un agua natural o de la red en un uso determinado (Osorio et al., 2010), también se pueden definir como aquellas que provienen de las precipitaciones y que son recolectadas en los sistemas de alcantarillado o vertidas directamente al medio ambiente (Lazcano, 2014).

La definición exacta de lo que constituyen las aguas residuales es una tarea complicada, ya que varía según las características de cada población y el sistema de recolección que se utilice, la composición de las aguas residuales tiende a ser muy variable, depende de diversos factores, entre los diferentes elementos contaminantes que contiene un agua residual podemos encontrar materia orgánica, generadas de aguas residuales domésticas, siendo compuestos de naturaleza reductora, por lo que consumirán oxígeno presentando formas coloidales o disueltas (Osorio et al., 2010), además de diversos microorganismos patógenos que se encuentran presentes, las aguas

residuales contienen una amplia gama de contaminantes inorgánicos como ácidos y metales tóxicos (Guadarrama et al., 2016).

Las aguas residuales domésticas están compuestas del desechos público transportados por el agua conteniendo aproximadamente 99% de agua y 1% de sólidos, el 70% de esos sólidos son orgánicos y el 30% de naturaleza inorgánica, a su vez, de la composición orgánica el 65% son proteínas, 25% carbohidratos y 10% grasas, la fracción inorgánica de las aguas residuales está constituida de arenilla, sales y metales en proporciones variables (Quispe, 2022).

Las aguas residuales, antes de ser vertidas a los cuerpos receptores, deben presentar condiciones que reúnan los requisitos de calidad que permitan las normas legales y regulaciones de cada país, con la finalidad de que los estándares de calidad ambiental (ECA) permanezcan inalterables en el curso del tiempo, y permitan la preservación y sostenibilidad de los ecosistemas (Lazcano, 2014).

1.1.2 Concentración de materias oxidables en aguas

Estas materias de tipo orgánico absorben de forma natural hasta su mineralización una cierta cantidad de oxígeno, debido a los procesos químicos o biológicos de oxidación que se producen en el seno del agua (Hernández, 2015) y las métricas de medición de este fenómeno se pueden desarrollar analizando los siguientes parámetros:

1.1.2.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

El principal indicador que se emplea y se aplica extensamente para medir la cantidad de contaminación orgánica en aguas residuales es la demanda bioquímica de oxígeno en 5 días (DBO₅), esta determinación supone la medida del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de materia orgánica biodegradable (Silva, 2004). La DBO₅ es una de las pruebas más importantes para medir los niveles de materia orgánica en diferentes tipos de aguas, especialmente en residuales, representa la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para estabilizar la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas (Romero, 1999).

La metodología se basa en medir la cantidad de oxígeno diatómico disuelto en un

medio de incubación, al inicio y final durante un periodo de cinco días (DBO_5), aislando la muestra del ambiente exterior, a $20^{\circ}C$ bajo oscuridad, (inhibición de la formación de oxígeno por algas fotosintéticas), de esta forma la condición del agua evaluada se encuentra en equilibrio con una atmósfera donde su presión y concentración de oxígeno son constantes, asemejando a condiciones reales de autodepuración en aguas residuales (Quispe, 2022) cuyo valor se aproxima lo suficiente al valor asintótico de la DBO correspondiente al ciclo del carbono (Hernández, 2015).

1.1.2.2 Demanda Química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es el parámetro más importante para conocer la concentración de los contaminantes presentes en aguas residuales, en particular para las aguas residuales de tipo industrial (Lopez et al., 2017). La DQO es un parámetro químico, que representa una medida total de la materia orgánica e inorgánica presente en disolución y/o suspendida que puede ser químicamente oxidada por la acción de agentes oxidantes, en condiciones ácidas midiéndose como miligramos de oxígeno equivalentes a la fracción orgánica disuelta o suspendida por litro de disolución (agua residual) (Ramírez et al., 2008), por tanto es la cantidad de oxígeno requerida para realizar la oxidación química de los compuestos orgánicos contenidos en una muestra de agua, involucrando la degradación tanto de materiales orgánicos biodegradables como no biodegradables (Silva, 2004).

La DQO suele superar a la DBO_5 en la mayoría de los casos debido a la presencia de una mayor variedad de compuestos, lo que resulta en una oxidación química más predominante en comparación con la oxidación biológica, además, la relación DBO_5/DQO se utiliza para medir el grado de biodegradabilidad de un efluente (Mendoza, 2020).

1.1.3 Índices de biodegradabilidad en aguas residuales

Es ampliamente reconocido que la mayoría de las sustancias que se encuentran en el agua, ya sea en forma disuelta, suspendida o coloidal, son de naturaleza orgánica, y una parte significativa de ellas puede ser degradada por procesos biológicos, la

biodegradación es una propiedad que permite la limpieza de aguas residuales mediante el empleo de microorganismos que las utilizan como su fuente principal de alimento y energía, lo que les permite llevar a cabo sus procesos metabólicos y de reproducción (Osorio y Peña, 2002).

La biodegradación se convierte en un indicador esencial para determinar cómo los productos químicos se comportan en el medio ambiente y para alcanzar las características deseadas en los productos que son liberados en grandes cantidades en la naturaleza, mediante el proceso de biodegradación, los microorganismos transforman los compuestos orgánicos, en productos menos tóxicos que los compuestos originales (Vázquez y Beltrán, 2004).

Osorio et al. (2010), describe a grandes rasgos que se hace a los tratamientos según la biodegradabilidad del agua residual, dividiéndolo en dos grandes apartados; si el agua es biodegradable normalmente se utilizan tratamientos biológicos, y si el agua no es biodegradable o parcialmente biodegradable se pueden usar tratamientos de oxidación avanzada para eliminar determinados agentes contaminantes.

1.1.4 Metales pesados y su importancia de estudio

Una de las preocupaciones más destacadas en cuanto a la contaminación radica en su impacto en la salud pública, en este sentido, la contaminación provocada por metales pesados ha generado una seria inquietud a nivel global debido a su considerable toxicidad, su capacidad natural para perdurar en el entorno, su resistencia a la descomposición biológica y su tendencia a acumularse con el paso del tiempo (Ahmed et al., 2019), el incremento en la influencia de las actividades humanas en el entorno natural ha generado una creciente preocupación acerca de la contaminación del suelo con metales pesados (Obeso y Vejarano, 2020) y la contaminación ocasionada por metales pesados representa uno de los desafíos más serios de nuestro siglo, ya que genera impactos significativos no solo en el entorno natural al degradar suelos, aire y agua, sino que también plantea un riesgo para la salud pública, afectando tanto a nivel local como a nivel global (Reyes et al., 2016).

Los metales pesados son contaminantes complejos y de larga duración en el entorno natural, por lo tanto, resulta fundamental conocer los elementos causantes de la

contaminación para comprender sus mecanismos de acción (Calero, 2023), un metal pesado o tóxico, es cualquier elemento químico de origen metálico que posea una elevada densidad y de carácter tóxico a concentraciones bajas, según la tabla periódica de los elementos, los metales pesados se consideran elementos químicos de alta densidad, masa y peso atómico superior a 20 (Pabon et al., 2020). Los contaminantes compuestos por metales pesados son particularmente difíciles de eliminar en el entorno natural y tienen un impacto significativo en la calidad del aire, el agua y suelos, además representan una amenaza para la salud y el bienestar tanto de humanos como animales, ya que estos metales tienden a acumularse en los tejidos de los seres vivos debido a su resistencia a la degradación metabólica, a diferencia de la mayoría de los compuestos orgánicos (Rodríguez et al., 2019).

En general se considera a los metales como perjudiciales, pero muchos resultan ser esenciales en nuestra dieta y en algunos casos su déficit o exceso conduce a problemas de salud (Londoño et al., 2016), los metales al encontrarse en cantidades superiores a las necesarias, manifiestan ciertos efectos tóxicos incluso aquellos que requieren los seres vivos en determinados niveles (Montané, 2015), a su vez constituyen un serio problema ambiental debido a su toxicidad y repercusiones fisiológicas que representan en los seres humanos (Contreras et al., 2004).

Algunos son de importancia medioambiental, destacando de manera especial mercurio, cadmio y plomo, presentando características muy tóxicas y acumulativas, es decir, que al ser absorbidos el organismo los retiene y su eliminación es demasiado lenta, dependiendo de la concentración, pueden ocasionar daños irreversibles, estos metales con el solo hecho de ser acumulativos, hace que al ser absorbidos aunque en muy bajas concentraciones pueden originar trastornos a largo plazo, es por eso que las concentraciones máximo permitidas en el agua para beber son muy mínimas (Montané, 2015).

1.1.4.1 Fuentes de origen, sus implicancias en la salud y el ambiente

De manera natural, se encuentran en el medio ambiente en diversas concentraciones, y en general no suponen una amenaza para las múltiples formas de vida, los metales pesados no se pueden descomponer ni destruir (Raffo y Ruiz, 2014), se pueden disolver por medios químicos y lixiviados, algunos forman

complejos solubles y son transportados y distribuidos a los ecosistemas hasta incorporarse en la cadena trófica, primordialmente aquellos procedentes de áreas contaminadas (Londoño et al., 2016).

El mayor aporte a la contaminación de aguas por metales pesados se debe a descargas de aguas residuales producto de diversas actividades antropogénicas principalmente de tipo industrial, incrementado cada día el grado de contaminación de las fuentes hídricas debido al constante uso de estos metales en la industria, lo que aumenta la concentración de los mismos en el cuerpo de agua y por consiguiente aumentando el riesgo para el ser humano y demás organismos vivos, la probabilidad de quedar expuestos a estos metales, presentan una seria amenaza debido a su persistencia, bioacumulación, propiedad no biodegradable y su alta toxicidad que presentan (Mancilla et al., 2012).

Cuando se trata de la industria minera, esta se convierte en una de las principales fuentes de contaminación ambiental a través de metales pesados, como resultado de las concentraciones significativas de mercurio, cianuro y otros metales que se liberan de manera indiscriminada en diversos cuerpos de agua, estos metales, debido a su tendencia a acumularse en los organismos, no se eliminan y quedan disponibles para entrar en la cadena alimentaria (Cuenca et al., 2019).

Las actividades industriales, agrícolas y mineras también plantean un riesgo significativo de contaminación ambiental por metales pesados (Guzmán et al., 2019), esta amenaza no solo se debe a la naturaleza misma de estas actividades o a las emisiones de sustancias en la atmósfera que generan, sino también a menudo resulta de una gestión incorrecta e ineficiente de residuos y el almacenamiento de materias primas y productos, lo que puede dar lugar a fugas de componentes que se acumulan en el suelo, con efectos adversos que perjudican tanto al medio ambiente como a la salud de las personas (Delince et al., 2015).

Cada metal y cada elemento químico contaminante posee un mecanismo de acción y un lugar de acumulación preferido (Romero, 2009), los efectos tóxicos dependen del tipo de metal, la concentración y en algunos casos la edad de la población expuesta (Ramirez, 2002), la presencia de metales pesados en el ambiente, alimentos, entre otros, de acuerdo con lo descrito desencadenan diversas

intoxicaciones ocasionando daños irreparables en la salud, tan graves como efectos teratogénicos, cáncer e incluso la muerte (Londoño et al., 2016).

Es importante considerar, que a concentraciones altas de dichos metales en el organismo de los seres vivos, pueden alterar los procesos bioquímicos y fisiológicos ocasionando diversas patologías (Reyes et al., 2016), generando un impacto sustancial no solo en la salud humana, sino también en la de los animales, plantas, fuentes de agua y suelos, en otras palabras, afecta integralmente la cadena trófica debido a la liberación de metales pesados al medio ambiente (Pabon et al., 2020).

1.1.5 Normatividad Peruana (D.S. N° 010-2019-Vivienda)

El Decreto Supremo actual aprueba el reglamento de valores máximos admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, su propósito es establecer los límites de los parámetros establecidos y regular el procedimiento para controlar las descargas de aguas residuales no domésticas, esto se hace con el fin de preservar instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinaria y equipos de los servicios de alcantarillado sanitario, así como promover el tratamiento de aguas residuales para su disposición y reutilización, asegurando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, finalmente busca reducir el riesgo para el personal de los proveedores de servicios de saneamiento que está en contacto con las descargas de aguas residuales no domésticas.

Este reglamento es de obligatorio cumplimiento para los usuarios no domésticos (UND) que realizan descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, bajo la jurisdicción de los proveedores de servicios de saneamiento a nivel nacional, los proveedores de servicios de saneamiento son responsables de hacer cumplir este reglamento, además permite que los UND descarguen aguas residuales no domésticas directamente en el sistema de alcantarillado sanitario, siempre que no excedan los VMA señalados en los anexos N° 1 y 2 del reglamento, en estos casos, no se requiere un pago adicional ni la suspensión temporal del servicio de agua potable y alcantarillado sanitario, sin embargo, los UND cuyas descargas superen los VMA establecidos en el anexo N° 1 deben realizar un

pago adicional por la concentración excesiva, siguiendo las pautas establecidas por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS).

Tabla 1

Anexo N° 01 (VMA, D.S. 010-2019-Vivienda)

Parámetro	Unidad	Simbología	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	DBO ₅	500
Demanda química de oxígeno	mg/l	DQO	1000
Sólidos suspendidos totales	mg/l	S.S.T.	500
Aceites y grasas	mg/l	A y G	100

Fuente: D.S. N° 010-2019-VIVIENDA

El reglamento establece que los proveedores de servicios de saneamiento deben realizar inspecciones para determinar la ubicación del punto de toma de muestra del UND, verificar el estado de dicho punto de muestreo, comprobar la implementación y operación del sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas y/o las modificaciones en el proceso productivo para ajustar las descargas que exceden los VMA, además deben realizar la toma de muestras y el análisis de los parámetros correspondientes a través de laboratorios acreditados por el Inacal, de acuerdo con la actividad económica.

Tanto los usuarios domésticos como los no domésticos tienen la autorización para denunciar incidentes, acciones u omisiones que puedan dañar el sistema de alcantarillado sanitario, proporcionando información esencial, como la identificación completa de la persona que realiza la denuncia, la identificación del usuario no domestico que efectúa la descarga en el sistema de alcantarillado sanitario y una breve descripción de los hechos, actos u omisiones sospechosos, estas denuncias pueden ser presentadas por escrito o de manera verbal ante el proveedor de servicios de saneamiento competente.

Tabla 2

Anexo N° 02 (VMA, D.S. 010-2019-Vivienda)

Parámetro	Unidad	Simbología	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
Aluminio	mg/l	Al	10
Arsénico	mg/l	As	0.5
Boro	mg/l	B	4
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN ⁻	1
Cobre	mg/l	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/l	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/l	Cr	10
Manganeso	mg/l	Mn	4
Mercurio	mg/l	Hg	0.02
Níquel	mg/l	Ni	4
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Sulfatos	mg/l	SO ₄ ⁻²	1000
Sulfuros	mg/l	S ⁻²	5
Zinc	mg/l	Zn	10
Nitrógeno amoniacal	mg/l	NH ⁺⁴	80
Potencial hidrógeno	unidad	pH	6-9
Sólidos sedimentables	ml/l/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	< 35

Fuente: DS-010-2019-VIVIENDA

1.2 Antecedentes

1.2.1 Antecedentes de nivel internacional

Granja y Tapia (2013) en Quito (Ecuador), reportaron valores para DBO₅ de 419 mg/l y DQO de 773 mg/l, en aguas residuales originadas en la cafetería del campus el Girón de la Universidad Politécnica Salesiana, estos valores exceden los límites máximos permisibles. A su vez Crombet et al. (2013) en Antonio Maceo (Cuba), determinaron valores de DBO₅ entre 59-112 mg/l, y DQO entre 190-360 mg/l, en aguas residuales de la comunidad universitaria de Antonio Maceo de la universidad de Oriente, observándose que todos los valores encontrados están por encima del límite máximo, también calcularon la relación existente entre DBO₅/DQO encontrado valores de 0,3 considerándose aguas moderadamente biodegradables, finalmente se encontró la presencia de metales pesados como: Al (1.19 mg/l); Pb (0.15 mg/l); Cu (0.02 mg/l);

Fe (1.2 mg/l); Ba (0.08 mg/l); Mn (0.21 mg/l); V (0.02 mg/l); Ag (0.04 mg/l) y Zn (0.11 mg/l) en concentraciones bajas, sugirieron combinar sistemas de tratamientos químico, físicos (primarios) y biológicos (secundarios).

Molina (2015) en Manabí (Ecuador), mostró valores elevados para DBO₅ de 617 mg/l y DQO de 1.383 mg/l, a su vez determino índices de biodegradabilidad de hasta 2.23 en aguas de la zona del malecón de Manta, demostrando que los valores encontrados están dentro de niveles muy degradables de materia orgánica, pese a tener niveles de altos de contaminación, existiendo la posibilidad de una biodegradabilidad natural.

Romero et al. (2016) en la Habana (Cuba), evidenciaron valores de DBO₅ de 273 mg/l y DQO de 698 mg/l, en aguas residuales de una industria textil cubana, bajo la implantación y funcionamiento del plan de producción más limpia, determinando que las aguas residuales generadas en la textilería son biodegradables y medianamente biodegradables, proponiendo solo un tratamiento convencional.

Credidio et al. (2018) en Panamá, encontraron valores de DBO₅ de 1102.00 mg/l y DQO de 1224.67 mg/l, en aguas grises generadas por la Cafetería del Edificio N°1 de la Universidad Tecnológica de Panamá, sobrepasando los límites máximos permitidos, a su vez calcularon la relación DBO₅/DQO, obteniendo un valor de 0.92 demostrando un índice de biodegradabilidad alta. Así mismo Sánchez (2018) en Viña del Mar (Chile), observo valores para DBO₅ hasta 1224 mg/l y DQO hasta 7235 mg/l, en aguas residuales generadas por la Universidad Técnica Federico Santa María, finalmente planteo como tratamiento la cloración, basándose en la normativa de regulación, recolección, reutilización y disposición de aguas grises.

Rodriguez et al. (2020) en Santiago (Cuba), presenciaron contenido de metales pesados como Al, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn todos estos valores < 0.02 mg/l , encontrándose por debajo de los límites máximos permitidos por la norma cubana, además detallaron valores para DBO₅ y DQO por encima de 75 mg/l y 190 mg/l, respectivamente, en aguas residuales generadas en una empresa procesadora de Soya, concluyendo que pese a tener presencia de contenido de metales pesados dentro de la norma, los valores altos de DBO₅ y DQO, no cumplen para la descarga al sistema receptor, por la presencia alta en contenido de materia orgánica.

Martinez y Mendoza (2021) en Managua (Nicaragua), identificaron valores de DBO_5 y DQO de hasta 192.00 mg/l y 329.03 mg/l respectivamente, estando dentro de los valores máximos permisibles, en los efluentes de aguas residuales del CIRA/UNAN Managua, asimismo se determinaron el contenidos de compuestos metálicos como Mn (0.10500 mg/l); Cu (0.02150 mg/l); Zn (0.25200 mg/l), entre otros, teniendo parámetros dentro de los rangos máximos permisibles, pese a no contar con sistemas de tratamiento previo, evidenciando un correcto manejo de residuos generados en cada laboratorio de la Universidad.

Aguirre et al. (2021) en Santa Marta (Colombia), demostraron el contenido de metales pesados como Pb, Cd, Cr y Ni, en el complejo lagunar Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM), mostrando concentraciones bajas en referencia a valores para aguas marinas, pero su sola presencia en el cuerpo de agua, representa riesgo para las poblaciones y el medio ambiente que los rodea.

1.2.2 Antecedentes de nivel nacional

Becerra et al. (2014) en Trujillo (Perú), reportaron valores de DBO_5 hasta 8404.41 mg/l y DQO hasta 10390.00 mg/l, en aguas residuales provenientes de camales de la región la Libertad, sobrepasando ampliamente los valores máximos permisibles, a su vez determinaron la relación DBO_5/DQO siendo > 0.6 a lo que concluyen que la materia orgánica existente es biodegradable, siendo de fácil remoción por la acción bacteriana y un sistema de oxigenación adecuada.

Mosqueira (2015) en Cajamarca (Perú), identifico la presencia de metales tóxicos de importancia como Fe (8,3 mg/l); Mn (1,5 mg/l); Pb (0,4 mg/L); Zn (4,9 mg/l) y Hg (0,008 mg/l), en aguas residuales de la Universidad Nacional de Cajamarca, estos valores identificados superan los límites máximos permisibles, demostrando que existe un grado de contaminación alto, debido a la presencia de sustancias tóxicas el cual generan impactos negativos al ecosistema acuático, siendo un riesgo constante para la actividad agrícola cercana al efluente.

Nieto (2017) en Tacna (Perú), caracterizo las aguas residuales del campus universitario de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, describiendo a las aguas residuales generadas en los laboratorios como industriales, por el alto contenido de materia orgánica e inorgánica, las aguas residuales procedentes del comedor

universitario como domésticas por sus variadas condiciones y características y finalmente presumió que las aguas residuales presentan contenido de metales pesados, debido a las diferentes actividades en la ciudad universitaria haciendo muy complejo las alternativas de tratamiento.

Mera y Diaz (2018) en Chota (Cajamarca), evidenciaron parámetros fisicoquímicos como DBO₅ hasta 343 mg/l y DQO de 708.67 mg/l, a su vez encontraron valores de biodegradabilidad entre 0.4 a 0.7 concluyendo que las aguas urbano residuales industriales generadas por la Universidad Nacional Autónoma de Chota, finalmente recomienda tratamientos químicos y biológicos.

Quintanilla y Ccoyori (2019) en Arequipa (Perú), mostraron valores para DBO₅ de 459 mg/l y DQO de 7998 mg/l, en aguas residuales de los diversos laboratorios de Química de la UTP, estando dentro de los valores máximos admisibles, así mismo presenciaron el contenido de metales pesados como: Al (45.3 mg/l); Bo (0.083 mg/l); Cu (6.29 mg/l); Mn (0.29233mg/l) y Zn (25.06 mg/l), excediendo los valores máximos admisibles, indicando que las aguas residuales originadas en los diversos laboratorios, no pueden ser descargadas directamente a la red de alcantarillado ya que estarían transgrediendo los parámetros ambientales establecidos, exponiendo a la Universidad a sanciones de tipo económico y judicial.

Cardeña (2021) en Cusco (Perú), reporto valores para DBO₅ hasta 55.425 mg/l, inferiores a los límites máximos permisibles y DQO hasta 1207.62 mg/l, superiores a los límites máximo permisibles, también determino la relación existente entre DBO₅/DQO de aguas residuales de los centros de salud de primer nivel de atención de la ciudad de Cusco, siendo de 0.363174 mostrando una baja biodegradabilidad y finalmente propuso métodos de tratamiento fisicoquímicos, para contener sustancias recalcitrantes.

1.2.3 Antecedentes de nivel local

Callata (2015) en Puno (Perú), reporto valores altos para DBO₅ de 205 mg/l, y DQO de 514 mg/l, estos parámetros reportados no son apropiados con respecto a los estándares de calidad ambiental, a su vez identifico las áreas críticas de valores altos, en la bahía interior de la ciudad de Puno, siendo el muelle y la isla de Espinar.

Carpio (2016) en Puno (Perú), evidencio la presencia de contenido de metales pesados como Mn, Al, As, Zn y Hg, que superaron niveles de 0.1 mg/kg, en macrófitas de las desembocaduras de los ríos tributarios de Huancané, Ramis, Coata, Ilave y Zapatilla del lago Titicaca, los cuales no cumplen con los estándares de calidad ambiental, siendo nula la extracción y cultivo especies hidrobiológicas.

Capacoila (2017) en Coata (Puno), encontró valores de concentración de metales pesados para Al (1.043 mg/l); Fe (0.856 mg/l) y Mn (0.460 mg/l), en aguas superficiales del río Coata de la cuenca hidrográfica del Lago Titicaca, evidenciado que se encuentran por encima de los estándares de calidad ambiental, evidenciando el grado de contaminación del río Coata provocado por las descargas incontroladas de aguas residuales de la ciudad de Juliaca del mismo modo Mamani (2019) determino la presencia de As (0.020 - 0.044 mg/l); y Pb (0.044 - 0.089 mg/l), en aguas superficiales y subterráneas de la comunidad de Suches y el río Coata, superando los valores de las normas vigentes, ocasionando daños a los consumidores.

Mamani (2018) en Yunguyo (Puno), mostro valores altos para DBO₅ de 78 mg/l y DQO de 130 mg/l, indicando que las aguas de la bahía de Yunguyo no cumplen con los estándares de calidad ambiental, provocando una desaparición de la fauna acuática presente.

Machacca (2022) en Puno (Perú), demostró la presencia de concentraciones de metales pesados en los diferentes efluentes líquidos residuales de la bahía interior de Puno, como As (0.012 mg/l); Cd (0.0090 mg/l), y Pb (0.023 mg/l), sobrepasando los estándares de calidad ambiental, siendo el plomo el metal pesado más toxico encontrado asimismo Quispe (2022) encontró valores altos para DBO₅ de 38.68 mg/l y DQO de 107.01 mg/l, en aguas de la laguna confinada del malecón turístico de la bahía interior de Puno, superando los estándares de calidad ambiental, presentando condiciones muy similares a las de aguas residuales, situándolo como de muy baja calidad para fines recreativos y paisajísticos, ya que supone un riesgo para la salud humana.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

En la situación actual, el desafío ecológico más crítico que enfrentamos se relaciona con la contaminación hídrica por metales pesados, a consecuencia de las diversas actividades antropogénicas humanas, este problema adquiere una gravedad significativa debido a la alta toxicidad de estos metales y su capacidad para intensificar los efectos adversos, acumulativos en múltiples sistemas ecológicos, que son fundamentales para la supervivencia y el bienestar de la población humana.

Con el paso del tiempo, han emergido una variedad de nuevas formas de contaminación del agua, lo que ha ampliado las oportunidades en el ámbito del tratamiento de dichos problemas, algunos de estos procesos no demandan una purificación a gran escala para alcanzar sus metas, y es crucial implementar técnicas investigadas con el propósito de mitigar los impactos perjudiciales de los metales pesados en los ecosistemas y los seres vivos, contribuyendo así a mejorar la salud pública.

La Universidad Nacional del Altiplano se encuentra inmersa a esta problemática, cada año la institución aloja a más de 16.000 estudiantes, emplea a 1.200 docentes y cuenta con 800 servidores públicos administrativos, estos grupos humanos representan una fuente constante de demanda de agua debido a una amplia gama de actividades que se ejecutan en sus instalaciones, que van desde laboratorios y talleres hasta unidades administrativas y servicios sanitarios.

Estas actividades generan aguas residuales de origen no doméstico y lamentablemente, en muchos casos, no se tiene un conocimiento básico y científico de la carga contaminante presente en estas aguas, incumpliendo normas con rango de ley vigentes,

como el Decreto Supremo N° 010-2019-Vivienda, "Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario".

2.2 Enunciados del problema

2.2.1 Problema general

¿Cuál será el contenido de metales pesados y qué índices de biodegradabilidad presentaran las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno?

2.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál será el contenido de metales pesados en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno?
- ¿Cuáles serán los valores de DBO₅ y DQO en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno?
- ¿Qué índices de biodegradabilidad presentarán las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno?

2.3 Justificación

En un mundo donde la demanda por el agua dulce cada vez va en aumento y los escasos recursos hídricos existentes se ven más exigidos por la captación excesiva, la contaminación y el cambio climático, no aprovechar las oportunidades que brinda una correcta gestión de los recursos hídricos sería sencillamente inconcebible (WWAP, 2017).

Actualmente la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, desarrolla diversas actividades académicas e investigativas en los laboratorios, sin el mínimo conocimiento del manejo de residuos y sustancias químicas, ya sea por falta de manuales, protocolos y normas establecidas aprobadas, donde indique el uso correcto y su eliminación de las mismas, del mismo modo, diferentes unidades como comedor, mantenimiento, hospital universitario, entre otros y todas las facultades con sus oficinas administrativas y servicios sanitarios realizan descargas diarias de aguas residuales al sistema de desagüe, resultado de las diferentes actividades realizadas, desconociendo la caracterización de las mismas.

Conocer el contenido de metales pesados, valores de DBO₅ y DQO e índices de biodegradabilidad de las aguas residuales generadas en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno (ciudad universitaria), son de mucha relevancia y contrastar con los valores máximos admisibles (VMA) establecidos en el Decreto Supremo N° 010-2019-Vivienda, según normatividad peruana vigente, permitirán una correcta disposición de las aguas residuales no domésticas, a la red de alcantarillado sanitario público y finalmente se podrá plantear estrategias y alternativas de solución, que amortiguaran riesgos ambientales y problemáticas de salud.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

Determinar el contenido de metales pesados e índices de biodegradabilidad de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno.

2.4.2 Objetivos específicos

- Determinar el contenido de metales pesados de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano y contrastar con los valores máximos admisibles según D.S. N° 010-2019-Vivienda.
- Determinar los valores de DBO₅ y DQO de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano y contrastar según D.S. N° 010-2019-Vivienda.
- Determinar los índices de biodegradabilidad de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano, en función de los valores de DBO₅ y DQO.

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

Las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano presentan contenido de metales pesados y no muestran índices óptimos de biodegradabilidad.



2.5.2 Hipótesis específicas

- Las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano presentan contenido de metales pesados que superan los valores máximos admisibles según D.S. N° 010-2019-Vivienda.
- Los valores de DBO₅ y DQO de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano superan los valores máximos admisibles según D.S. N° 010-2019-Vivienda.
- Las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano presentaran bajos índices de biodegradabilidad, debido a la contaminación que posee.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

La investigación se realizó en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno (ciudad universitaria), ubicado en la ciudad de Puno, latitud sur 15°50'36"S, longitud oeste 70°01'25"O, con una altitud de 3827 msnm, perteneciente al distrito, provincia y departamento de Puno (Figura 1).

La determinación del contenido de metales pesados, DBO₅ y DQO, se realizaron en los laboratorios ALAB (Analytical laboratory) acreditado por Inacal, con sede principal en la ciudad de Lima y Arequipa.

3.1.1 Zonas de estudio

ING (1): Escuela Profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Clínica veterinaria, Granja avícola, Escuela profesional de Ingeniería Agronómica, Invernaderos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Megalaboratorio de la UNA-Puno, Escuela Profesional de Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Escuela Profesional de Ingeniería Estadística e Informática, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Escuela Profesional de Físico Matemático, Escuela Profesional de Mecánica Eléctrica, Escuela Profesional de Administración.

BIO (2): Escuela Profesional de Biología, Almacén Central UNA-Puno, Laboratorios de Ciencias Básicas para Biomédicas, Oficinas Administrativas de Ciencias de la Salud, Escuela Profesional de Odontología, Clínica Odontológica, Escuela Profesional de Nutrición Humana, Escuela Profesional de Enfermería, Escuela Profesional de Medicina



Humana, Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, Escuela Profesional de Ciencias Contables, Vicerrectorado Académico, Oficina de Arquitectura y Construcciones, Vicerrectorado de Investigación, Comisión Central de Admisión, Facultad de Ciencias de la Educación, Institución educativa José Carlos Mariátegui Aplicación UNA - Puno.

SOC (3): Escuela Profesional de Ciencias Contables, Escuela Profesional de Turismo, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, Escuela Profesional de Arte, Escuela Profesional de Trabajo Social, Oficinas Administrativas de Ciencias Sociales, Escuela Profesional de Antropología, Escuela Profesional de Sociología, Escuela Profesional de Ciencias de la Comunicación Social, Escuela Profesional de Ingeniería Económica, Comedor Universitario, Biblioteca Central, Auditorio Magno, Unidad de Control de Asistencia, Recursos Humanos.

SERV1 (4): Escuela Profesional de Arquitectura y Urbanismo, Escuela Profesional de Educación Física, Escuela Profesional de Sociología, Escuela Profesional de Antropología, Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura, Coliseo Cubierto UNA - Puno, Talleres de Mantenimiento, Escuela de Posgrado.

SERV2 (5): Laboratorios de Ciencias Básicas para Ingenierías, Escuela Profesional de Trabajo Social, Escuela Profesional de Arte, Escuela Profesional de Administración, Complejo Académico 15 pisos, Oficina de Tecnologías de Información, Hospital Universitario, Centro de Convenciones.

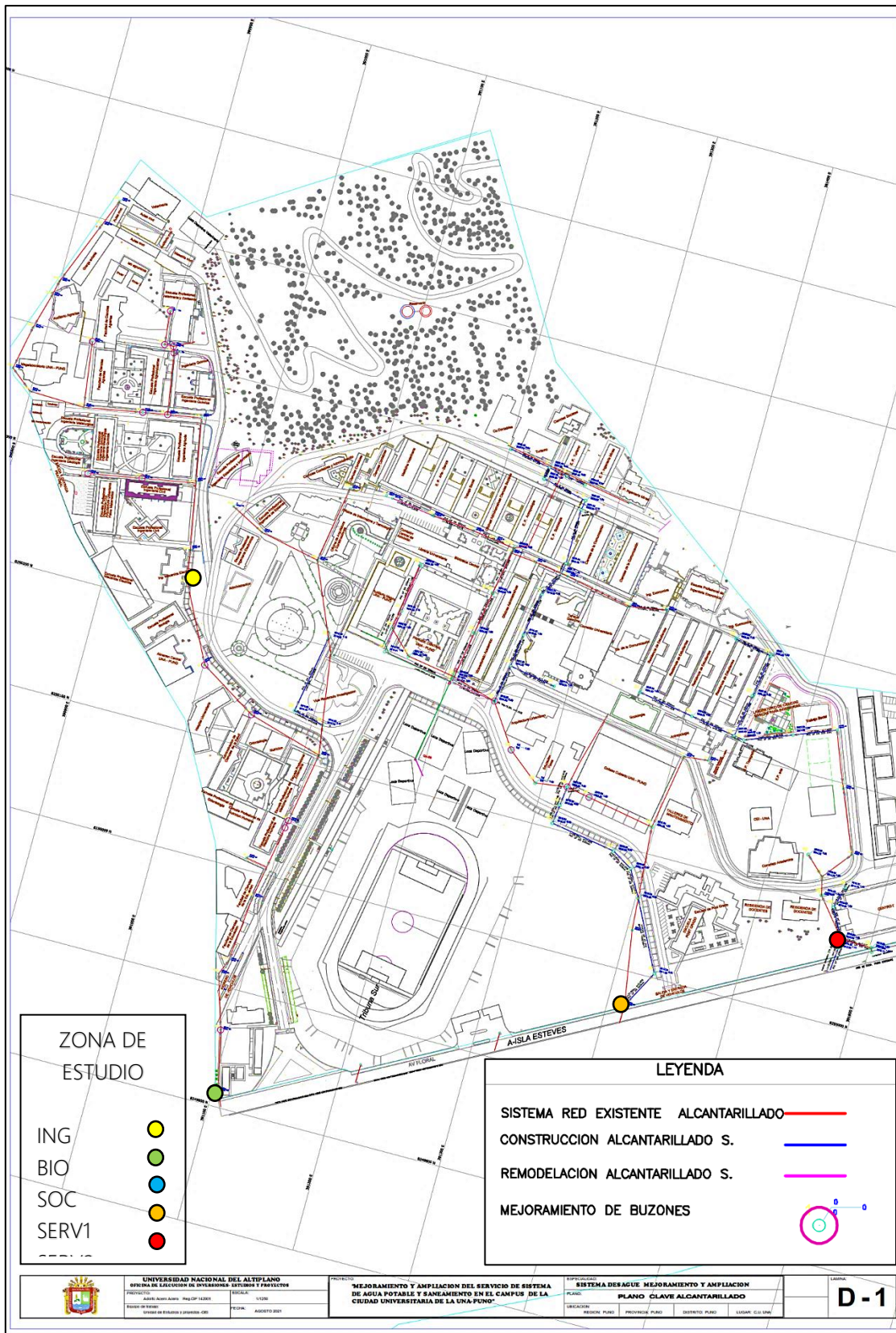


Figura 1. Sistema de alcantarillado de la UNA - Puno (ciudad universitaria)

Fuente: Oficina de ejecución de inversiones, estudios y proyectos de la UNA - Puno

3.2 Población

En el contexto de la investigación, la población se define como infinita, ya que engloba el total de aguas residuales generadas, producto de las diversas actividades ejecutadas en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno (ciudad universitaria).

3.3 Muestra

El número de muestras de aguas residuales seleccionadas en el marco de la investigación, se estableció a través de un enfoque de muestreo no probabilístico por conveniencia, según criterio del investigador, con el propósito de encontrar posibles causas de encontrar parámetros elevados en las zonas de estudio, en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano (ciudad universitaria).

En ese contexto, se recolectaron un total de 15 muestras de aguas residuales, distribuidos en cinco zonas de estudio, con tres repeticiones por cada zona de evaluación (Tabla 3).

La selección de las zonas de estudio y sus repeticiones se realizó de manera estratégica, abarcando todo el sistema de alcantarillado de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno (ciudad universitaria, Figura 1).

Tabla 3

Distribución de muestras de aguas residuales de la ciudad universitaria

Zonas de estudio	Muestras			Total
	Repeticiones			
ING	1	1	1	3
BIO	1	1	1	3
SOC	1	1	1	3
SERV1	1	1	1	3
SERV2	1	1	1	3
Total	5	5	5	15

ING: Ingenierías; BIO: Biomédicas; SOC: Sociales; SERV1: Servicios 1; SERV2: Servicios 2.

3.4 Métodos de investigación

La investigación adoptó un enfoque no experimental, cuantitativo y transversal, esto

implica que no se efectuaron la manipulación de las variables de estudio. Se recolectaron datos en campo y laboratorio, los cuales fueron procesados mediante análisis estadísticos y los resultados fueron presentados mediante tablas y figuras, de acuerdo con los estándares exigidos en la investigación

3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

3.5.1 Determinación del contenido de metales pesados de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano y contrastación con los valores máximos admisibles según D.S. N° 010-2019-Vivienda

Muestreo de aguas residuales

La toma de muestra se realizó según lo establecido en la Norma Técnica Peruana (NTP 214.060.2016 - Aguas residuales. Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado), se detalla lo siguiente:

Procedimiento de muestreo según NTP 214.060.2016 (Anexo 9)

Condiciones del punto de muestreo

- **Accesibilidad:** Implica que el lugar esté despejado de obstáculos y cumpla con los estándares de seguridad laboral, con el fin de asegurar la salud física y el bienestar de los empleados encargados de tomar las muestras.
- **Comportamiento hidráulico:** Es esencial garantizar que el flujo de agua se mantenga constante y uniforme, es decir, que se produzca una mezcla completa, y no se permite la toma de muestras en agua que esté inmóvil o estancada.
- **Dimensiones:** Deben ser medidas apropiadas para obtener una muestra representativa, o aquellas que sean específicas por la autoridad competente en su momento.

Consideraciones para el muestreo

La tabla 4 proporciona detalles específicos sobre la toma de muestras de todos los parámetros incluidos en la investigación.

Tabla 4

Condiciones requeridas para análisis de los parámetros considerados

Parámetro	Cantidad mínima (ml)	Tipo de recipiente	Preservación y/o conservación	Conservación máximo recomendado	Observaciones
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	1000	Plástico o vidrio	Refrigerar ≤ 6 °C	48 horas	Almacenar la muestra en un recipiente oscuro. Llenar el frasco completamente sin dejar burbujas de aire.
Demanda química de oxígeno (DQO)	100	Plástico o vidrio	Analizar lo antes posible o agregar H ₂ SO ₄ hasta llegar a un pH < 2, y refrigerar a ≤ 6 °C	28 días	Preferentemente colectar las muestras en botellas de vidrio. Analizar las muestras inestables sin demora. De no poder evitarse la demora antes del análisis, preservar la muestra por acidificación a pH ≤ 2 .
Aluminio Cobre Manganeso Zinc	250	Plástico	Si se requiere metales disueltos (filtrar), si se requiere metales totales (no filtrar) y adicionar HNO ₃ a pH < 2	6 meses	Los envases de vidrio de borosilicatos pueden incrementar el contenido de sílice y sodio.

Fuente: NTP 214.060.2016

Determinación del contenido de metales pesados

La determinación del contenido total de metales pesados fue ejecutado por el laboratorio ALAB (Analytical laboratory), realizado según lo establecido en el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, artículo N° 12, donde detalla lo siguiente:

- Los laboratorios acreditados por Inacal tienen la responsabilidad de efectuar el análisis de los parámetros que se detallan en el anexo N° 2 de esta regulación en lo que respecta a las descargas de aguas residuales no domésticas (Anexo 10).
- Esto debe llevarse a cabo siguiendo las pautas establecidas en la norma técnica peruana; NTP 214.060.2016 - Aguas residuales. Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado (Anexo 9).

Método de determinación de metales pesados

El contenido de metales pesados se evaluó utilizando la técnica de espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) de acuerdo con el protocolo (Method 200.8, Revisión 5.4 1994 - determinación de elementos traza en aguas y residuos mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente). Este método de análisis posee la distinción de contar con acreditación y certificación (Anexo 12).

Contrastación con los valores máximos admisibles (D.S. N° 010-2019-Vivienda)

El contenido de metales pesados, se contrastó con el D.S. N° 010-2019-Vivienda, anexo N° 2 del Decreto Supremo que aprueba el reglamento de valores máximos admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. (Anexo 10).

VARIABLES DE ESTUDIO

- Variable independiente: Aguas residuales.
- Variable dependiente: Contenido de metales pesados.

Análisis bioestadístico inferencial

Se realizó pruebas de supuestos de normalidad de datos, seguido de un análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple de Tukey para la determinación de la

diferencia estadística significativa de los metales pesados reportados entre las cinco zonas de estudio. Todo el análisis bioestadístico se desarrolló utilizando el software estadístico Infostat V.2020e.

3.5.2 Determinación de valores de DBO₅ y DQO de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano y contrastación con los valores máximos admisibles según D.S. N° 010-2019-Vivienda

La determinación de valores de DBO₅ y DQO fue desarrollado por el laboratorio ALAB (Analytical laboratory), según lo establecido en el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, artículo N° 12, donde detalla lo siguiente:

- Los laboratorios acreditados por Inacal tienen la responsabilidad de efectuar el análisis de los parámetros que se detallan en el anexo N° 1 de esta regulación en lo que respecta a las descargas de aguas residuales no domésticas (Anexos 10).
- Esto debe llevarse a cabo siguiendo las pautas establecidas en la Norma Técnica Peruana; NTP 214.060.2016-Aguas residuales. Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado (Anexo 9).

Método de determinación para DBO₅

Los valores de DBO₅ se determinó mediante el método; SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017 (Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5-Day BOD Test), método de ensayo acreditado y certificado (Anexo 12).

Método de determinación para DQO

Los valores de DQO se determinó mediante el método; SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017 (Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method), método de ensayo acreditado y certificado (Anexo 12).

Contrastación con los valores máximos admisibles (D.S. N° 010-2019-Vivienda)

Los valores de DBO₅ y DQO, se contrastó con el D.S. N° 010-2019-Vivienda, anexo N° 1. Decreto Supremo que aprueba el reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. (Anexo 10).

Variables de estudio

- Variable independiente: Aguas residuales.
- Variable dependiente: Valores de DBO₅ y DQO.

Análisis bioestadístico inferencial

Se realizó pruebas de supuestos de normalidad de datos, seguido de un análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple de Tukey para la determinación de la diferencia estadística significativa de los valores de DBO₅ y DQO reportados entre las cinco zonas de estudio. Todo el análisis bioestadístico se desarrolló utilizando el software estadístico Infostat V.2020e.

3.5.3 Determinación de los índices de biodegradabilidad de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano, en función de los valores de DBO₅ Y DQO

La evaluación del índice de biodegradabilidad se llevó a cabo a través de la relación entre los parámetros de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y la demanda química de oxígeno (DQO). Este índice ha demostrado ser una herramienta de gran relevancia en la caracterización de aguas residuales, permitiendo una diferenciación clara entre las de origen doméstico e industrial. Su aplicación facilita la identificación del método más apropiado para el tratamiento y depuración, se detalla lo siguiente:

Índices de biodegradabilidad

- DBO₅/DQO < 0.2 (Biodegradabilidad baja)
- DBO₅/DQO 0.2 - 0.4 (Biodegradabilidad media)
- DBO₅/DQO > 0.4 (Biodegradabilidad alta)

Variables de estudio

- Variable independiente: Aguas residuales.
- Variable dependiente: Índices de biodegradabilidad.

Análisis bioestadístico inferencial

No se desarrolló un diseño bioestadístico inferencial.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Contenido de metales pesados en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano y contrastación con los valores máximos admisibles según D.S. N° 010-2019-Vivienda

4.1.1 Contenido de aluminio (Al)

Los datos analizados en las cinco zonas de estudio se presentan en la Tabla 5. Los promedios del contenido de aluminio de las aguas residuales generadas en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, oscilaron de 0.16 ± 0.01 mg/l en la zona de estudio BIO a 4.27 ± 0.89 mg/l en la zona de estudio SERV2. El contenido de aluminio en las muestras de aguas residuales de las cinco zonas evaluadas, no superan los valores máximos admisibles de 10 mg/l para aluminio, establecidos en el DS-010-2019-Vivienda, según la normatividad peruana actual. El análisis de varianza realizado para el contenido de aluminio en las cinco zonas de estudio presentó diferencia estadística significancia (p -valor <0.0001) y según la prueba de comparación múltiple de Tukey el mayor promedio se obtuvo en la zona de estudio SERV2 (4.27 mg/l), las restantes zonas de estudio no presentaron diferencia estadística significativa (Tabla 5, figura y anexo 2).

Tabla 5

Contenido de aluminio en las cinco zonas de estudio en contraste con los valores máximos admisibles

Parámetro (mg/l)	Zonas de estudio					VMA
	ING	BIO	SOC	SERV1	SERV2	
Aluminio	0.18 ^a ± 0.01	0.16 ^a ± 0.01	0.67 ^a ± 0.59	0.25 ^a ± 0.07	4.27 ^b ± 0.89	10 mg/l

VMA: Valores máximos admisibles; DE (\pm): Desviación estándar; Letras diferentes entre columnas (zonas de estudio) indican diferencias significativas. Tukey ($p < 0.05$) para cada parámetro.

El mayor contenido de aluminio reportado en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, fue de 4.27 mg/l, esta concentración fue superior a lo observado por Crombet et al. (2013), que evidencio una concentración de 1.19 mg/l en las aguas residuales generadas por la comunidad estudiantil Antonio Maceo de la Universidad de Oriente en Santiago de Cuba, sin embargo Quintanilla y Ccoyori (2019), en las aguas residuales provenientes de los diversos laboratorios del área de química de la UTP en Arequipa, mostraron una concentración de 45.3 mg/l, muy superior a los reportados en las investigaciones antes mencionadas, la variación de estos resultados en comparación a la investigación, se deba probablemente por las actividades propias que se realizan en cada universidad e influenciada directamente por la cantidad de estudiantes que realizan sus actividades al utilizar las instalaciones de cada institución, finalmente la última concentración observada, supera los valores máximos admisibles para el contenido de aluminio (10 mg/l) establecidos en el DS-010-2019-Vivienda, según normatividad peruana vigente, en contraste a la concentración reportada en la investigación.

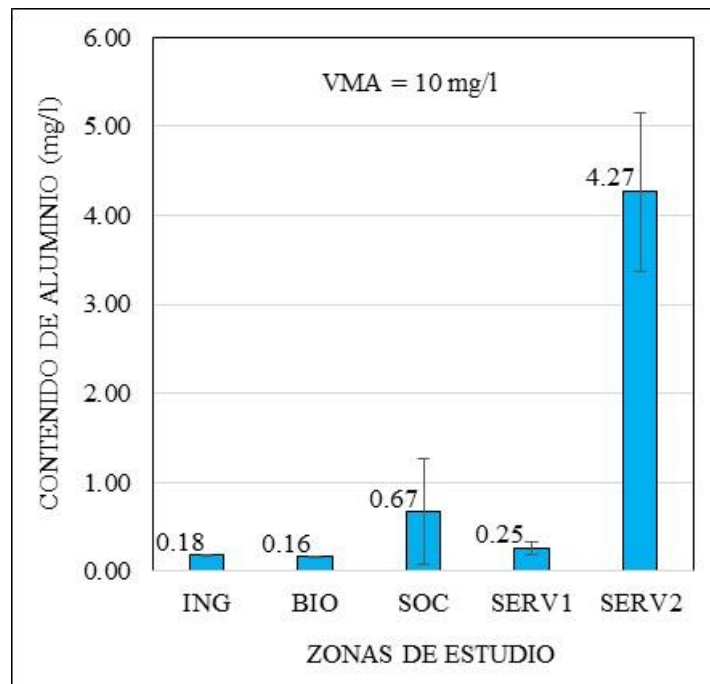


Figura 2. Contenido de aluminio en las cinco zonas de estudio

El aluminio está ampliamente diseminado en el entorno terrestre, su presencia en forma natural representa aproximadamente el 8% de la cobertura superficial, que lo posiciona como el metal más abundante y el tercer elemento más común presente en la corteza terrestre (Nesse et al., 2003), es caracterizado en la actualidad por el amplio uso antropogénico que posee (Lizcano, 2023), así en la investigación la presencia del mayor contenido de aluminio en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, se reportó en la zona de muestreo SERV2, esto se debe probablemente a que en la zona de investigación, se realizaron y actualmente se vienen ejecutando la construcción de diferentes edificaciones, ya que el aluminio se utiliza en diversos procesos de construcción y arquitectura, debido a su fácil manejo y combinación con otros materiales utilizados en el área de la construcción, como el vidrio (Martínez, 2023).

La creciente presencia del aluminio en el entorno se le atribuye al aumento continuo de las actividades antrópicas humanas y a la progresiva acidificación del suelo (Torrellas, 2012), dada la abundancia natural del aluminio y su creciente incorporación en diversas aplicaciones industriales en la vida moderna, resulta altamente improbable eludir la detección de trazas de aluminio en alguna célula de un organismo vivo, aunque no se ha logrado evidenciar una fisiología específica para este metal, (Nesse et al., 2003), así en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, para la ejecución de construcciones de las

diferentes edificaciones, viene laborando diariamente el personal de obras, que continuamente estaría expuesto a la contaminación por aluminio, debido a su actividad que involucra la utilización y manipulación de productos que contienen este metal, ya sea en actividades como soldadura, limado, aserrado, corte de materiales de aluminio, entre otros (Alarcon et al., 2023), no se puede descartar la posibilidad de que el aluminio tenga efectos perjudiciales para la salud, por lo que se recomienda supervisar y minimizar la exposición a este elemento en la medida de lo posible (Suay y Ballester, 2002)

La presencia de elevados porcentajes de aluminio en suelos ácidos, también representan factores muy limitantes en la productividad y de crecimiento en plantas, debido a la toxicidad (Rivera et al., 2016) relativa que presenta el aluminio en altas concentraciones en el suelo (Casierra y Aguilar, 2018), la contaminación a causa de metales pesados incluidos el aluminio, establece uno de los desafíos más grandes de este siglo, ya que provoca efectos notables no solo en el ambiente, sino también plantean riesgos a la salud pública (Reyes et al., 2016).

4.1.2 Contenido de cobre (Cu)

Los datos examinados en las cinco zonas de estudio se desarrollan en la Tabla 6. Los promedios del contenido de cobre de las aguas residuales generadas en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, fluctuaron de 0.0002 ± 0.00 mg/l en la zona de estudio BIO a 0.0612 ± 0.019 mg/l en la zona de estudio SERV2. El contenido de cobre en las cinco zonas evaluadas, no superan los valores máximos admisibles de 3 mg/l para cobre, determinados en el DS-010-2019-Vivienda, según la normatividad peruana vigente. El análisis de varianza ejecutado a los contenidos de cobre en las cinco zonas de estudio, presentó diferencia estadística significancia (p -valor <0.0001) y según la realización de la prueba de comparación múltiple de Tukey, el mayor promedio se obtuvo en la zona de estudio SERV2 (0.0612 mg/l), mientras en las demás zonas de estudio no presentaron diferencia estadística significativa (Tabla 6, figura y anexo 3).

Tabla 6

Contenido de cobre en las cinco zonas de estudio en contraste con los valores máximos admisibles

Parámetro (mg/l)	Zonas de estudio					VMA
	ING	BIO	SOC	SERV1	SERV2	
Cobre	0.0013 ^a ± 0.001	0.0002 ^a ± 0.000	0.0049 ^a ± 0.007	0.0037 ^a ± 0.002	0.0612 ^b ± 0.019	3 mg/l

VMA: Valores máximos admisibles; DE (±): Desviación estándar; Letras diferentes entre columnas (zonas de estudio) indican diferencias significativas. Tukey ($p < 0.05$) para cada parámetro.

El mayor contenido de cobre reportado en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, fue de 0.0612 mg/l, este valor es superior a la concentración de 0.02 mg/l, de las aguas residuales generadas por la comunidad estudiantil Antonio Maceo de la Universidad de Oriente en Santiago de Cuba, observado por (Crombet et al., 2013), así mismo en la investigación realizada por Martínez y Mendoza (2021) en los efluentes de las aguas residuales provenientes del CIRA/UNAN-Managua de Nicaragua, presenciaron una concentración de 0.02150 mg/l de cobre.

Sin embargo investigaciones realizadas por autores como Mosqueira (2015) presenciaron una concentración mayor de 4.4 mg/l, en las aguas residuales recolectadas de los buzones de la Universidad Nacional de Cajamarca, y de la misma forma Quintanilla y Ccoyori (2019), en las aguas residuales provenientes de los diversos laboratorios del área de química de la UTP en Arequipa, detallaron una concentración aún más elevada de 6.29 mg/l, estas concentraciones mencionadas difieren con el contenido reportado en la investigación, a su vez, superan los valores máximos admisibles para el contenido de cobre (3 mg/l) señalados en el DS-010-2019-Vivienda, según normatividad peruana en estado activo, finalmente estas concentraciones mostradas en cada investigación, se relacionan con las propias actividades desarrolladas en las diversas instalaciones, influenciada por la cantidad de estudiantes presentes en cada universidad en estudio.

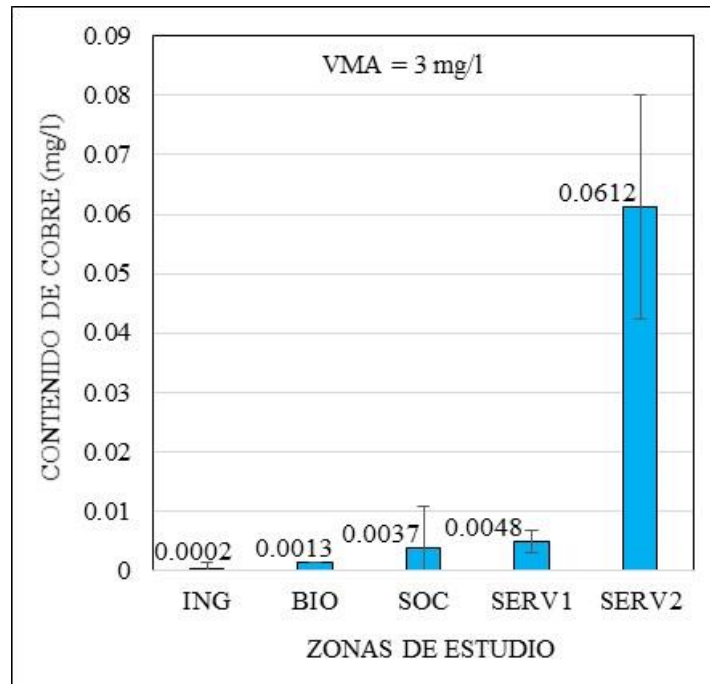


Figura 3. Contenido de cobre en las cinco zonas de estudio

El cobre es un elemento que se encuentra de manera natural en el entorno y ha sido una constante a lo largo de la historia de la humanidad, El empleo y la necesidad de cobre pueden ser indicadores del nivel de progreso y desarrollo económico de las sociedades. (Prado et al., 2012), basándose en ese contexto, en un tiempo muy corto la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, viene ejecutando la acelerada construcción de diferentes edificaciones, debido a la gran demanda de la creciente comunidad universitaria y con ello la satisfacción de sus necesidades como educación, salud, entre otros y por tal motivo la mayor presencia del contenido cobre reportado en la zona de estudio SERV2, se deba probablemente por la ejecución de la construcción de diferentes edificaciones, debido a que el cobre presenta una gran versatilidad como metal y es muy demandado en la industria de la construcción, la electricidad y al electrónica (Nazer et al., 2010).

El ser humano usa este elemento de manera muy amplia, y diariamente el personal obrero de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, desarrollan sus actividades exponiéndose a este metal, de ahí nace la importancia de conocer las propiedades y su mecanismo de acción dentro de un organismo, ya sea por deficiencia o acúmulo de este elemento (Feoktistova y Clark, 2018), el cobre es esencial para el ser humano como elemento traza, pero la exposición a concentraciones elevadas y prolongadas se le asocia con problemas de salud (Escobar, 2007), si bien es de importancia vital en el desarrollo humano, es esencial regular su contribución de manera adecuada (Camacho, 2018).

4.1.3 Contenido de manganeso (Mn)

Los datos estudiados en las cinco zonas de estudio se presentan en la Tabla 7. Los promedios del contenido de manganeso de las aguas residuales generadas en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, fueron de 0.03 ± 0.01 mg/l en la zona de estudio SERV1 a 0.48 ± 0.02 mg/l en la zona de estudio ING. El contenido de manganeso en las muestras de aguas residuales de las cinco zonas evaluadas, no superan los valores máximos admisibles de 4 mg/l señalados en el DS-010-2019-Vivienda, según normatividad peruana vigente. El análisis de varianza realizado a los contenidos de manganeso en las cinco zonas de estudio presentó diferencia estadística significancia (p -valor <0.0001) y según el desarrollo de la prueba de comparación múltiple de Tukey, el mayor promedio se obtuvo en la zona de estudio SERV2 (4.27 mg/l) las restantes zonas de estudio no presentaron diferencia estadística significativa (Tabla 7, figura y anexo 4).

Tabla 7

Contenido de manganeso en las cinco zonas de estudio en contraste con los valores máximos admisibles

Parámetro (mg/l)	Zonas de estudio					VMA
	ING	BIO	SOC	SERV1	SERV2	
Manganeso	0.48 ^c ± 0.02	0.32 ^b ± 0.02	0.08 ^a ± 0.05	0.03 ^a ± 0.01	0.39 ^{bc} ± 0.11	4 mg/l

VMA: Valores máximos admisibles; DE (\pm): Desviación estándar; Letras diferentes entre columnas (zonas de estudio) indican diferencias significativas. Tukey ($p < 0.05$) para cada parámetro.

El mayor contenido de manganeso reportado en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, fue de 0.48 mg/l, concentración elevada a las reportadas en las investigaciones realizadas por autores como Martínez y Mendoza (2021) donde mostraron un valor de 0.38200 mg/l, del efluente de las aguas residuales generadas en el CIRA/UNAN-Managua de Nicaragua, así mismo Quintanilla y Ccoyori (2019) también detallaron valores de 0.29233 mg/l, en las aguas residuales provenientes de los diversos laboratorios del área de química de la UTP en Arequipa y de la misma forma Crombet et al. (2013) evidenciaron valores de 0.29 mg/l, en las aguas residuales producidas por la comunidad estudiantil Antonio Maceo de la Universidad de Oriente en Santiago de Cuba, estas concentraciones mencionadas anteriormente, se relacionan con el contenido

reportado en la investigación, no presentando variaciones significativas, por otro lado Mosqueira (2015) evidencio una concentración mayor de 1.5 mg/l de manganeso, en las aguas residuales recolectadas de los buzones de la Universidad Nacional de Cajamarca, si bien los valores antes detallados por los diferentes autores y los reportados en la investigación no superan los valores máximos admisibles para el contenido de manganeso (4 mg/l) instaurados en el DS-010-2019-Vivienda, según normatividad peruana, los resultados pueden experimentar variaciones a causa de las diversas actividades específicas llevadas a cabo en cada investigación.

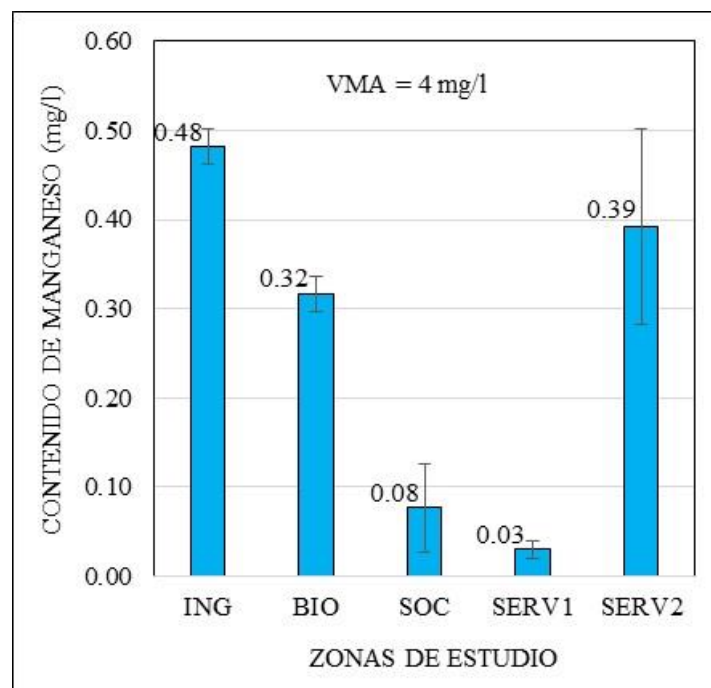


Figura 4. Contenido de manganeso en las cinco zonas de estudio

El manganeso constituye el duodécimo elemento metálico más abundante entre los elementos en la corteza terrestre (Galvao y Corey, 1987), es un elemento naturalmente profuso en la tierra (Guillen et al., 2021) que puede disolverse en el agua a medida que se infiltra por el suelo, convirtiéndose en una fuente común de contaminación en aguas subterráneas y superficiales (Picado, 2021), en base a la literatura antes mencionada, la mayor presencia del contenido de manganeso en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, se reportó en la zona de estudio ING, esto se deba probablemente por la utilización de fertilizantes (Galvao y Corey, 1987) en diversas actividades académicas e investigativas de la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniera Agronómica, asimismo la presencia de manganeso en las aguas residuales en la zona de estudio, también pueda estar presente por las descargas de aguas

con un sistema de distribución de agua con presencia de corrosión significativa (Ramírez y Azcona, 2017), por la presencia de instalaciones del sistema hídrico con muchos años de funcionamiento, adjudicando a las Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, la facultad con presencia más antigua en la ciudad universitaria.

En general se considera a los metales como perjudiciales, pero muchos resultan ser esenciales en nuestra dieta y en algunos casos su déficit o exceso conduce a problemas de salud (Londoño et al., 2016) el manganeso es un elemento esencial en pequeñas cantidades para el desarrollo y funcionamiento adecuado de los seres humanos, aunque en cantidades excesivas puede tener efectos tóxicos (Montané, 2015) y neurotóxicos significativos (Ramírez y Azcona, 2017), la importancia radica en conocer su forma de exposición y mecanismos de acción que poseen, ya que la sobreexposición al manganeso puede resultar en efectos tóxicos graves y acumulativos en órganos como el hígado, el páncreas, los huesos, los riñones y el cerebro, este último relacionado con el bajo rendimiento académico (Ordoñez et al., 2023).

4.1.4 Contenido de zinc (Zn)

Los datos desarrollados en las cinco zonas de estudio se despliegan en la Tabla 9. Los promedios del contenido de zinc de las aguas residuales generadas en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, variaron de 0.04 ± 0.01 mg/l en la zona de estudio BIO a 0.36 ± 0.10 mg/l en la zona de estudio SERV2. El contenido de zinc de las muestras de aguas residuales en las cinco zonas de evaluación no supera los valores máximos admisibles de 10 mg/l instaurados en el DS-010-2019-Vivienda, según la normatividad peruana activa. El análisis de varianza realizado a los contenidos de zinc en las cinco zonas de estudio presentó diferencia estadística significancia (p -valor <0.0001) y según la ejecución de la prueba de comparación múltiple de Tukey, el mayor promedio se obtuvo en la zona de estudio SERV2 (0.36 mg/l) y en las demás zonas de estudio no presentaron diferencia estadística significativa (Tabla 8, figura y anexo 5).

Tabla 8

Contenido de zinc en las cinco zonas de estudio en contraste con los valores máximos admisibles

Parámetro (mg/l)	Zonas de estudio					VMA
	ING	BIO	SOC	SERV1	SERV2	
Zinc	0.05 ^a ± 0.01	0.04 ^a ± 0.01	0.06 ^a ± 0.03	0.05 ^a ± 0.01	0.36 ^b ± 0.10	10 mg/l

VMA: Valores máximos admisibles; DE (±): Desviación estándar; Letras diferentes entre columnas (zonas de estudio) indican diferencias significativas. Tukey ($p < 0.05$) para cada parámetro.

El mayor contenido de zinc reportado en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, fue de 0.04 mg/l, concentración inferior a las investigaciones realizadas por autores como Crombet et al. (2013) donde evidenciaron un valor de 0.11 mg/l, en las aguas residuales generadas por la comunidad estudiantil Antonio Maceo de la Universidad de Oriente en Santiago de Cuba y del mismo modo Martínez y Mendoza (2021) reportaron un valor de 0.25200 mg/l, del efluente de las aguas residuales provenientes del CIRA/UNAN-Managua de Nicaragua, estas concentraciones presentan una relación con el contenido de zinc reportado en la investigación.

Por otro lado autores como Mosqueira (2015) presento una concentración mayor a los anteriores reportados, siendo esta de 4.9 mg/l, en las aguas residuales recolectadas de los buzones de la Universidad Nacional de Cajamarca, sin embargo Quintanilla y Ccoyori (2019) presencio valores muy superiores de 25.06 mg/l, en las aguas residuales provenientes de los diversos laboratorios del área de química de la UTP en Arequipa, las diferencias en los resultados pueden atribuirse a las distintas actividades inmersas en cada investigación, asimismo este último valor mencionado, fue muy superior a lo reportado en la investigación, superando los valores máximos admisibles para el contenido de Zinc (10 mg/l) asentados en el DS-010-2019-Vivienda, según normatividad peruana.

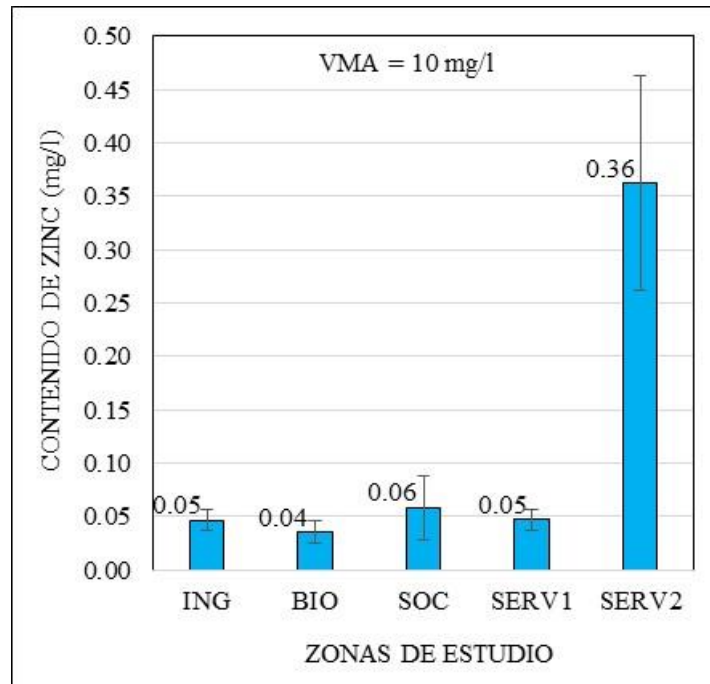


Figura 5. Contenido de zinc en las cinco zonas de estudio

El zinc es un elemento que se encuentra distribuido extensamente en la naturaleza y aunque su presencia no es profusa, representa un pequeño porcentaje en la composición de la corteza terrestre (Rubio et al., 2007), la introducción de este metal como un agente contaminante, se origina en las acciones humanas (Orroño, 2002), en la investigación el mayor contenido de zinc reportado en las muestras de aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, fue en la zona de muestreo SERV2, su presencia puede ser porque en la actualidad, gran parte del zinc producido se destina a la producción y galvanización del acero y el hierro (Calero, 2023), material indispensable en la construcción de las diferentes edificaciones que se ejecutaron y se vienen realizando en la zona de investigación, esto lo convierte en uno de los metales más utilizados en los diferentes etapas en la construcción y un componente indispensable para la protección de las estructuras hechas de acero, que están expuestos a condiciones ambientales (Castaño et al., 2007) por tal motivo las concentraciones elevadas de zinc en las aguas residuales de la zona de investigación, pueda estar probablemente por el resultado de la diferentes actividades de construcción de edificaciones que se ejecutaron y se vienen realizando en la actualidad (Orroño, 2002).

El zinc es un oligoelemento indispensable con una significativa importancia nutricional en el cuerpo humano, ya que desempeña diversas funciones en las células, incluyendo labores estructurales, catalíticas y de regulación, este ion desempeña una función crucial

en el control del crecimiento y la diferenciación de las células (Biasi et al., 2021), este elemento es indispensable en cantidades reducidas, pero se vuelve perjudicial una vez que supera cierto umbral y la falta o insuficiencia de este elemento metálico, conlleva síntomas clínicos con diversos impactos en la salud (Rodríguez, 2021) y en cantidades superiores a las necesarias, manifiestan ciertos efectos tóxicos incluso en aquellos organismos que requieren determinados niveles (Montané, 2015).

El zinc como nutriente esencial en la salud humana es bien reconocido y ampliamente comprendido (Lopez et al., 2010), es uno de los oligoelementos más comunes en el cuerpo humano, donde desempeña un papel esencial como nutriente vital para la vida, considerado el oligoelemento menos tóxico con un amplio margen de seguridad, pero es imperativo llevar a cabo una evaluación exhaustiva de su potencial tóxico (Rubio et al., 2007), debido a que en la zona de investigación, el personal obrero está en contacto continuo con este metal, ya sea por la utilización indispensable en la construcción de las edificaciones, exponiéndose diariamente, desconociendo los peligros que conllevan, estar expuestos por tiempos prologados y a concentraciones desconocidas, lo que desencadenaría perjuicios a la salud, ya que se demostró que el zinc posee capacidades de acumulación en especies vegetativas acuáticas (Ruiz et al., 2010; Zarazúa et al., 2013).

Según el contexto de la problemática de la investigación y en base a los resultados obtenidos para el primer objetivo específico en referencia al contenido de metales pesados en muestras de aguas residuales, se acepta la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la hipótesis alterna (H_a), donde se menciona la presencia del contenido de metales pesados en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, pero a su vez estos valores reportados en la investigación no superan los valores máximos admisibles (VMA) establecidos en el DS-010-2019-Vivienda, según normatividad peruana actual, para descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de la red de alcantarillado público.

Luego del análisis exhaustivo y las posibles explicaciones de los resultados obtenidos para el primer objetivo específico en referencia al contenido de metales pesados en aguas residuales, se afirma que la presencia del contenido de metales pesados en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, se debe probablemente debido a las diferentes actividades realizadas en la ciudad universitaria, muchos de ellos

relacionados con la ejecución de las diferentes construcciones de edificaciones, actividades propias de prácticas e investigaciones y también debido al deterioro de las instalaciones hídricas con bastante tiempo de uso, pese a la bibliografía consultada, donde menciona que los metales pesados reportados en la investigación se encuentran de manera natural en el ambiente.

Al contrastar los valores del contenidos de metales pesados reportados en la investigación, estos no superan los valores máximos admisibles (VMA) señalados en el DS-010-2019-Vivienda, esto pueda responder a que la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, dejó de estar en funcionamiento por un periodo muy prolongado, debido a la presencia de la pandemia por el COVID-19, suspendiendo todas sus actividades, priorizando la salud mediante el distanciamiento social, reincorporando a sus actividades de manera progresiva y lenta, por todos estos factores, probablemente la presencia del contenido de metales pesados en las aguas residuales generadas en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno (ciudad universitaria), fueron muy inferiores a los esperados, pero es ineludible no evaluar los posibles perjuicios ambientales y de salud que ocasionan en concentraciones no controladas, aspectos no analizados en la investigación.

4.2 Valores de DBO₅ y DQO en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano e interpretación según D.S. N° 010-2019-Vivienda

4.2.1 Valores de DBO₅

Los datos analizados en las cinco zonas de estudio se presentan en la Tabla 10. Los promedios de los valores de DBO₅ de las aguas residuales generadas en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, oscilaron de 7.4 ± 2.7 mg/l en la zona de muestreo ING a 214.0 ± 59.2 mg/l en la zona de muestreo SERV2. Los valores de DBO₅ en las muestras de aguas residuales de las cinco zonas de estudio, no superan los valores máximos admisibles de 500 mg/l establecidos en el DS-010-2019-Vivienda, según normatividad peruana vigente. El análisis de varianza realizado a los valores de DBO₅ en las cinco zonas de estudio presentó diferencia estadística significancia (p -valor <0.0001) y según la realización de la prueba de comparación múltiple de Tukey, el mayor promedio se obtuvo en la zona de muestreo SERV2 (214.0 mg/l), asimismo entre las zonas de muestreo ING y BIO; SOC y SERV1 no presentaron diferencia estadística significativa (Tabla 9, figura y anexo 6).

Tabla 9

Valores de DBO₅ en las cinco zonas de estudio en contraste con los valores máximos admisibles

Parámetro (mg/l)	Zonas de estudio					VMA
	ING	BIO	SOC	SERV1	SERV2	
DBO ₅	7.4 ^a ± 2.7	7.5 ^a ± 1.0	113.7 ^b ± 30.9	106.1 ^b ± 17.2	214.0 ^c ± 59.2	500 mg/l

VMA: Valores máximos admisibles; DE (±): Desviación estándar; DBO₅: Demanda bioquímica de oxígeno; Letras diferentes entre columnas (zonas de estudio) indican diferencias significativas. Tukey ($p < 0.05$) para cada parámetro.

El mayor valor de DBO₅ reportado en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, fue de 214.0 mg/l, superior a lo reportado por Martínez y Mendoza (2021) donde obtuvieron un valor de 192 mg/l, del efluente de las aguas residuales procedentes del CIRA/UNAN-Managua de Nicaragua, así mismo Crombet et al. (2013) mostro un valor menor a los reportados de 112 mg/l, en las aguas residuales generadas por la comunidad estudiantil Antonio Maceo de la Universidad de Oriente en Santiago de Cuba, estos valores reportados en la investigación y mencionados anteriormente, fueron inferiores a lo expuesto por Mera (2018) donde mostro un valor de 343 mg/l, de las aguas residuales de la Universidad Nacional de Cajamarca y algo semejante ocurre con lo demostrado por Granja y Tapia (2013) que evidenciaron un valor de 419 mg/l, del agua residual originado en la cafetería del campus el Girón de la Universidad Politécnica Salesiana de Quito en Ecuador y finalmente Quintanilla y Ccoyori (2019) informaron un valor de 459.39 mg/l, en las aguas residuales provenientes de los diversos laboratorios del área de química de la UTP en Arequipa, todos estos valores reportados en el párrafo descrito presentan similitud con la investigación realizada.

Sin embargo investigaciones desarrolladas por autores como Credidio et al. (2018) reportaron valores más altos de 1102 mg/l, en aguas grises por la Cafetería del Edificio N° 1 de la Universidad Tecnológica de Panamá, de modo idéntico Sánchez (2018) presencio valores de hasta 1224 mg/l, en aguas residuales producidos por la Universidad Técnica Federico Santa María sede Viña del Mar José Miguel Carrera de Chile, estos últimos valores reportados superan los valores máximos admisibles para DBO₅ (500 mg/l) establecidos en el DS-010-2019-Vivienda, según normatividad peruana, finalmente estas variaciones en los resultados de las diferentes investigaciones, por los autores antes

mencionados, pueden estar relacionadas con las actividades propias llevadas a cabo en cada investigación.

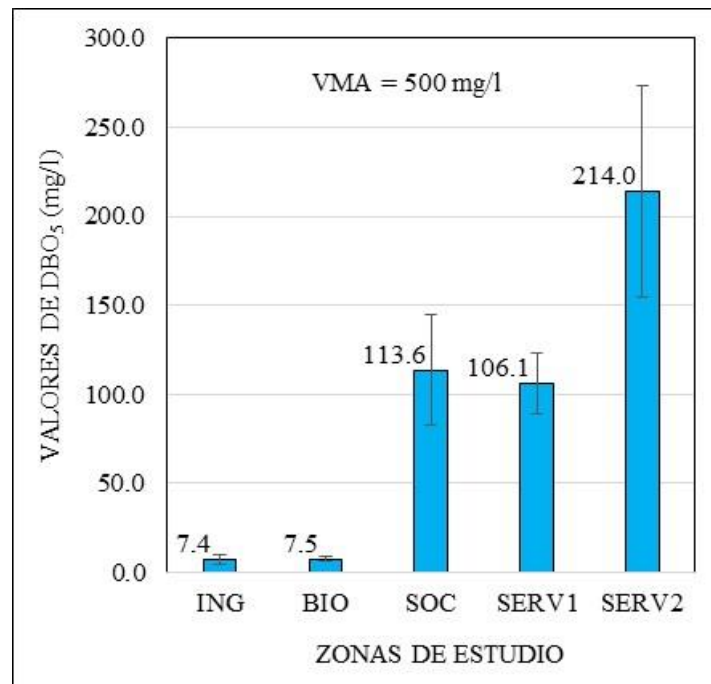


Figura 6. Valores de DBO₅ en las cinco zonas de estudio

Las aguas residuales surgen como consecuencia de las acciones humanas que conllevan la liberación de agua contaminada, dichas aguas pueden albergar una variedad de elementos contaminantes, que abarcan desde material orgánico hasta partículas sólidas en suspensión, nutrientes, metales pesados y microorganismos patógenos, (Rodriguez y Cabra, 2023), un alto contenido de materia orgánica, promueve el crecimiento de microorganismos como bacterias y el oxígeno utilizado en este proceso compite con el oxígeno esencial para la vida acuática, pudiendo tener consecuencias en el ecosistema, incluyendo cambios en la calidad del agua, lo que puede resultar en la pérdida de flora y fauna acuática (Raffo y Ruiz, 2014), en la investigación el mayor valor reportado fue en la zona de muestreo SERV2, esto nos indica que la posible composición de las muestras de agua residual, presentaban concentraciones de sólidos suspendidos, aceites, grasas (Rodriguez et al., 2020) y materia orgánica biodegradable significativamente más elevada, debido probablemente a la presencia del salón de eventos denominado Centro de Convenciones, destinada a las diferentes actividades de proyección social y extensión cultural, así como eventos de gran envergadura a nivel local, nacional e internacional, propios de la Universidad Nacional del Altiplano y la prestación de servicios externos.

La determinación de la demanda bioquímica de oxígeno es un procedimiento fundamental en la evaluación de aguas residuales (Mera, 2018), este análisis nos permite medir la cantidad de oxígeno que los microorganismos, principalmente bacterias consumen, para que descompongan los compuestos orgánicos biodegradables presentes en una muestra de agua (Rodríguez et al., 2020), es un indicador esencial para evaluar el grado de contaminación orgánica en la muestra, en basa en la medición de la reducción de oxígeno disuelto durante un período de cinco días, a medida que los microorganismos llevan a cabo la oxidación de los componentes orgánicos, en condiciones de laboratorio (Sanchez, 2018), entendiendo lo expuesto, la presencia del mayor valor de DBO_5 reportado en la zona de estudio SERV2, se debe probablemente a la mayor cantidad de oxígeno requerido para poder degradar biológicamente la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua residual.

4.2.2 Valores de DQO

Los datos examinados en las cinco zonas de estudio se presentan en la Tabla 11. Los promedios de los valores de DQO de las aguas residuales generadas en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, oscilaron de 19.6 ± 2.4 mg/l en la zona de muestreo BIO y 19.6 ± 7.3 en la zona de muestreo ING a 569.6 ± 159.2 mg/l en la zona de muestreo SERV2. Los valores de DQO en las cinco zonas de estudio de las muestras de aguas residuales, no superan los valores máximos admisibles de 1000 mg/l instaurados en el DS-010-2019-VIVIENDA, según normatividad peruana activa. El análisis de varianza realizado a los valores de DQO en las cinco zonas de estudio presentó diferencia estadística significancia (p -valor <0.0001) y según el desarrollo de la prueba de comparación múltiple de Tukey, el mayor promedio se obtuvo en la zona de estudio SERV2 (214.0 mg/l), además entre las zonas de estudio ING y BIO; SOC y SERV1 no presentaron diferencia estadística significativa (Tabla 10, figura y anexo 7).

Tabla 10

Valores de DQO en las cinco zonas de estudio en contraste con los valores máximos admisibles

Parámetro (mg/l)	Zonas de estudio					VMA
	ING	BIO	SOC	SERV1	SERV2	
DQO	19.6 ^a ± 7.3	19.6 ^a ± 2.4	303.0 ^b ± 82.7	286.4 ^b ± 54.4	569.6 ^c ± 159.2	1000 mg/l

VMA: Valores máximos admisibles; DE (±): Desviación estándar; DQO: Demanda química de oxígeno; Letras diferentes entre columnas (zonas de estudio) indican diferencias significativas. Tukey ($p < 0.05$) para cada parámetro.

El mayor valor de DQO reportado en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, fue de 569.6 mg/l, valor superior a las investigaciones reportadas por autores como Martínez y Mendoza (2021) con un valor de 329.03 mg/l, del efluente procedente de las aguas residuales del CIRA/UNAN-Managua de Nicaragua, y Crombet et al. (2013) con un valor de 360 mg/l, en las aguas residuales generadas por la comunidad estudiantil Antonio Maceo de la Universidad de Oriente en Santiago de Cuba, estos valores presentan similitud con el valor reportado en la investigación.

Por otro lado los valores reportados en la investigación, fueron inferiores a los expuesto por autores como Mera (2018) donde evidencio un valor más alto que fue de 708.67 mg/l, en las aguas residuales procedentes del campus de la Universidad Nacional Autónoma de Chota de Cajamarca, algo semejante ocurre con lo demostrado por Granja y Tapia (2013) que mostraron un valor de 773 mg/l, del agua residual originada en la cafetería del campus el Girón de la Universidad Politécnica Salesiana de Quito en Ecuador, todos los valores antes mencionados, son superiores a los reportados en la investigación.

Sin embargo en investigaciones realizadas por otros autores como Credidio et al. (2018) reportaron valores más elevados como 1224.67 mg/l, en aguas grises producidas por la Cafetería del Edificio N° 1 de la Universidad Tecnológica de Panamá y Quintanilla y Ccoyori (2019) donde informaron un valor de 7998 mg/l, en las aguas residuales provenientes de los diversos laboratorios del área de química de la UTP en Arequipa, estos últimos valores reportados, superan los valores máximos admisibles para DQO (1000 mg/l) establecidos en el DS-01-2019-Vivienda, según la normatividad peruana actual, siendo valores muy superiores a lo reportado en la investigación, finalmente las

diferencias en los hallazgos de los resultados, pueden ser consecuencia de las actividades propias que se desarrollaron en cada investigación.

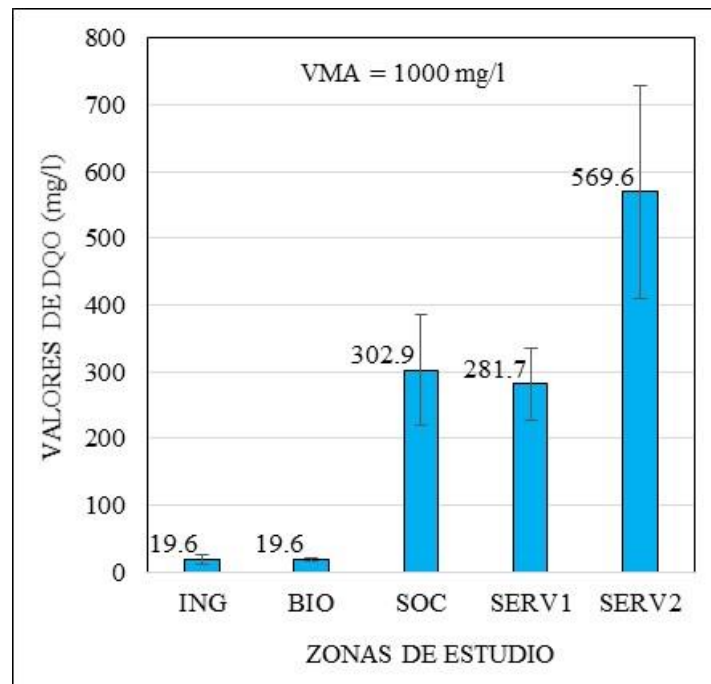


Figura 7. Valores de DQO en las cinco zonas de estudio

La demanda química de oxígeno se emplea extensamente para cuantificar la presencia de sustancias orgánicas (Sanchez, 2018) e inorgánicas de baja degradabilidad en aguas residuales (Credidio et al., 2018), motivo por el cual fue utilizado en la investigación, esta medida se emplea para medir la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación de la materia orgánica susceptible de oxidación mediante un reactivo químico (Rodríguez et al., 2020) como el dicromato de potasio, en condiciones ácidas y a altas temperaturas (Raffo y Ruiz, 2014), en contraste con la DBO₅ (demanda bioquímica de oxígeno durante 5 días), la DQO también abarca sustancias orgánicas que no pueden ser descompuestas por procesos biológicos, por lo tanto, es común que la DQO sea más alta que la DBO₅, ya que considera una gama más amplia de compuestos que pueden oxidarse químicamente, en contraste con los que pueden ser degradados por microorganismos en un proceso biológico (Mera, 2018), según el contexto mencionado, el mayor valor reportado de DQO fue en la zona de muestreo SERV2, se debe probablemente a la presencia significativa de materia orgánica de difícil biodegradación, que propicia el aumento en la cantidad de microorganismos que provoca un incremento en el consumo de oxígeno, lo que a su vez contribuye a procesos de eutrofización de la zona de estudio (Credidio et al., 2018).

La presencia del Centro de Convenciones en la zona de muestreo SERV2, con fines en actividades de proyección social y extensión cultural, así como la realización de eventos de gran importancia a nivel local, nacional e internacional, propios de la Universidad Nacional del Altiplano y la prestación de servicios externos, son factores que hacen que los valores reportados en la zona de estudio sean superiores, pese a no superar los valores máximos admisibles (VMA) según el DS-010-2019-Vivienda, esta situación constituye una señal de alarma sobre la carga contaminante descargada al sistema de alcantarillado público, que es el receptor de las aguas residuales de la ciudad universitaria, debido a la carga orgánica, característico de aguas residuales, provenientes por el tipo de actividades realizadas (Rodríguez et al., 2020), asimismo se puede apreciar, existe una similitud en el comportamiento entre la DQO y la DBO₅, en la zona de muestreo SERV2, ya que la DQO abarca tanto la materia orgánica como inorgánica que son susceptibles de oxidación (Crombet et al., 2013).

De acuerdo con el contexto de la problemática de la investigación y los resultados obtenidos del segundo objetivo específico, en relación a los valores de DBO₅ y DQO en las muestras de aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, se acepta la hipótesis nula (H₀) y se rechaza la hipótesis alterna (H_a), esto implica que se han identificado niveles de demanda bioquímica y química de oxígeno en las aguas residuales estudiadas, sin embargo, es importante destacar que estos valores no superan los valores máximos admisibles (VMA) estipulado en el DS-010-2019-Vivienda, según normatividad peruana actual, para la descarga de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado público.

Después de llevar a cabo un análisis detallado y considerar las posibles explicaciones de los resultados obtenidos en relación con el primer objetivo específico, en lo que respecta a los niveles de DBO₅ y DQO en las muestras de aguas residuales, se sostiene que la presencia significativa de los valores registrados en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, podría estar relacionada con las diversas actividades llevadas a cabo en el Centro de Convenciones, este espacio se destina a actividades de proyección social, extensión cultural y eventos de gran relevancia a nivel local, nacional e internacional, que son característicos de la Universidad Nacional del Altiplano, como resultado, las aguas residuales generadas en la zona de estudio, muestran características distintivas asociadas a las actividades realizadas en estas instalaciones.

La comparación de los valores de DBO₅ y DQO registrados en el estudio indica que no superan los valores máximos admisibles según el DS-010-2019-Vivienda, esto podría estar relacionado con la prolongada suspensión de actividades en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno debido a la pandemia de COVID-19, que priorizó la salud pública y adoptó un enfoque gradual para reanudar sus actividades, es probable que esta pausa haya resultado en los niveles inferiores de la demanda bioquímica y química de oxígeno en las aguas residuales de la ciudad universitaria, específicamente en la zona de estudio SERV2, sin embargo, se requiere una evaluación más amplia para determinar si esta situación ha evitado niveles altos de contaminantes y posibles impactos ambientales y de salud que podrían haber surgido, un aspecto que no se abordó en la investigación.

4.3 Índices de biodegradabilidad de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano, en función de los valores de DBO₅ y DQO

Los datos evaluados en las cinco zonas de estudio se presentan en la Tabla 12. Los promedios de los índices de biodegradabilidad de las aguas residuales generadas en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, fue de 0.4 ± 0.0 mg/l en las zonas de muestreo ING, BIO, SOC, SERV1 y SERV2. Los valores de los índices de biodegradabilidad en las muestras de aguas residuales no aplica a los valores máximos admisibles establecidos en el DS-010-2019-Vivienda, según normatividad peruana. El análisis de varianza realizado a los índices de biodegradabilidad en las cinco zonas de estudio no presentó diferencia estadística significativa (p -valor <0.2428) y según la ejecución de la prueba de comparación múltiple de Tukey, todos los promedios no presentaron diferencia estadística significativa, siendo iguales estadísticamente (Tabla 11, figura y anexo 8).

Tabla 11

Índices de biodegradabilidad en las cinco zonas de estudio de las aguas residuales generadas en la ciudad universitaria

Parámetro	Zonas de estudio					VMA
	ING	BIO	SOC	SERV1	SERV2	
DBO ₅ /DQO	0.4 ^a ± 0.0	0.4 ^a ± 0.0	0.4 ^a ± 0.0	0.4 ^a ± 0.0	0.4 ^a ± 0.0	No aplica

VMA: Valores máximos admisibles; DE (±): Desviación estándar; DBO₅/DQO: Índice de biodegradabilidad; Letras diferentes entre columnas (zonas de estudio) indican diferencias significativas. Tukey ($p < 0.05$) para cada parámetro.

El índice de biodegradabilidad reportado en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, fue de 0.4 superior a lo reportado por Crombet et al. (2013) con un valor de 0.3 en las aguas residuales de la comunidad estudiantil Antonio Maceo de la Universidad de Oriente en Santiago de Cuba, pero investigaciones realizadas por otros autores como Mera (2018), en las aguas residuales generadas en el campus de la Universidad Nacional Autónoma de Chota de Cajamarca, evidencio un índice de biodegradabilidad más alto que fue de 0.7 y algo semejante ocurre con lo demostrado por Credidio et al. (2018) que reportaron un valor más elevado de 0.92 en aguas grises generadas en la Cafetería del Edificio N° 1 de la Universidad Tecnológica de Panamá, según los últimos valores mencionados, son considerados aguas residuales altamente biodegradables, en contraste al valor reportado en la investigación, las discrepancias en los resultados pueden ser producto de las distintas actividades específicas que se llevaron a cabo en cada investigación y por otro lado, este valor reportado en la investigación, no es aplicable según el DS-010-2019-VIVIENDA, como normatividad peruana actual vigente.

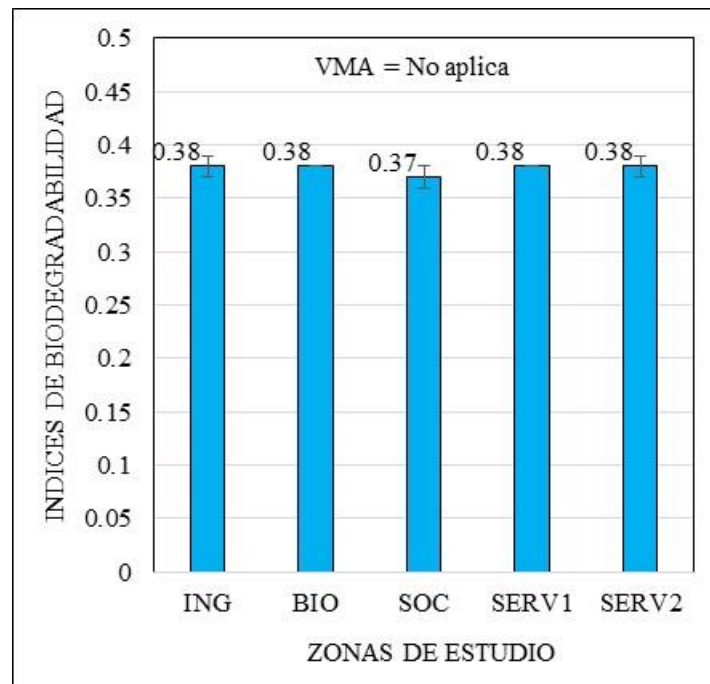


Figura 8. Índices de biodegradabilidad en las cinco zonas de estudio

La relación entre la demanda bioquímica de oxígeno en 5 días (DBO_5) y la demanda química de oxígeno (DQO) es un indicador crucial para evaluar la influencia de los vertidos en aguas residuales y su potencial de biodegradación (Raffo y Ruiz, 2014), criterio de mucha importancia utilizado en la investigación, no obstante, es esencial destacar que la biodegradabilidad de las aguas residuales no es una característica intrínseca, sino que depende en gran medida de diversos factores, como la comunidad microbiana presente, los compuestos en el agua residual, las enzimas implicadas en la biodegradación y los productos resultantes, todos los cuales están influenciados por la naturaleza del sustrato (Osorio y Peña, 2002).

La correlación entre los valores de la biodegradabilidad y las aguas residuales desempeña un papel esencial en la gestión ambiental y la calidad del agua, en un gran número de casos los componentes presentes en el agua, ya sea disuelta, en suspensión o en forma coloidal, consisten en materia orgánica que posee la propiedad inherente de ser biodegradable (Osorio y Peña, 2002), estas características son concordantes con las aguas residuales evaluadas en la investigación, ya que permiten que las aguas residuales puedan ser efectivamente tratadas mediante la acción de microorganismos (Vázquez y Beltrán, 2004) porque utilizan estos compuestos como fuente de alimento y energía para llevar a cabo su metabolismo y reproducción (Molina, 2015).

Dentro del contexto de la investigación y en función de los resultados obtenidos para el tercer objetivo específico, en relación a los índices de biodegradabilidad en muestras de aguas residuales, se acepta la hipótesis alternativa (H_a) y se rechaza la hipótesis nula (H_0), donde los hallazgos en la investigación indican la presencia de índices de biodegradabilidad que varían de moderados a altos en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, sin embargo es importante destacar que estos valores reportados en el estudio no es de aplicación para los valores máximos admisibles (VMA) establecidos por el DS-010-2019-VIVIENDA, según normatividad peruana, para descargas de aguas residuales en el sistema de alcantarillado público.

El índice de biodegradabilidad reportado en las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, indica que las aguas residuales generadas en la ciudad universitaria exhiben un nivel medio de biodegradabilidad, a la luz de los resultados obtenidos y en concordancia con la literatura consultada, se plantea la sugerencia de implementar una combinación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, que abarque enfoques físicos, biológicos y químicos, esta propuesta se fundamenta en la necesidad de abordar de manera efectiva la gestión de las aguas residuales en el entorno universitario, con miras a preservar la calidad ambiental y promover prácticas sostenibles.



CONCLUSIONES

El mayor contenido de metales pesados, de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, fueron; aluminio 4.27 mg/l; cobre 0,0612 mg/l; manganeso 0,48 mg/l y zinc 0,36 mg/l, los valores reportados no superan los valores máximos admisibles (VMA) establecidos en el DS-010-2019-Vivienda, según normatividad peruana actual vigente.

La demanda bioquímica y química de oxígeno de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, fueron para DBO₅ 214.0 mg/l y DQO 569.6 mg/l, estos valores reportados no superan los valores máximos admisibles (VMA) establecidos en el DS-010-2019-Vivienda, según la normatividad peruana.

El índice de biodegradabilidad de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, fue 0,4 interpretado como medianamente biodegradable.



RECOMENDACIONES

La Universidad Nacional del Altiplano de Puno, lleve a cabo evaluaciones semestrales y anuales de las aguas residuales generadas en la ciudad universitaria, empleando para ello sus laboratorios, equipos y profesionales capacitados para realizar análisis exhaustivos, esto se debe a que los resultados de esta investigación pueden variar dependiendo de las actividades humanas realizadas en un momento y lugar específico, todo esto con el objetivo de gestionar de manera correcta los recursos hídricos, el cuidado del ambiente y la seguridad de la salud pública.

Elaborar manuales y protocolos que establezcan pautas detalladas para la gestión adecuada de aguas residuales generadas en la ciudad universitaria, además de crear un diseño integral para la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, con el objetivo primordial de salvaguardar tanto el entorno ambiental como la salud pública.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, S., Piraneque, N., y Linero, J. (2021). Concentración de metales pesados y calidad físico-química del agua de la Ciénaga Grande de Santa Marta. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(1), 1–10.
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1313>
- Ahmed, A., Sultana, S., Habib, A., Ullah, H., Musa, N., Hossain, M., Rahman, M., y Sarker, S. (2019). Bioaccumulation of heavy metals in some commercially important fishes from a tropical river estuary suggests higher potential health risk in children than adults. *PLOS ONE*, 14(10).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219336>
- Alarcón, A., Petroche, D., y Holguín, V. (2023). Intoxicación ocupacional por cloruro de aluminio. *Recimundo*, 7(2), 228–237.
[https://doi.org/10.26820/recimundo/7.\(2\).jun.2023.228-237](https://doi.org/10.26820/recimundo/7.(2).jun.2023.228-237)
- Alvarado, J., Aguirre-Padilla, N., y Ponce, P. (2024). Análisis de COVID-19 y ahorro de agua potable: una perspectiva multifactorial. *Revista Económica.*, 12(1), 33–44.
<https://doi.org/10.54753/rve.v12i1.1908>
- Baguma, D., Hashim, J., Aljunid, S., y Loiskandl, W. (2013). Safe-water shortages, gender perspectives, and related challenges in developing countries: The case of Uganda. *Science of The Total Environment*, 442, 96–102.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.004>
- Becerra, L., Horna, M., y Barrionuevo, K. (2014). Nivel de contaminación en los efluentes provenientes de camales de la región la libertad. *Revista Cuerpo Méd. HNAAA*, 7(3), 23–26. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1052078>
- Biasi, A., Messina, G., y Gómez, N. (2021). Determinación de Zinc en muestras de agua de ríos y red de la provincia de San Luis y aguas envasadas. *Diaeta*, 39(173), 38–48. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1852-73372020000400038&script=sci_abstract
- Cáceres, V. (2024). La regulación jurídica de la calidad del agua en la provincia de

- Buenos Aires, Argentina: tensiones y variedad de criterios. *Tecnología y Ciencias Del Agua.*, 15(1), 275–324. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-15-01-07>
- Calero, V. (2023). *Paper review: Contaminación de metales pesados en el Ecuador, un análisis químico, ambiental, toxicológico, normativo y analítico.* Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26409>
- Callata, F. (2015). *Monitoreo y evaluación del cuerpo de agua de la bahía interior de Puno-Lago Titicaca.* Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/2299>
- Camacho, A. (2018). *Reducción de concentración de cadmio (Cd) y cobre (Cu), en sistema hidropónico utilizando frijol (Phaseolus vulgaris) y girasol (Helianthus annuus).* Tecnológico nacional de Mexico. [http://51.143.95.221/bitstream/TecNM/5648/1/Aida Victoria Camacho Anlehu JUNIO 2019 ambiental.pdf](http://51.143.95.221/bitstream/TecNM/5648/1/Aida%20Victoria%20Camacho%20Anlehu%20JUNIO%202019%20ambiental.pdf)
- Camargo, A., y Camacho, J. (2018). Convivir con el agua. *Revista Colombiana de Antropología*, 55(1), 07–25. <https://doi.org/10.22380/2539472X.567>
- Capacoila, J. (2017). *Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas superficiales del río Coata.* Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/6639>
- Cardeña, K. (2021). *Evaluación de los residuos sólidos y aguas residuales de los centros de salud de primer nivel de atención de la ciudad de Cusco.* Universidad Nacional del Altiplano. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Carpio, B. (2016). *Contaminación por metales pesados en macrofitas de los principales ríos tributarios del Lago Titicaca.* Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/6241>
- Casierra, F., y Aguilar, O. (2018). Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(2), 246–257.

<https://doi.org/10.17584/rcch.2007v1i2.8701>

- Castañeda, A., y Flores, H. (2013). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México. *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad.*, 3(5).
<https://www.redalyc.org/pdf/4990/499051554003.pdf>
- Castaño, J., Botero, C., y Peñaranda, S. (2007). Corrosión atmosférica del zinc en ambientes exteriores e interiores. *Revista de Metalurgia*, 43(2), 133–145.
<https://doi.org/10.3989/revmetalm.2007.v43.i2.60>
- Cerón, L., Sarria, J., Torres, J., y Soto, J. (2021). Agua subterránea: tendencias y desarrollo científico. *Revista Información Tecnológica*, 32(1), 47–56.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000100047>
- Contreras, J., Mendoza, C., y Arismendis, G. (2004). Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del Río Haina. *Revista Ciencia y Sociedad*, 29(1), 38–71.
<https://www.redalyc.org/pdf/870/87029103.pdf>
- Credidio, A., De Gracia, D., Garcia, E., Villarael, D., y Vallester, E. (2018). Análisis de la descarga de aguas grises por la Cafetería del Edificio N° 1 de la Universidad Tecnológica de Panamá. *Revista de Iniciación Científica*, 4(1), 14–18.
<https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.1.1861>
- Crombet, S., Perez, N., Ábalos, A., y Rodríguez, S. (2013). Caracterización de las aguas residuales de la comunidad Antonio Maceo de la Universidad de Oriente. *Revista Cubana de Química.*, 25(2), 134–142.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543735003>
- Cuenca, M., Espinoza, Y., Mayorga, M., y Calle, J. (2019). Residual mining waters in the safety of the orange cultivated to surroundings of the yellow river. *Revista Mkt DESCUBRE*, 1(14), 31–41. <https://doi.org/10.36779/mktdescubre.v14.340>
- Delince, W., Valdés, R., López, O., Guridi, F., y Balbín, M. (2015). Riesgo agroambiental por metales pesados en suelos con Cultivares de *Oryza sativa* L y *Solanum tuberosum* L. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(1), 44–50.
<http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v24n1/rcta06115.pdf>

- Díaz, T. (2023). El antecedente de la huella hídrica: indicador estratégico para la gestión de los recursos hídricos en Panamá. *Plus Economía.*, 11(2), 90–113.
<http://jadimike.unachi.ac.pa/handle/123456789/1040>
- Escobar, J. (2007). *Efecto citogenético in vitro del cloruro de cobre sobre linfocitos humanos*. Universidad Autonoma de Querétaro. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/8361>
- Feoktistiva, L., y Clark, Y. (2018). El metabolismo del cobre. Sus consecuencias para la salud humana. *MediSur*, 16(4), 579–587. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=83549>
- Galvao, L., & Corey, G. (1987). *Manganeso*. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud.
https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55644/manganeso_spa.pdf?s
- Granja, M., y Tapia, S. (2013). *Evaluación, caracterización Y propuesta de tratamiento del agua residual proveniente de la cafetería del campus el Girón de la Universidad Politécnica Salesiana*. Universidad Politécnica Salesiana.
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7085>
- Guadarrama, R., Kiko, J., Roldan, G., y Salas, M. (2016). Contaminación de agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5), 1–10.
https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol2num5/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V2_N5_1.pdf
- Guillen, J., Jaramillo, A., Baquerizo, R., y Córdova, R. (2021). Estudio de los procesos de remoción de hierro y manganeso en aguas subterráneas: una revisión. *Polo Del Conocimiento*, 6(9), 1384–1407. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i9.3118>
- Guzmán, A., Orestes, C., y Valdés, R. (2019). Efectos de la contaminación por metales pesados en un suelo con uso agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(1), 1–9. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v28n1/2071-0054-rcta-28-01-e04.pdf>
- Hernandez, A. (2015). *Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales* (Segunda ed). Ibergarceta Publicaciones, S.L.

- Huaquisto, S., y Chambilla, I. (2019). Analisis del consumo de agua potable en el Centro Poblado de Salcedo, Puno. *Investigacion y Desarrollo*, 19(1), 133–144. <https://doi.org/10.23881/idupbo.019.1-9i>
- Larios, F., Gonzales, C., y Morales, Y. (2015). Aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Revista de La Facultad de Ingeniería de La USIL.*, 2(2), 9–25. <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>
- Lazcano, C. (2014). *Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales*. (Primera ed). Fondo editorial de la UNMSM.
- Lizcano, M. (2023). Remoción de aluminio y plata usando de Lemna minor. *Revista Pensamiento Actual*, 23(40), 27–38. <https://doi.org/10.15517/PA.V23I40.55177>
- Londoño, L., Londoño, P., y Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145–153. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- López, C., Buitron, G., García, H., y Cervantes, F. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño*. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780409146>
- Lopez, D., Castillo, C., y Diazgranados, D. (2010). El zinc en la salud humana-II. *Revista Chilena de Nutrición*, 37(2), 240–247. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182010000200014>
- Machacca, R. (2022). *Evaluación de la concentración de metales pesados en los efluentes líquidos residuales en la bahía interior del lago Titicaca de la ciudad de Puno*. Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/17947>
- Mamani, C. (2018). *Evaluación de carga contaminante generado por el vertimiento de aguas residuales de la Municipalidad Provincial de Yunguyo*. Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/8777>
- Mamani, M. (2019). *Parámetros fisicoquímicos, metales pesados (as y pb), bacteriológicos y alternativas de saneamiento ambiental de fuentes de agua de la comunidad Suches, distrito Caracoto, provincia San Román, región Puno, 2018*.

- Universidad Nacional del Altiplano.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/12418>
- Mancilla, O., Ortega, H., Ramirez, C., Uscanga, E., Ramos, R., & Reyes, A. (2012). Metales pesados totales y Arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 28(1), 39–48.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28n1/v28n1a4.pdf>
- Martínez, E. (2023). *El aluminio como elemento arquitectonico en la construcción*. Instituto Politecnico Nacional. <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/31804>
- Martinez, F., y Mendoza, F. (2021). Estimación de biodegradabilidad del efluente de las aguas residuales del CIRA/UNAN-Managua según ISO 10707 y OECD 301D. *Revista Científica de FAREM-Esteli, Medio Ambiente, Tecnología y Desarrollo Humano.*, 37(1), 17–34. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i37.11210>
- Mendoza, A. (2020). *Remoción de la demanda química de oxígeno del agua residual del procesamiento del café mediante bioadsorbentes derivados de residuos agrícolas*. Universidad Científica del Sur.
<https://hdl.handle.net/20.500.12805/1071>
- Mera, Y. (2018). *Caracterización fisicoquímica y microbiológica (Coliformes totales y Fecales) de las aguas residuales generadas en el campus de la Universidad Nacional Autónoma de Chota*. <http://repositorio.unach.edu.pe/handle/UNACH/69>
- Miller, J., Workman, C., Panchang, S., Sneegas, G., Adams, E., Young, S., y Thompson, A. (2021). Water Security and Nutrition: Current Knowledge and Research Opportunities. *Advances in Nutrition.*, 12(6), 2525–2539.
<https://doi.org/10.1093/advances/nmab075>
- Molina, L. (2015). *Analisis de calidad del agua en el sector urbano del malecon de Manta, provincia de Manabi*. [Universidad de Especialidades Espíritu Santo].
[http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/2178/1/FINAL .pdf](http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/2178/1/FINAL.pdf)
- Montane, R. (2015). *Ecologia y conservacion ambiental*. (segunda ed). Editorial Trillas, S.A. de C.V.
- Mosqueira, A. (2015). *Evaluación crítica del manejo de sustancias tóxicas inorgánicas*

- orgánicas y el grado de contaminación de las aguas residuales de la U.N.C. [Universidad Nacional de Cajamarca].
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1548>
- Nazer, A., Pavez, O., Rojas, F., y Aguilar, C. (2010). Una revisión de los usos de las escorias de cobre. *Iberomet XI.X Conamet/Sam*, 2 al 5 de(1), 5.
<https://doi.org/10.13140/2.1.3740.0328>
- Nesse, A., Garbossa, G., Perez, G., Vittori, D., & Pregi, N. (2003). Aluminio: ¿culpable o inocente? *Química Viva*, 2(1), 9–16.
<https://www.redalyc.org/pdf/863/86320103.pdf>
- Nieto, J. (2017). *Caracterización física química y biológica de las aguas residuales de la ciudad universitaria Jorge Basadre Grohmann de Tacna*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/1566>
- Obeso, A., y Vejarano, R. (2020). Cultivo de geranio: uso potencial para remover arsénico (As), cadmio (Cd) y cobre (Cu) de suelos contaminados. *Proceedings of the 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration, And Alliances for A Sustainable Development* “Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on A Knowledge-Bas, July 2020, 27–31.
<https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.144>
- Ordoñez, C., Gonzales, C., y Gonzales, G. (2023). *Manganeso , otro contaminante en el aire que afecta el rendimiento escolar en el Perú*. 36(2), 115–118.
<http://www.revistamedicinainterna.net/index.php/spmi/article/view/748>
- Orroño, D. (2002). Acumulación de metales (cadmio, zinc, cobre, cromo, níquel y plomo) en especies del género *Pelargonium*: suministro desde el suelo, ubicación en la planta y toxicidad. Universidad de Buenos Aires. In *Universidad de Buenos Aires*.
<http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/doctorado/2011orronodanielaines.pdf>
- Osorio, F., Torres, J., y Sanchez, M. (2010). *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes*. (Primera ed). Ediciones días Díaz de santos.

- Osorio, P., y Peña, D. (2002). *Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región*. 18. <https://docplayer.es/20765727-Determinacion-de-la-relaciondqo-dbo-5-en-aguas-residuales-de-comunas-con-poblacion-menora-25-000-habitantes-en-la-viii-region.html>
- Pabon, S., Benitez, R., Sarria, R., y Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Revista Entre Ciencia e Ingeniería.*, 14(27), 9–18.
<https://doi.org/https://doi.org/10.31908/19098367.1734>
- Paudel, S., Kumar, P., Dasgupta, R., Johnson, B., Avtar, R., Shaw, R., Mishra, B., y Kanbara, S. (2021). Nexus between water security framework and public health: A comprehensive scientific review. *Water (Switzerland).*, 13(10), 1–15.
<https://doi.org/10.3390/w13101365>
- Picado, R. (2021). *Limpieza de tuberías de acueductos con depósitos de hierro y manganeso*. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
<http://dspaceaya.igniteonline.la/handle/aya/519>
- Pliego, E., y Guadarrama, G. (2019). Gobernanza y derecho al agua: Prácticas comunes y particularidades de los comités comunitarios de agua potable. *Sociedad y Ambiente*, 7(20), 53–77. <https://doi.org/10.31840/sya.v0i20.1992>
- Prado, V., Vidal, R., y Durán, C. (2012). Aplicación de la capacidad bactericida del cobre en la práctica médica. *Revista Médica de Chile*, 140(10), 1325–1332.
<https://doi.org/10.4067/S0034-98872012001000014>
- Puma, G., y Taype, E. (2017). *Responsabilidad jurídica del estado y de la comunidad, frente a la contaminación de la bahía interior del lago Titicaca en la ciudad de Puno*. Universidad Nacional del Altiplano.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4089>
- Quiñones, Y. (2023). El sistema de saneamiento convencional y la escasez global de agua. Uso irracional de los recursos versus sistemas secos y circulares. *Revista Iberoamericana de Ciencia Tecnología y Sociedad.*, 18(52), 173–194.
<https://doi.org/10.52712/issn.1850-0013-403>

- Quintanilla, S., y Ccoyori, L. (2019). *Caracterización de las aguas residuales de los laboratorios de Química de la UTP - Arequipa 2019*. Universidad Tecnológica del Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/2609>
- Quispe, D. (2022). *Contaminación por Coliformes y características fisicoquímicas de la laguna confinada del malecón turístico - bahía interior de Puno*. Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18016>
- Raffo, E., y Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de Investigación Industrial Data.*, 17(1), 71–80. <https://doi.org/10.1021/ja00334a047>
- Ramirez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Revista Anales de La Facultad de Medicina*, 63(1), 51–64. <https://doi.org/10.15381/anales.v63i1.1477>
- Ramirez, L., Duran, M., García, J., Montuy, R., y Oaxaca, M. (2008). *Demanda química de oxígeno de muestras acuosas*. (Tercera ed, Vol. 1). UNAM, Facultad de Química, PIQAAYQA. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- Ramirez, R., y Azcona, M. (2017). Efectos tóxicos del manganeso. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 22(2), 71–75. https://remq-issste.com/files/remq_2017_22_2_071-075.pdf
- Redin, H. del C., Pacheco-Vega, R., y García de Loera, A. (2023). Conflictos por agua de baja intensidad: Un caso de estudio en Aguascalientes (México). *Perfiles Latinoamericanos.*, 32(63), 1–28. <https://doi.org/10.18504/pl3263-004-2024>
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Diaz, M., y Gonzales, E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66–77. <https://doi.org/10.1007/BF02796157>
- Rivera, Y., Moreno, L., Herrera, M., y Romero, H. (2016). La toxicidad por aluminio (Al³⁺) como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la planta de aceite. *Palmas*, 37(1), 11–23.

- <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11696>
- Rodríguez, C., y Cabra, L. (2023). *Punto de inflexión en los valores mínimos de DBO soluble que se pueden tratar*. 1(9), 0–9. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8387488>
- Rodríguez, D. (2021). Metales pesados y salud. *Correo Científico Médico*, 25(4), 1–20. <https://revcocmed.sld.cu/index.php/cocmed/rt/printerFriendly/3702/2026>
- Rodríguez, D., Calzado, O., Noguera, A., Córdova, V., y Arias, T. (2020). Evaluación de la calidad de las aguas residuales de la Empresa Procesadora de Soya de Santiago de Cuba. *Revista Tecnología Química.*, 40(3), 598–610. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852020000300598
- Rodríguez, N., McLaughlin, M., y Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: Una realidad oculta. In *Organizacion de las Naciones Unidas para la alimentacion y la agricultura FAO*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26409>
- Romero, J. (1999). *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización*. (Tercera ed). Alfaomega.
- Romero, K. (2009). Contaminación por metales pesados. *Revista Científica Ciencia Medica*, 12(1), 45–46. <https://doi.org/10.1201/b16566-4>
- Romero, T., Rodríguez, H., y Maso, A. (2016). Caracterización de las aguas residuales generadas en una Industria Textil Cubana. *Revista Ingeniera Hidraulica y Ambiental*, 37(3), 46–58. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v37n3/riha04316.pdf>
- Rossel, L., Rossel, L., Zapana, R., Ferro, F., y Ferro, A. (2020). Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 22(1), 68–77. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.537>
- Rubio, A., Chica, E., y Peñuela, G. (2013). Wastewater treatment processes for the removal of emerging organic pollutants. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 8(3), 173–194. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1176>
- Rubio, C., González, D., Martín, R., Revert, C., Rodríguez, I., y Hardisson, A. (2007). El zinc: oligoelemento esencial. *Nutricion Hospitalaria*, 22(2), 101–107.

https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112007000100012

- Ruiz, V., González, M., Barrera, J., Moeller, G., Ramírez, E., y Durán, M. (2010). Remoción de Cd y Zn de una corriente acuosa de una empresa minera usando humedales artificiales. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 25(1), 27–34. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48215094004>
- Samboni, N., Carvajal, Y., y Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172–181. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v27n3.14858>
- Sanchez, R., y Garcia, K. (2018). Tratamiento de aguas residuales con cargas industriales con oxidación avanzada en sistemas convencionales. *La Granja*, 27(1), 103–111. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.08>
- Sanchez, V. (2018). *Caracterización de aguas residuales en la Universidad Técnica Federico Santa María sede Viña del Mar Jose Miguel Carrera*. Universidad Técnica Federico Santa María. <https://hdl.handle.net/11673/47869>
- Santiago, L. (2023). La Gobernanza del agua y los conflictos en América Latina. *InterNaciones.*, 24, 97–120. <https://doi.org/10.32870/in.vi24.7242>
- Schiaffini, R., Soto, M., Valera, M., y Linares, G. (2023). Del estrés a la escasez hídrica: su impacto en la paz y el desarrollo global. *Revista Latinoamericana de Derechos Humanos.*, 35(1), 1–26. <https://doi.org/10.15359/rldh.35-1.7>
- Silva, J. (2004). *Evaluación y rediseño del sistema de lagunas de estabilización de la Universidad de Piura*. Universidad de Piura. <https://pirhua.udep.edu.pe/items/80362bd5-3f28-4a3b-8bd8-7be696aa0931>
- Suay, L., y Ballester, F. (2002). Revisión de los estudios sobre exposición al aluminio y enfermedad de Alzheimer. *Revista Española de Salud Pública.*, 76(6), 645–658. <https://doi.org/10.1590/S1135-57272002000600002>
- Torrellas, R. (2012). La exposición al aluminio y su relación con el ambiente y la salud. Exposure to aluminum and its relationship between environment and health. *Revista Tecnogestión.*, 9(1), 3–11.

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/5646>

Vázquez, G., y Beltrán, R. (2004). Pruebas normalizadas para la evaluación de la biodegradabilidad de sustancias químicas. Una revisión. *Revista Interciencia*, 29(10), 568–573. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442004001000005

Villena, J. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 304. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>

WWAP. (2017). Aguas residuales el recurso desaprovechado. In *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017*. https://doi.org/www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en%0Ahttps://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2015/Documento_Tecnico-Gestion_de_Agua_y_Alcantarillado_2015.pdf%0Ahttps://saludurbanaorg.files.wordpress.com/2017/04/

Young, S. (2021). Viewpoint: The measurement of water access and use is key for more effective food and nutrition policy. *Food Policy*, 104, 102138. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2021.102138>

Young, S., Frongillo, E., Jamaluddine, Z., Melgar, H., Pérez, R., Ringler, C., y Rosinger, A. (2021). Perspective: The Importance of Water Security for Ensuring Food Security, Good Nutrition, and Well-being. *Advances in Nutrition.*, 12(4), 1058–1073. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab003>

Zarazúa, G., Ávila, P., Tejeda, S., Valdivia, M., Zepeda, C., y Macedo, G. (2013). Evaluación de los metales pesados Cr, Mn, Fe, Cu, Zn y Pb en sombrerillo de agua (*Hydrocotyle ranunculoides*) del curso alto del río Lerma, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(2), 17–24. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/36519>

ANEXOS

Anexo 1. Data total de parámetros analizados en la investigación

Zonas de estudio	Repeticiones	Contenido de metales pesados				Materias oxidables		Indices de biodegradabilidad
		Aluminio	Cobre	Manganeso	Zinc	DBO ₅	DQO	DBO ₅ /DQO
ING	1	0,181	0,0023	0,46864	0,0517	4,7	12,3	0,38
	2	0,175	0,0012	0,50038	0,0499	7,3	19,6	0,37
	3	0,189	0,0004	0,47539	0,0393	10,1	26,8	0,38
BIO	1	0,169	0,0002	0,30082	0,0438	8,5	22,0	0,38
	2	0,151	0,0002	0,31070	0,0293	7,4	19,6	0,38
	3	0,172	0,0002	0,33850	0,0335	6,5	17,2	0,38
SOC	1	0,249	0,0002	0,03991	0,0454	95,6	255,2	0,37
	2	1,349	0,0129	0,13119	0,0906	149,3	398,5	0,37
	3	0,411	0,0015	0,05776	0,0397	96,1	255,2	0,38
SERV1	1	0,332	0,0053	0,04201	0,0595	125,7	334,8	0,38
	2	0,202	0,0022	0,02233	0,0341	98,6	261,6	0,38
	3	0,221	0,0036	0,02596	0,0481	93,9	248,8	0,38
SERV2	1	5,212	0,0796	0,51385	0,4495	173,9	462,2	0,38
	2	3,434	0,0414	0,36518	0,2519	282,0	752,5	0,37
	3	4,156	0,0626	0,29692	0,3861	186,0	494,1	0,38

Anexo 2. Análisis de varianza y prueba de Tukey para el contenido de aluminio en muestras de aguas residuales de la UNA - Puno (ciudad universitaria)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Aluminio	15	0,94	0,92	43,47

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

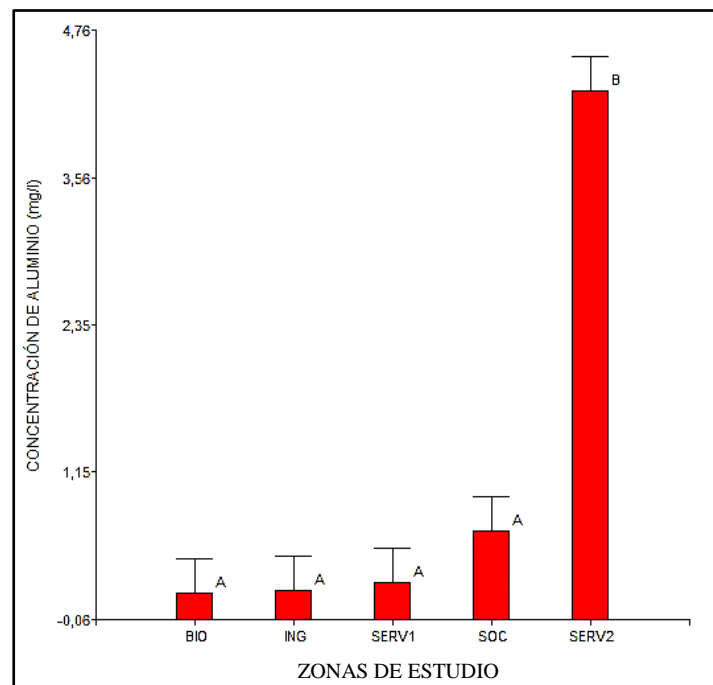
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	37,97	4	9,49	41,01	<0,0001
ZONAS_ESTUDIO	37,97	4	9,49	41,01	<0,0001
Error	2,31	10	0,23		
Total	40,28	14			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,29286

Error: 0,2315 gl: 10

ZONAS ESTUDIO	Medias	n	E.E.	
BIO	0,16	3	0,28	A
ING	0,18	3	0,28	A
SERV1	0,25	3	0,28	A
SOC	0,67	3	0,28	A
SERV2	4,27	3	0,28	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)



Anexo 3. Análisis de varianza y prueba de Tukey para el contenido de cobre en muestras de aguas residuales de la UNA - Puno (ciudad universitaria)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cobre	15	0,91	0,87	64,18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

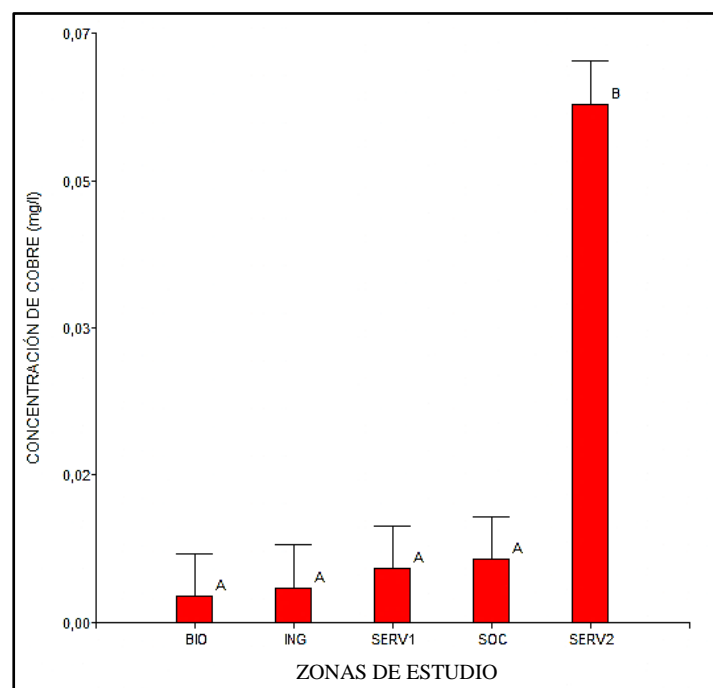
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	4	2,1E-03	24,81	<0,0001
ZONAS_ESTUDIO	0,01	4	2,1E-03	24,81	<0,0001
Error	8,4E-04	10	8,4E-05		
Total	0,01	14			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,02458

Error: 0,0001 gl: 10

ZONAS ESTUDIO	Medias	n	E.E.	
BIO	2,0E-04	3	0,01	A
ING	1,3E-03	3	0,01	A
SERV1	3,7E-03	3	0,01	A
SOC	4,9E-03	3	0,01	A
SERV2	0,06	3	0,01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)



Anexo 4. Análisis de varianza y prueba de Tukey para el contenido de manganeso en muestras de aguas residuales de la UNA - Puno (ciudad universitaria)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Manganeso	15	0,94	0,91	21,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

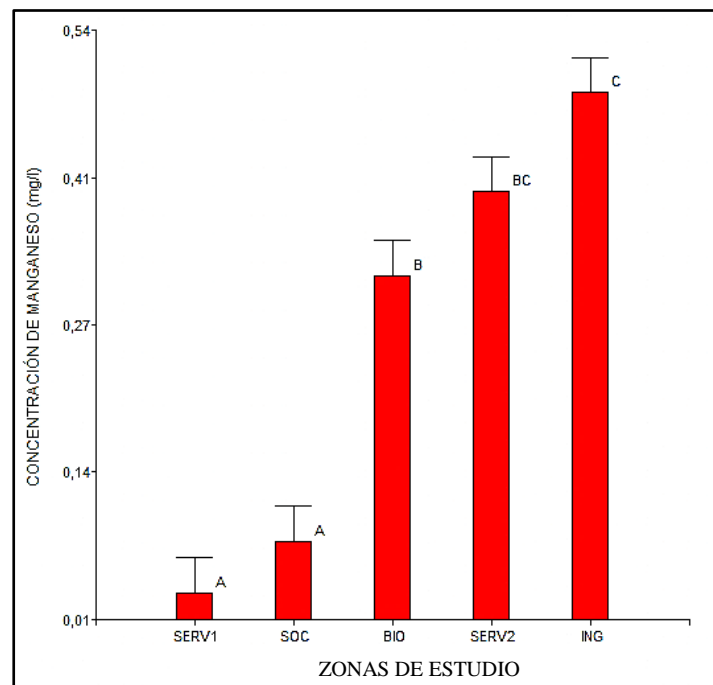
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,47	4	0,12	38,02	<0,0001
ZONAS_ESTUDIO	0,47	4	0,12	38,02	<0,0001
Error	0,03	10	3,1E-03		
Total	0,50	14			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,14920

Error: 0,0031 gl: 10

ZONAS_ESTUDIO	Medias	n	E.E.		
SERV1	0,03	3	0,03	A	
SOC	0,08	3	0,03	A	
BIO	0,32	3	0,03	B	
SERV2	0,39	3	0,03	B	C
ING	0,48	3	0,03		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)



Anexo 5. Análisis de varianza y prueba de Tukey para el contenido de zinc en muestras de aguas residuales de la UNA - Puno (ciudad universitaria)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Zinc	15	0,91	0,88	43,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

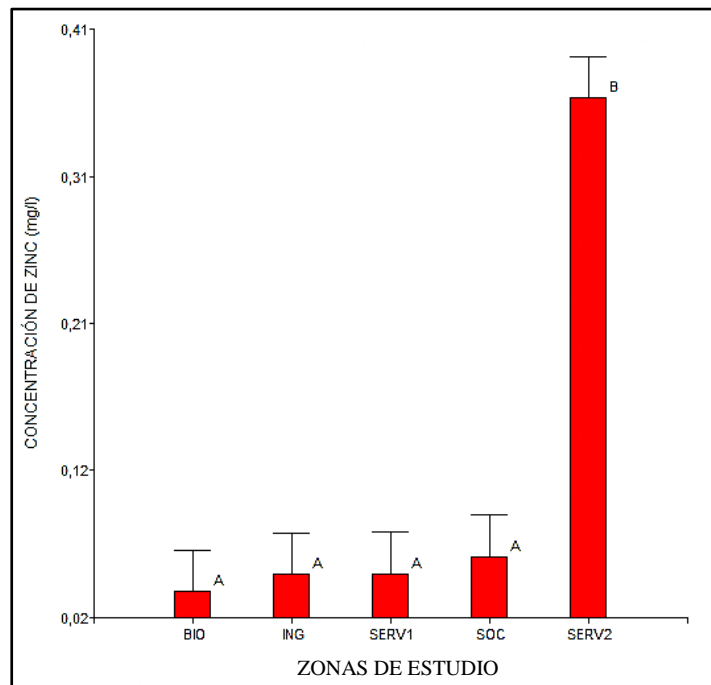
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,24	4	0,06	26,69	<0,0001
ZONAS_ESTUDIO	0,24	4	0,06	26,69	<0,0001
Error	0,02	10	2,2E-03		
Total	0,26	14			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,12729

Error: 0,0022 gl: 10

ZONAS ESTUDIO	Medias	n	E.E.	
BIO	0,04	3	0,03	A
ING	0,05	3	0,03	A
SERV1	0,05	3	0,03	A
SOC	0,06	3	0,03	A
SERV2	0,36	3	0,03	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)



Anexo 6. Análisis de varianza y prueba de Tukey para DBO₅ en muestras de aguas residuales de la UNA - Puno (ciudad universitaria)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DBO	15	0,90	0,87	34,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

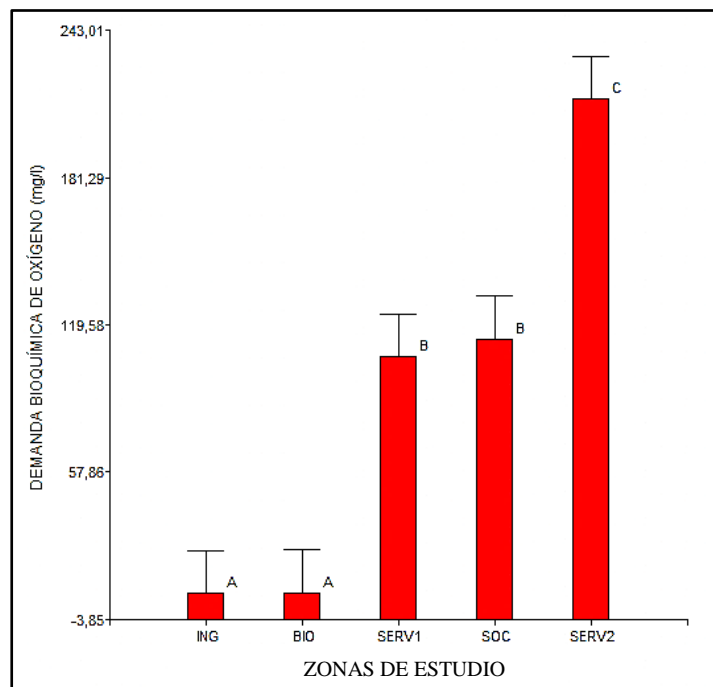
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	89476,72	4	22369,18	23,48	<0,0001
ZONAS_ESTUDIO	89476,72	4	22369,18	23,48	<0,0001
Error	9526,57	10	952,66		
Total	99003,29	14			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=82,93951

Error: 952,6573 gl: 10

ZONAS ESTUDIO	Medias	n	E.E.	
ING	7,37	3	17,82	A
BIO	7,47	3	17,82	A
SERV1	106,07	3	17,82	B
SOC	113,67	3	17,82	B
SERV2	213,97	3	17,82	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)



Anexo 7. Análisis de varianza y prueba de Tukey para DQO en muestras de aguas residuales de la UNA - Puno (ciudad universitaria)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DQO	15	0,90	0,86	34,75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

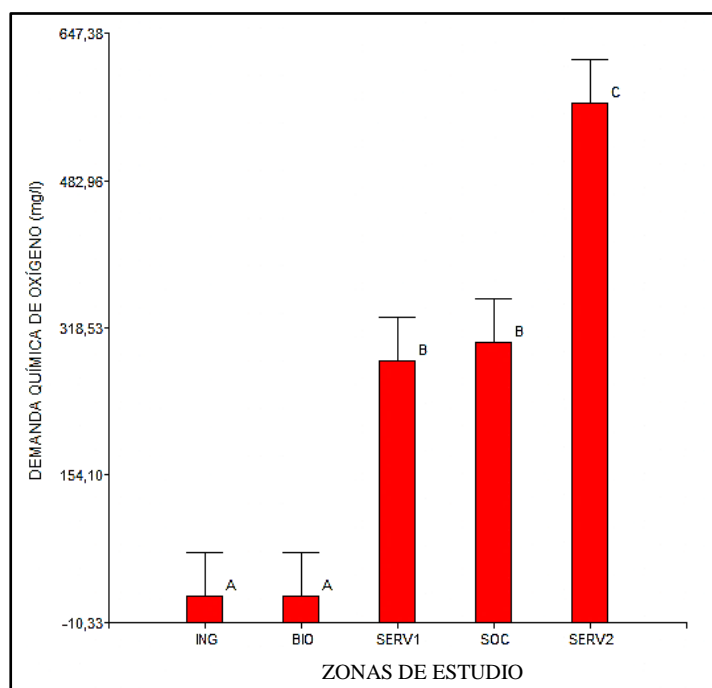
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	634503,33	4	158625,83	23,06	<0,0001
ZONAS_ESTUDIO	634503,33	4	158625,83	23,06	<0,0001
Error	68800,02	10	6880,00		
Total	703303,35	14			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=222,88836

Error: 6880,0020 gl: 10

ZONAS ESTUDIO	Medias	n	E.E.	
ING	19,57	3	47,89	A
BIO	19,60	3	47,89	A
SERV1	281,73	3	47,89	B
SOC	302,97	3	47,89	B
SERV2	569,60	3	47,89	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)



Anexo 8. Análisis de varianza y prueba de Tukey para los índices de biodegradabilidad en muestras de aguas residuales de la UNA - Puno (ciudad universitaria)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
IBD	15	0,39	0,15	1,37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

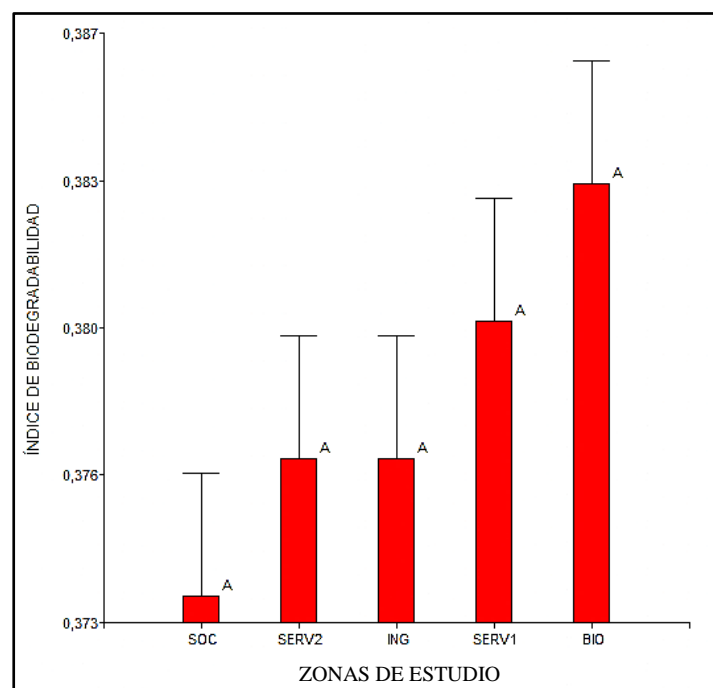
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,7E-04	4	4,3E-05	1,63	0,2428
ZONAS_ESTUDIO	1,7E-04	4	4,3E-05	1,63	0,2428
Error	2,7E-04	10	2,7E-05		
Total	4,4E-04	14			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,01388

Error: 0,0000 gl: 10

ZONAS ESTUDIO	Medias	n	E.E.	
SOC	0,37	3	3,0E-03	A
SERV2	0,38	3	3,0E-03	A
ING	0,38	3	3,0E-03	A
SERV1	0,38	3	3,0E-03	A
BIO	0,38	3	3,0E-03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)



Anexo 9. NTP 214.060.2016 - Protocolo de muestreo de aguas residuales no domesticas que se descargan en la red de alcantarillado

NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 214.060 2016
----------------------------------	-----------------------------

Dirección de Normalización - INACAL
Calle Las Camelias 815, San Isidro (Lima 27)

Lima, Perú

AGUAS RESIDUALES. Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado

WASTEWATER. Sampling protocol of domestic wastewater discharged into the sewer

**2016-12-09
1ª Edición**

R.D. N° 036-2016-INACAL/DN. Publicada el 2016-12-20 Precio basado en 36 páginas
I.C.S.: 13.060.30; 13.060.45 **ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**
Descriptores: Toma de muestra, agua residuales no domésticos, residual, muestreo, puntual, compuesto



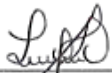
© INACAL 2016

Anexo 10. Anexo N° 1 y 2, (VMA, D.S. N° 010-2019-Vivienda)


PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	DBO ₅	500
Demanda química de oxígeno	mg/l	DQO	1000
Sólidos suspendidos totales	mg/l	S.S.T.	500
Aceites y grasas	mg/l	A y G	100

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/l	Al	10
Arsénico	mg/l	As	0.5
Boro	mg/l	B	4
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN ⁻	1
Cobre	mg/l	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/l	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/l	Cr	10
Manganeso	mg/l	Mn	4
Mercurio	mg/l	Hg	0.02
Níquel	mg/l	Ni	4
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Sulfatos	mg/l	SO ₄ ⁻²	1000
Sulfuros	mg/l	S ⁻²	5
Zinc	mg/l	Zn	10
Nitrógeno amoniacal	mg/l	NH ⁺⁴	80
Potencial hidrógeno	unidad	pH	6-9
Sólidos sedimentables	ml/l/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	< 35

Anexo 11. Informe de resultados del laboratorio


	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 096	 INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N° LE - 096	
INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-24171			
N° Id.: 0000067848			
I. DATOS DEL SERVICIO			
1.-RAZON SOCIAL	: ALEX MARIO SALAS APAZA		
2.-DIRECCIÓN	: JIRÓN LAS MALVINAS 479 BARRIO SAN JOSE		
3.-PROYECTO	: CONTENIDO DE METALES PESADOS E INDICES DE BIODEGRADABILIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES		
4.-PROCEDENCIA	: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO		
5.-SOLICITANTE	: ALEX MARIO SALAS APAZA		
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 000006765-2022-0000		
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA		
8.-MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA		
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-01-12		
II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO			
1.-PRODUCTO	: Agua Residual		
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 15		
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2022-12-29		
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2022-12-29 al 2023-01-12		
 Liz Y. Quispe Quispe Jefe de Laboratorio CIP N° 211662			
<p>Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.</p>			
SEDE PRINCIPAL Av. Guardia Chalaca 1877, Bellavista, Callao P (+511) 7175810 / Anexo 112 Cel.: 940 598 572 www.alab.com.pe	SEDE ZARUMILLA Prolongación Zarumilla Mz D2, Lt3 , Bellavista, Callao P (+511) 7130636 Cel.: 932646460 www.alab.com.pe	SEDE AREQUIPA: Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR P (+073) 616843 Cel.: 932646642 www.alab.com.pe	SEDE PIURA: Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb. Miraflores II Etapa - Ref. Costado del colegio San Ignacio de Loyola. P (+073) 542335 Cel.: 919 475 133 www.alab.com.pe
Pág.1 de 14			

Anexo 12. Métodos y referencias del informe de ensayo



ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-24171

N° Id.: 0000067848

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Demanda Bioquímica de Oxígeno ^(*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno ^(*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
Metales Totales ICP-MS ^(*)	Method 200.8, Revision 5.4 1994. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance: Bi, B, Ca, Ce, Cs, Fe, Ga, Ge, Hf, K, La, Li, Lu, Mg, Na, Nb, P, Rb, Si, Sn, Sr, Ta, Te, Ti, W, Yb, Zr), 2021.	Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.

SMEWW : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

<p>SEDE PRINCIPAL Av. Guardia Chalaca 1877, Bellavista, Callao P (+511) 7175810 / Anexo 112 Cel.: 940 598 572 www.alab.com.pe</p>	<p>SEDE ZARUMILLA Prolongación Zarumilla Miz D2, Lts , Bellavista, Callao P (+511) 7130636 Cel.: 932646460 www.alab.com.pe</p>	<p>SEDE AREQUIPA: Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR P (+073) 616843 Cel.: 932646642 www.alab.com.pe</p>	<p>SEDE PIURA: Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb. Miraflores II Etapa - Ref. Costado del colegio San Ignacio de Loyola. P (+073) 542335 Cel.: 919 475 133 www.alab.com.pe</p>
---	--	--	---

Pág.2 de 14



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo **Alex Mario Salas Apaza**, identificado con DNI **46602830** en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ecología con mención en Ecología y Gestión Ambiental

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“CONTENIDO DE METALES PESADOS E ÍNDICES DE BIODEGRADABILIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO, 2022”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno, 19 de enero del 2024



FIRMA (obligatoria)



Huella



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo **Alex Mario Salas Apaza**, identificado con DNI **46602830** en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ecología con mención en Ecología y Gestión Ambiental

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“CONTENIDO DE METALES PESADOS E ÍNDICES DE BIODEGRADABILIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO, 2022”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno ¹⁹ de enero del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella