



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



**CARGA DE SEDIMENTOS Y CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS
DE LA DESCARGA DE INGRESO DIRECTO DE LAS AGUAS
RESIDUALES A LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO,
LAGO TITICACA, 2023**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. VERONICA ROMERO MOZO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

JULIACA – PERÚ

2024



**UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
CARGA DE SEDIMENTOS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS
DE LA DESCARGA DE INGRESO DIRECTO DE LAS AGUAS
RESIDUALES A LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO,
LAGO TITICACA, 2023**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. VERONICA ROMERO MOZO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE


Dr. LEONEL SURISACA PELINCO

PRIMER MIEMBRO


Dr. EFRAIM PARLLUS SOSA

SEGUNDO MIEMBRO


Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

ASESOR DE TESIS


Mgtr. ARNALDO YANA TORRES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL - P22



RESOLUCIÓN DECANAL N° 432-2024-D-FICP-UANCV

Juliaca, 09 de setiembre de 2024

VISTOS:

El OFICIO N° 076-2024-D/EPISA/FICP-UANCV del Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y Resolución Decanal N°401-2024 de fecha 19 de agosto de 2024 sobre la aprobación del Informe Final del trabajo de Investigación (tesis) titulado: **CARGA DE SEDIMENTOS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA DESCARGA DE INGRESO DIRECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES A LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO, LAGO TITICACA, 2023**; y el trámite solicitado por el Bachiller en Ingeniería Sanitaria y Ambiental y;

CONSIDERANDO:

Que, el Bachiller: **VERONICA ROMERO MOZO**; ha solicitado fecha y hora para efectuar la sustentación del Informe Final del Trabajo de Investigación (tesis) titulado: **CARGA DE SEDIMENTOS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA DESCARGA DE INGRESO DIRECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES A LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO, LAGO TITICACA, 2023**, para rendir el examen de sustentación del trabajo de Investigación (tesis) y optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**, y;

Que, los Jurados designados por el Director y el Responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, de la FICP, están integrados por los siguientes Docentes;

- * **Presidente** : **Dr. LEONEL SUASACA PELINCO**
- * **1er Miembro** : **Dr. EFRAIN PARILLO SOSA**
- * **2do Miembro** : **Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES**
- * **Asesor** : **Mgtr. ARNALDO YANA TORRES**

De conformidad al Reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO. - APROBAR Lugar, Día y Hora para que el (la) bachiller: **VERONICA ROMERO MOZO**; rendirá el Examen de Sustentación del Informe Final del Trabajo de Investigación (tesis) titulado **CARGA DE SEDIMENTOS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA DESCARGA DE INGRESO DIRECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES A LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO, LAGO TITICACA, 2023**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental** de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : martes 10 de setiembre de 2024
- * **HORA** : 09:00
- * **LUGAR** : Aula 306 - pabellón de hidráulica

ARTICULO SEGUNDO. - La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el responsable del comité de investigación de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

Cc.
Arch. 2024
Internado
Escuela Profesional



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
SECRETARIO ACADÉMICO
CIP. 85493



RESOLUCIÓN DECANAL N° 401-2024-D-FICP-UANCV

Juliaca, 19 de agosto de 2024

VISTOS:

El INFORME N° 148-2024-D-UI-FICP-UANCV, del Director Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Ingeniería Sanitaria y Ambiental, INFORME N° 022-2024-UI-CI-EPISA-FICP-UANCV del Presidente del Sub Comité de Evaluación de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. RESOLUCIÓN DECANAL N° 418-2023-D-FICP-UANCV que aprueba el Proyecto de Investigación el 16 de junio de 2023 y el acta de revisión y calificación del Trabajo de Investigación (tesis) de fecha 12 de julio de 2024 para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el tema titulado: **CARGA DE SEDIMENTOS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA DESCARGA DE INGRESO DIRECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES A LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO, LAGO TITICACA, 2023.**

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bachiller: **VERONICA ROMERO MOZO**, ha presentado su Trabajo de Investigación (tesis) Titulado: **CARGA DE SEDIMENTOS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA DESCARGA DE INGRESO DIRECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES A LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO, LAGO TITICACA, 2023.**

Que, habiendo procedido de acuerdo al Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajo de Investigación, con fines de la obtención de Grados Académicos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el Responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, nominó a la sub comisión de evaluación de trabajo de investigación, a los siguientes Docentes:

- * **Presidente** : **Dr. LEONEL SUASACA PELINCO**
- * **1er Miembro** : **Dr. EFRAIN PARILLO SOSA**
- * **2do Miembro** : **Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES**

Que, el Sub Comité de evaluación ha aprobado en su integridad el Trabajo de Investigación (tesis) titulado: **CARGA DE SEDIMENTOS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA DESCARGA DE INGRESO DIRECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES A LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO, LAGO TITICACA, 2023.**

Que, la Oficina de Investigación ha aprobado con el Dictamen N° 366-2024, la originalidad del trabajo de investigación (tesis) titulado: **CARGA DE SEDIMENTOS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA DESCARGA DE INGRESO DIRECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES A LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO, LAGO TITICACA, 2023.**

Estando, conforme a la RESOLUCIÓN DECANAL N°064-2019-CF-FICP-UANCV de fecha 02 de octubre de 2019 donde aprueba el reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales a la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, que consta de XI capítulos y 71 artículos, y;

Estando, en la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación y en concordancia al Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO.- APROBAR, el informe final de **TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Tesis)**, del Bachiller: **VERONICA ROMERO MOZO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: **CARGA DE SEDIMENTOS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA DESCARGA DE INGRESO DIRECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES A LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO, LAGO TITICACA, 2023.**

La misma que deberá proceder a la impresión de su borrador de Trabajo de Investigación en limpio, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras - Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

ARTICULO SEGUNDO - RECONOCER, como asesor del Trabajo de Investigación (tesis) al docente ordinario de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, al **Mgtr. ARNALDO YANA TORRES**.

ARTICULO TERCERO - La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el responsable del comité de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese,

Cc
artículo 2024
intercedido (a)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

DR. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
71000000 DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

EFRAIN PARILLO SOSA
SECRETARÍA ACADÉMICA
CIP. 47790



RESOLUCIÓN DECANAL N° 418-2023-D-FICP-UANCV

Juliaca, 16 de junio 2023

VISTOS:

El, **INFORME N° 201-2023-D-UI-FICP.UANCV**, del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, **INFORME DE OPINIÓN TÉCNICA N° 028-2023-UI-CI-EPISA-FICP-UANCV** del responsable del Comité de Investigación, la **opinión técnica N° 033-2023-UANCV-FICP-UI-CI-EPISA** del presidente del sub comité de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental y el **ACTA DE REGISTRO DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN** según reglamento interno de aseguramiento de la calidad de trabajos de investigación de fecha **22 de mayo de 2023**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el tema titulado: **CARGA DE SEDIMENTOS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA DESCARGA DE INGRESO DIRECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES A LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO, LAGO TITICACA, 2023**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bachiller: **VERONICA ROMERO MOZO**, ha presentado su Proyecto de Investigación Titulado: **CARGA DE SEDIMENTOS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA DESCARGA DE INGRESO DIRECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES A LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO, LAGO TITICACA, 2023**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras; y el responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, nominó a la sub comisión de evaluación de Proyecto de Investigación, a los siguientes Docentes:

- * **Presidente** : **Dr. LEONEL SUASACA PELINCO**
- * **1er Miembro** : **Dr. EFRAIN PARILLO SOSA**
- * **2do Miembro** : **Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES**

Que, la sub comisión de evaluación ha concluido aprobar sin observación el Proyecto de Investigación titulado: **CARGA DE SEDIMENTOS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA DESCARGA DE INGRESO DIRECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES A LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO, LAGO TITICACA, 2023**, y;

Que, es requisito indispensable contar con un Docente Ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de magister y experiencia en la línea a investigar, que será el asesor de Proyecto de Investigación, y;

Estando, en la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación y en concordancia al Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el (la) Bachiller: **VERONICA ROMERO MOZO**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**, con el Tema Titulado: **CARGA DE SEDIMENTOS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA DESCARGA DE INGRESO DIRECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES A LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO, LAGO TITICACA, 2023**.

La misma que deberá proceder con la ejecución del Proyecto de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a la) docente ordinario de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, **Mgtr. ARNALDO YANA TORRES**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

cc.
archivo 2023
interesado (s)



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Mgtr. ANTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47780



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
SECRETARIO ACADÉMICO
CIP. 95531



CARGA DE SEDIMENTOS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA DESCARGA DE INGRESO DIRECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES A LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO, LAGO TITICACA, 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE


FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	ciencia.lasalle.edu.co Fuente de Internet	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.untrm.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	tesis.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1%



Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
CARGA DE SEDIMENTOS Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA DESCARGA DE INGRESO DIRECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES A LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO, LAGO TITICACA, 2023	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	Verónica Romero Mozo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47478935
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0006-5148-8183
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Arnaldo Yana Torres
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6740-5024
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Leonel Suasaca Pelinco
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Efrain Parillo Sosa
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02416058
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Franz Joseph Barahona Perales
Tipo de documento	DNI

Número de documento de identidad	02442876
Datos de investigación	
Línea de investigación	Contaminación y Calidad Ambiental – P22
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p> País: Perú Departamento: Puno Provincia: Puno Distrito: Puno Latitud: S 15° 50' 36" Longitud: O 70° 01' 25" </p>  <p>https://maps.app.goo.gl/LBvDPiFeEiHaBG1CS</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Junio 2023 - Setiembre 2024
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	<p>Ingeniería ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00</p> <p>Ingeniería ambiental y geológica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01</p>


 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS EXACTAS
 Dr. Eirain Pajillo Sosa
 DIRECTOR
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo VERONICA ROMERO MOZO identificado con DNI
Nro. 47478935 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

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

CARGA DE SEDIMENTOS Y CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS DE LA DESCARGA

DE INGRESO DIRECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES A LA BAHÍA INTERIOR

DE PUNO, LAGO TITICACA, 2023

Asesorado por: Mgtr. ARNALDO YANA TORRES

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.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 30 de setiembre del 2024



Firma del Asesor
(obligatoria)



Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

La presente tesis se la dedico con mucho cariño a mis padres por su constante apoyo, a mis hermanos, a mis sobrinos y a toda mi familia. Se lo dedico a mi universidad donde pude formarme como profesional y a los docentes de mi carrera profesional. A mis asesores y personas que fueron de gran importancia. También se lo dedico a la ciudad que me vio nacer, Juliaca.



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a mis padres por haberme dado una educación profesional,

A mi Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez,

A mis asesores y docentes, que fueron parte de mi formación académica,

Al laboratorio de Ecología Acuática de la UNA Puno, a la Lic. Margot Reyes Orihuela por su apoyo en los análisis de muestras de aguas,

A las personas que me ayudaron con paciencia,

Y se lo agradezco a Dios por guiarme, fortalecerme y darme sabiduría en cada etapa de este camino.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUCCIÓN.....	ix

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Análisis de la situación problemática.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Justificación de la Investigación	3
1.4. Objetivos de la Investigación.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Hipótesis de la Investigación.....	5
1.5.1. Hipótesis general.....	5
1.5.2. Hipótesis específicas	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación	6
2.1.1. Sedimentos por aguas residuales.....	6
2.1.2. Parámetros fisicoquímicos y carga contaminante de aguas residuales.....	8
2.2. Bases teóricas	11
2.2.1. Las aguas residuales de la ciudad de Puno.....	11
2.2.2. La bahía interior de Puno (BIP)	14
2.2.3. Aguas residuales	15
2.2.4. Caudales de aguas residuales en ciudades.....	17
2.2.5. Problemática de las aguas residuales	19



2.2.6. Uso de aguas residuales	21
2.2.7. Los sedimentos lacustres	22
2.2.8. Sedimentos y aguas residuales	30
2.2.9. Sólidos en las aguas.....	32

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	35
3.2. Técnicas e instrumentos de investigación para recolección de datos.....	35
3.2.1. Para identificar el número de efluentes residuales y su caudal.....	35
3.2.2. Para estimar sedimentos que ingresan con el agua residual a la BIP.....	36
3.2.3. Para determinar la carga contaminante	36
3.3. Procedimientos para identificar el número de efluentes residuales y su caudal	37
3.4. Estimación la cantidad de sedimentos que ingresan a la bahía.....	38
3.5. Determinación la carga contaminante de los parámetros fisicoquímicos.....	39
3.5.1. Toma de muestras.....	40
3.5.2. Determinación de DBO5.....	41
3.5.3. Determinación de DQO	42
3.5.4. Determinación de pH.....	42
3.5.5. Determinación de oxígeno disuelto, conductividad y temperatura.....	42
3.6. Diseño de las pruebas de hipótesis.....	43
3.6.1. Para identificar el número de efluentes residuales y su caudal.....	43
3.6.2. Para estimar la cantidad de sedimentos que ingresan a la bahía	44
3.6.3. Para determinar la carga contaminante de los parámetros fisicoquímicos....	44
3.7. Población y muestra.....	44

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificación de efluentes residuales de ingreso a la BIP y su caudal	45
4.1.1. Carga de sedimentos que ingresan a la bahía.....	52
4.1.2. Carga contaminante de los parámetros fisicoquímicos	61
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES.....	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
ANEXOS	86



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Puntos identificados de ingreso directo a la BIP	45
Tabla 2	Varianza en diseño bloque completo al azar para los caudales	46
Tabla 3	Prueba de Tukey ($p < 0.05$) para las diferencias entre medias	47
Tabla 4	Carga de sedimentos que ingresa a la BIP	55
Tabla 5	ANVA – DBCA para descargas de sedimentos.....	57
Tabla 6	Niveles de sólidos sedimentables por cada punto de descarga	58
Tabla 7	ANVA – DBCA para los niveles de sólidos sedimentables.....	59
Tabla 8	Estimación de las cantidades de ingreso de sólidos sedimentables	60
Tabla 9	ANVA – DBCA para los valores de temperatura	62
Tabla 10	ANVA – DBCA para los valores de oxígeno disuelto	64
Tabla 11	ANVA – DBCA para los valores de pH.....	66
Tabla 12	ANVA – DBCA para los valores de conductividad eléctrica	67
Tabla 13	ANVA – DBCA para los valores de DBO5.....	70
Tabla 14	ANVA – DBCA para los valores de DQO	72
Tabla 15	Valores de parámetros fisicoquímicos en seis afluentes	73
Tabla 16	Carga contaminante del DBO5	75
Tabla 17	Carga contaminante de DQO.....	76



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vías de migración de contaminantes a través de las diferentes interfaces ambientales	27
Figura 2 Ámbito de estudio y lugares de evaluación	41
Figura 3 Caudal promedio de ingreso (\pm DE) de afluentes a la BIP.....	48
Figura 4 Puntos de ingreso de cauces con aguas residuales.....	49
Figura 5 Caudal de ingreso total de aguas residuales.....	51
Figura 6 Niveles de sólidos suspendidos totales (SST)	54
Figura 7 Aportes de sedimentos a la BIP por cada punto de descarga de agua residual	56
Figura 8 Estimación de las cantidades de ingreso de sólidos sedimentables.....	61
Figura 9 Valores de temperatura por cada evaluación	63
Figura 10 Valores de temperatura por cada evaluación	64
Figura 11 Valores de temperatura por cada evaluación	66
Figura 12 Valores de CE por cada evaluación de afluentes de aguas residuales.....	68
Figura 13 Valores de CE por cada evaluación de afluentes de aguas residuales.....	70
Figura 14 Valores de CE por cada evaluación de afluentes de aguas residuales.....	72



RESUMEN

La bahía interior de Puno (BIP), recibe aguas residuales directamente desde algunos puntos de la ciudad, aportando contaminantes y sedimentos no cuantificados a la fecha, para perjuicio del ecosistema y riesgos a la salud humana, la finalidad del estudio es evaluar la carga de sedimentos y las características fisicoquímicas de los efluentes de aguas residuales que ingresan directamente y sin tratamiento previo a la bahía interior del lago Titicaca. Para ello, se ha verificado de forma visual puntos de descarga de aguas residuales que ingresan directamente a la BIP, registrando el número de dichos efluentes y su caudal (método del flotador); se ha tomado muestras de aguas en los lugares identificados para su análisis fisicoquímico in situ (temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad) y en laboratorio (sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, DBO5 y DQO); a partir de los sólidos se ha determinado la cantidad de sedimentos que ingresan y se ha relacionado las concentraciones de contaminación con el caudal, para determinar la carga contaminante que ingresa al ecosistema. En total se ha identificado 11 puntos de descarga directa de aguas residuales, que aportan una cantidad total de 261.3 L/seg en época seca y 678.16 L/seg en época lluviosa; la carga de sedimentos que ingresa a la BIP en total suma 3013 ton/año; las concentraciones de oxígeno disuelto, en todas las descargas, tuvieron concentraciones entre 0.8 a 5.2 mg/L (bajos), el pH entre 5.9 y 9.8, la conductividad entre 950 y 1970 uS/cm, el DBO5 entre 10.5 a 150.5 mg/L superando los LMP de la norma en dos puntos evaluados (inmediaciones Jr. R. Palma y Jr. Carabaya) y el DQO sólo sobrepasó los LMP en el Jr. R. Palma con 237.5 mg/L. La carga contaminante que ingresa a la BIP en DBO5 fue de 535.5 kg/día desde seis efluentes principales y en DQO 1032.91 kg/día. Según los parámetros fisicoquímicos evaluados, todos los efluentes identificados tienen contenidos de aguas residuales, siendo el de mayor riesgo la descarga del Jr. Ricardo Palma, ya que trae consigo además cargas del Hospital regional.

Palabras Clave: Aguas Residuales, Bahía de Puno, Contaminación, Sedimentos, Titicaca.



ABSTRACT

The interior bay of Puno (BIP) receives wastewater directly from some points of the city, contributing contaminants and sediments that have not been quantified to date, to the detriment of the ecosystem and risks to human health. The purpose of the study is to evaluate the load of sediments and the physicochemical characteristics of wastewater effluents that enter directly and without prior treatment to the inner bay of Lake Titicaca. To this end, wastewater discharge points that directly enter the BIP have been visually verified, recording the number of said tributaries and their flow (float method); Water samples have been taken in the identified places for physicochemical analysis in situ (temperature, pH, dissolved oxygen, conductivity) and in the laboratory (total suspended solids, settleable solids, BOD5 and COD); From the solids, the amount of sediment that enters has been determined and the contamination concentrations have been related to the flow, to determine the contaminant load that enters the ecosystem. In total, 11 direct wastewater discharge points have been identified, which provide a total flow of 261.3 L/sec in the dry season and 678.16 L/sec in the rainy season; The sediment load that enters the BIP in total amounts to 3013 tons/year; The concentrations of dissolved oxygen, in all discharges, had concentrations between 0.8 to 5.2 mg/L (low), the pH between 5.9 and 9.8, the conductivity between 950 and 1970 uS/cm, the BOD5 between 10.5 to 150.5 mg/L exceeding the LMP of the standard in two points evaluated (nearby Jr. R. Palma and Jr. Carabaya) and the COD only exceeded the LMP in Jr. R. Palma with 237.5 mg/L. The contaminant load entering the BIP in BOD5 was 535.5 kg/day from six main tributaries and in COD 1032.91 kg/day. According to the physicochemical parameters evaluated, all the identified tributaries have wastewater content, with the highest risk being the discharge of the Jr. Ricardo Palma, since it also brings with it loads from the Regional Hospital.

Keywords: Wastewater, Puno Bay, Pollution, Sediment, Titicaca.



INTRODUCCIÓN

El lago Titicaca es uno de los recursos hídricos más importantes del Perú y crucial para el desarrollo socioeconómico de la región Puno. Además de su importancia natural e implícita, provee de múltiples beneficios a los pobladores locales y al país: es una fuente importante de agua para abastecimiento de las diferentes ciudades ubicadas en su entorno, es fuente de recursos alimenticios por la actividad pesquera y acuícola que se desarrollan en su interior, es fuente de recursos forrajeros para la actividad pecuaria y constituye un atractivo turístico nacional generador de divisas para beneficio del país. Sin embargo, en la actualidad, este importante recurso está siendo afectado negativamente por diferentes actividades antrópicas que ponen en riesgo estos beneficios y sobre todo pueden tener repercusiones en la salud pública.

Uno de estos problemas que viene sopesando este ecosistema lacustre es la permanente contaminación debido a las descargas de aguas residuales de diferente índole y las más notorias son las aguas servidas provenientes de las diferentes ciudades que incluso ingresan directamente al lago, tal es el caso de la ciudad de Puno, que por años viene contaminando sus aguas, sin que a la fecha se cuente con tratamiento alguno. La actual laguna de oxidación ubicada en la laguna Espinar, ha dejado de cumplir su función, e incluso, diferentes zonas de la ciudad, aledañas a la bahía interior de Puno, vienen emitiendo directamente sus aguas residuales hacia otros lugares del lago sin ingresar a la laguna de oxidación Espinar.

Estas aguas servidas efluentes a la bahía interior, al provenir de los desagües de ciertas viviendas, traen consigo diferentes elementos fisicoquímicos y microbiológicos contaminantes, que ponen en riesgo la integridad del ecosistema y la salud de los pobladores locales y visitantes, además de traer consigo diferentes cargas de sedimentos, sobre todo por la escorrentía en la época de lluvias, que estaría colmatando el lecho



lacustre en esta sector del lago Titicaca y ello afectaría también la navegabilidad en el futuro y el hábitat de las especies silvestres.

Por ello se hace necesario conocer las características de estas aguas que ingresan directamente a la bahía de Puno, en sus principales parámetros fisicoquímicos y su ingreso como carga contaminante, así como los niveles de sedimentos que traen consigo. Ello permitirá, conocer el potencial riesgo de este proceso contaminante, la magnitud de la afectación al ecosistema y poder plantear estrategias de remediación y restauración en el futuro.

Por lo tanto, para crear estrategias y tácticas para su gestión y administración, es necesario tener un conocimiento suficiente de las consecuencias inducidas por estas actividades humanas, así como definir las circunstancias medioambientales existentes. (Edberg et al., 2000; Namihira-Santillan et al., 2002). Estudios al respecto en la bahía interior de Puno, son escasos y no se tiene un monitoreo permanente de las características de las aguas y de los diferentes efluentes, que en la actualidad provienen principalmente de descargas residuales y ello es necesario para conocer las condiciones actuales y los cambios que vienen sucintando en el tiempo.

Según lo indicado, con el presente trabajo de tesis se pretende cubrir estos vacíos, conocer cuál es la escala real del aporte de contaminantes a la bahía interior y aportar al mejor conocimiento de sus condiciones actuales y del potencial riesgo que vienen generando las poblaciones humanas, contra este fundamental recurso hídrico y su biodiversidad asociada.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Análisis de la situación problemática

Las aguas residuales no tratadas plantean riesgos para la salud pública, así como para los ecosistemas y los componentes que los integran. Estos riesgos incluyen la introducción de microorganismos patógenos, que pueden afectar a todas las formas de vida del ecosistema receptor. Estos microorganismos pueden incluir bacterias, hongos, virus, parásitos e incluso disruptores endocrinos. Los efectos de estos microorganismos pueden ser perjudiciales para el medio ambiente, la economía local y la salud humana (WWAP, 2017). (PNUMA, 2015).

En los países en desarrollo, solo el 8 % de los efluentes industriales y municipales reciben algún tipo de tratamiento (WWAP, 2017). Según Larios-Meño et al. (2015), solo el 7,9 % de las 143 EDAR de Perú funcionan con la máxima eficiencia, y el 70 % de las aguas residuales no reciben ningún tipo de tratamiento. Todas las aguas residuales generadas en la ciudad de Puno no reciben un tratamiento adecuado y terminan desembocando en el lago Titicaca, un ecosistema que nos sustenta proporcionándonos peces y acuicultura, agua potable para el consumo humano, alimento para el ganado durante la estación seca y totora, que se utiliza para fabricar artesanías, embarcaciones y casas. Además, el ecosistema proporciona numerosos servicios ecosistémicos que benefician a los pueblos cercanos (Larios-Meño et al., 2015). Así, los contaminantes que



ingresan por las aguas residuales, sumados a las escorrentías de la ciudad de Puno, están poniendo en riesgo la integridad de este ecosistema lacustre, la salud de las personas y la calidad de vida en general, por lo que se estudiarán específicamente las aguas que ingresan directamente hacia la bahía interior de Puno sin ningún tratamiento previo, desde diferentes alcantarillas de la ciudad y que incluso no pasan previamente por la laguna de oxidación Espinar.

La ciudad de Puno, desde el año 1968 cuenta con una laguna de oxidación que abarca unas 22 has y que prácticamente desde el año 1987 se encuentra colapsada, no cumpliendo su función en la remoción de contaminantes, desde donde se evacúa aproximadamente el 85% de aguas residuales directamente hacia la bahía interior de Puno (BIP) y adicionalmente se identificaron 13 puntos de descarga directa hacia este ecosistema (Pacoricona et al., 1991). En la actualidad no se conoce con precisión el número de estos puntos de ingreso directo, pero al parecer han aumentado considerablemente, teniendo en cuenta que la población también se ha incrementado, así como las viviendas familiares y comerciales, en especial en áreas colindantes al lago que seguramente vienen aportando sus desechos y aguas residuales a este importante recurso hídrico, contaminando con mayor intensidad dicho ecosistema.

Se ha estimado que la cantidad de aguas residuales generadas por la ciudad de Puno alcanza los 187.4 L/s, que significan unos 5911423,2 m³/año (Ocola y Laqui, 2017), este volumen se ha calculado al ingreso de aguas residuales a la laguna Espinar, pero el aporte adicional desde los puntos de ingreso directo que se encuentran distribuidos en diferentes zonas aledañas a la bahía interior no está reportado. Ello permitiría conocer plenamente cuánto es realmente la carga contaminante que está ingresando a este sector del lago Titicaca a partir de las aguas residuales y cuál es la magnitud del riesgo que conlleva sobre la salud pública y sobre el medio ambiente en general; además que permitiría con mejor juicio planificar un sistema de gestión y tratamiento de estas emisiones.



Aunado a ello, considerando la ubicación de la ciudad de Puno en fuerte pendiente que va desde los 3810 hasta los 4200 msnm hacia el lago, da lugar a 16 quebradas que en época de lluvias también transportan aguas pluviales hacia la BIP (Ocola y Laqui, 2017), con lo que además arrastran sedimentos erosionados de suelos de laderas adyacentes (Loza-Del Carpio et al., 2016), que incluyen contaminantes adicionales, distintos a la materia orgánica como residuos sólidos, hidrocarburos, entre otros.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál será la carga de sedimentos y las características fisicoquímicas de las aguas residuales que ingresan directamente a la bahía interior de Puno?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuántos efluentes de aguas residuales procedentes de la ciudad de Puno ingresan directamente a la BIP y con qué volúmenes?
- b. ¿Qué cantidad de sedimentos ingresan a la BIP desde los efluentes de aguas residuales?
- c. ¿Cuál será la carga contaminante de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales que ingresan directamente a la bahía interior de Puno?

1.3. Justificación de la Investigación

El estudio de aspectos básicos relacionados a la hidrología, la limnología y la química de los efluentes de aguas residuales de un sistema urbano, son importantes ya que permiten conocer los caudales generados, la materia particulada alóctona y las características fisicoquímicas de estas, así como el impacto que tiene en el receptor, en sus comunidades biológicas, en la calidad de sus aguas, que finalmente repercutirá en las condiciones de vida las sociedades humanas. Es necesario también conocer estas



condiciones, ya que sólo así se podrá también planificar y diseñar sistemas de tratamiento apropiados, acordes a las características del flujo y cantidad de elementos contaminantes que contiene; inclusive puede determinar las particularidades y contexto del sistema de alcantarillado que se requiere y los ámbitos por donde debe distribuirse.

Así, conocer la cantidad de efluentes que ingresan directamente a la BIP y sus volúmenes correspondientes (caudales), es el paso fundamental para emprender estudios de la hidráulica del sistema de alcantarillado y de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Para nuestro caso además, nos ayudará a conocer en mejor magnitud las cantidades de emisiones contaminantes domiciliarias y municipales que no tienen ningún tratamiento y su potencial para afectar al ecosistema lacustre; implica además, poner a disposición de las autoridades y de la sociedad en general la real magnitud del problema, cuya solución es imperativa a la brevedad posible; mucho más cuando estas aguas además traen una importante carga de sedimentos que podrían colmatar el lecho lacustre en un mediano plazo, por lo que es necesario conocer esta carga para predecir de manera aproximada el tiempo en que ocurrirá esto y advertir anticipadamente este acontecimiento.

Asimismo, al comparar los parámetros fisicoquímicos, con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en la norma nacional, nos permitirá valorar la calidad de estas aguas y sus posteriores interacciones que tendrá con los componentes bióticos (flora, fauna, microorganismos) y abióticos (agua, nutrientes, bentos), incluyendo el componente sociocultural.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la carga de sedimentos y las características fisicoquímicas de los efluentes de aguas residuales que ingresan directamente y sin tratamiento previo a la bahía interior de Puno (BIP), en el lago Titicaca.



1.4.2. Objetivos específicos

- a. Identificar el número de efluentes de aguas residuales que ingresan directamente a la BIP sin tratamiento previo y cuantificar sus volúmenes (caudales).
- b. Estimar la cantidad de sedimentos que ingresan a la bahía interior de Puno desde efluentes de aguas residuales de la ciudad de Puno, sin previo tratamiento.
- c. Determinar la carga contaminante de los parámetros fisicoquímicos de efluentes de aguas residuales de ingreso directo a la bahía interior de Puno.

1.5. Hipótesis de la Investigación

1.5.1. Hipótesis general

Las cargas de sedimentos y las aguas residuales que ingresan directamente a la bahía interior de Puno, desde la ciudad de Puno están afectando con mayor intensidad al lago Titicaca.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a. A la bahía interior de Puno ingresan aguas residuales directamente desde unos 06 efluentes y en un volumen promedio de 50 L/s.
- b. A la bahía interior de Puno ingresan alrededor de 5 toneladas de sedimentos anuales, desde efluentes de aguas residuales.
- c. La carga contaminante de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales supera los 500 kg anuales que ingresan a la bahía interior y sus valores superan los LMP establecidos en norma nacional.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. *Sedimentos por aguas residuales*

Binford et al. (1991), estudiaron el ritmo de acumulación de sedimentos en el lago Titicaca (Bolivia). Comprobaron que los índices aumentaron hace 106 años, disminuyeron en las décadas siguientes y volvieron a aumentar en 1950. Llegaron a la conclusión de que estos valores extremos son el resultado de dos acontecimientos históricos: una época en la que el nivel del agua del lago era bajo y las modificaciones introducidas en los sistemas agrícolas por la última reforma agraria boliviana. Pourchet et al. también hallaron coincidencias.

Loza-Del Carpio et al. (2016) realizaron un estudio sobre las características batimétricas de la bahía interior de Puno y determinaron que en la actualidad ésta tiene un área de 15.9 km² y mantiene un volumen de agua de 39 millones de metros cúbicos, el cuál es menor a los 42 millones que había en 1975; indican también que el volumen de sedimentos que se ha acumulado en el lecho lacustre desde 1975 fue de 887352.02 m³, con una tasa de 23982.48 m³/año y 4.1 mm/año.

En la laguna Alvarado (4452.5 ha), en una zona de manglar en México en base al registro sedimentario se determinó una fuerte aceleración del ritmo de sedimentación en un lapso de 134 años, encontrándose que en los últimos 40 años (1972 al 2011) se incrementó en 470% estas tasas de acumulación sedimentaria, variando desde 0.04 a 0.23



g/cm²/año en la tasa de acumulación másica y en 0.06 a 0.61 cm/año en la acumulación sedimentaria; los incrementos coinciden con períodos de mayor deforestación y azolvamiento, así como por la erosión ocasionada por cambios en el uso del suelo (Ruiz-Fernández et al., 2014).

La Laguna de las Ilusiones, en el estado mexicano de Tabasco, sufre una grave eutrofización, o hipereutrofización, debida principalmente a la acumulación de sedimentos procedentes de la escorrentía urbana y las aguas residuales. La superficie de la laguna era de 242,7 ha en 1984, pero en 2015 había crecido hasta 189,1 ha. Utilizando un modelo lineal, se predice que, si este efecto persiste, se espera una superficie de 128,5 ha para el año 2050. La aportación de sedimentos en un periodo de 10 años es de 60361,75 m³ 3 distribuidos en dos masas de agua mediante un balance de materia, teniendo en cuenta las aportaciones de la cuenca urbana, la escorrentía superficial (escorrentía pluvial) y las aportaciones del vertido directo de aguas residuales (población). Esto significa que el aporte de N, P y DBO también es elevado, lo que provoca el agotamiento progresivo del oxígeno, impulsa el proceso de eutrofización y afecta al equilibrio de la columna de agua-sedimento. La situación empeora por la aportación de materia orgánica; la escorrentía procedente de la cuenca urbana y de la población flotante (80.000 personas) representa 46620,25 m³ de sólidos totales y 13741,5 m³ de materia orgánica. El patrón sugiere un proceso de aterramiento y desplazamiento completo de la columna de agua por sedimentos en un periodo de 7 a 10 años si estas aportaciones se mantienen constantes. La cuenca urbana genera 75,33 l/s de aguas residuales de media, 37,67 l/s de caudal mínimo y 293,27 l/s de caudal máximo. (Ricardez et al., 2016).

Utilizando datos mensuales de flujo y sólidos suspendidos totales (SST), se evaluó la carga de sedimentos en una laguna fluvial de 91.5 hectáreas en Tabasco, México. Se tomó en consideración que las cargas de sedimentos suspendidos son transportadas por la corriente y se originan en el lavado de la cuenca. En este caso, la concentración media de SST se correlacionó con el caudal instantáneo. Como resultado, la cantidad de

sedimento que entraba en la laguna variaba de 0,40 a 101,2 toneladas por día, mientras que la cantidad que salía de la laguna variaba de 0 a 42,77 toneladas por día. La mayor diferencia entre la cantidad que entraba y salía de la laguna fue de 63,60 toneladas al día, lo que sugiere que una parte de la masa de sedimentos podría mantenerse en la masa de agua. (De la Cruz et al., 2016).

2.1.2. Parámetros fisicoquímicos y carga contaminante de aguas residuales

Los promedios de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de las balsas de oxidación de Covicorti en Trujillo fueron los siguientes: La temperatura del agua varió entre 20,1 y 26,6 °C, y la temperatura del aire alternó entre 18 y 24 °C. La conductividad eléctrica promedio fue de 1712 μ S, y la salinidad, oxígeno disuelto, DBO, sólidos totales y pH se registraron como 0,85 ppt, 2,72 mg/L, 294,76 mg/L, 1140,08 ppm y 7,9, respectivamente. Los indicadores bacterianos mostraron $1,6 \times 10^8$ NMP/100 ml y la presencia de parásitos como *Giardia lamblia*, *Balantidium* sp., *Entamoeba* sp., y *Blastocystis* sp. Se determina que se sobrepasaron los límites máximos permitidos para aguas residuales domésticas y los valores de ECA para riego y uso animal, resultando en una calidad de agua inaceptablemente alta en los estanques de oxidación de Covicorti. (Jimenez, 2014).

Con referencia a la calidad de la BIP, las últimas evaluaciones indican alta contaminación por materia orgánica, conducente a niveles extremos de eutroficación. Los resultados del estudio mostraron que la transparencia media era de 1,43 metros (con un rango de 0,37 a 2,5 metros), los niveles de oxígeno disuelto oscilaban entre 4,56 y 8,4 miligramos por litro (mg/L), el pH oscilaba entre 9,23 y 9,53, la dureza total era de 300,5 miligramos por litro (mg/L) (280 a 320), los fosfatos medios se registraban en 1.02 mg/L (0,67 a 1,18), los nitratos se registraron en 0,12 mg/L (0,04 a 0,18), las concentraciones de nitritos fueron de 0,07 mg/L (0,04 a 0,13), la conductividad fue de 1666,95 μ S/cm (1651,6 a 1685,8) y, por último, las bacterias *Escherichia coli* mostraron niveles de 502,78 UFC/100



mL (oscilaron entre cero y 2872,22). (Beltrán et al., 2015). Todas estas características refieren que la BIP constituye un ecosistema altamente contaminado y la fuente más importante de esta contaminación es precisamente el ingreso de aguas residuales de la ciudad de Puno sin un tratamiento previo, incluso aguas peligrosas (Northcote, et al., 1991; CMPRLT, 2014).

La CMPRLT (2014) evaluaron parámetros en la BIP y encontraron valores de temperatura en 15 puntos de monitoreo cuyo rango se encontró entre 13.24 a 17.07 °C, en varios puntos superaron los valores de 8.5 en pH por lo que estos valores se encuentran por encima de los Estándares de calidad Ambiental C4 (ECAs). Quince estaciones de control tenían una conductividad eléctrica dentro del intervalo de 1070 a 1640 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y los quince puntos de control tenían un total de sólidos disueltos (TDS) superior a 500 mg/L, por encima del intervalo estipulado en el ECA C4. La salinidad media fue nula. Todos los puntos tienen niveles de oxígeno disuelto inferiores a 5 mg/L, lo que significa que no alcanzan los parámetros especificados en el ECA. Más del 50% de los puntos de muestreo tenían coliformes termotolerantes superiores a los 1000 NMP (100 mL) exigidos por los ECA, y el 90% de los puntos tenían niveles de DBO5 superiores a 10 mg/L e incumplían los ECA. Sólo uno de los quince puntos para nitratos era superior a los 5 mg/L de los ECA, mientras que todos los puntos para fosfatos estaban entre 0,4 y 2,03 mg/L. En cuanto a metales pesados en 9 puntos superan ampliamente los 0.001 mg/L que exigen los ECAs, el cadmio en 5 puntos de los 15 exceden los 0.04 mg/L de los ECAs. Como se aprecia estos datos resultan de evaluaciones en abril del 2013 y se concluye finalmente que casi la totalidad de aguas de la BIP tiene una inadecuada calidad a muy baja calidad.

En la BIP Ocola y Laqui (2017), El informe detalla una serie de fuentes de contaminación, como vertederos de basura y vertidos de aguas residuales a pequeña y gran escala. Una parte importante de las aguas residuales de Puno se dirige a la laguna de oxidación de El Espinar, donde acaba desembocando en la Bahía Interior de Puno. Además, en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional del Altiplano se generan



aguas residuales brutas, y lo mismo ocurre con la laguna de confinamiento creada por la presa del malecón, en la que se vierten las aguas residuales municipales.

Alrededor de 177,3 L/s, o 5,6 Hm³/año, es el caudal total aforado que corresponde a vertidos de aguas residuales de origen doméstico y municipal; de éste, el 90,2% es efluente de la laguna de El Espinar, y el 9,8% restante procede de otros vertidos que se reparten por diversas zonas del barrio. Seis descargas de estas aguas, aparentemente sin tratamiento, con un caudal de 17 L/s, o 546203 m³/año, se ubican en diversas zonas del puerto interior de Puno. Dado que la cantidad de aguas residuales municipales vertidas es constante en el tiempo, se estima que entre 1995 y 2014, es decir, diecinueve años, se vertieron al medio ambiente aproximadamente 106,4 Hm³ de aguas residuales mal tratadas. Esta cantidad supera en 2,6 veces el volumen de agua del «origen» natural del cuerpo de agua, sin incluir la cantidad vertida al sistema de drenaje pluvial que bordea la ciudad de Puno. (Ocola y Laqui, 2017).

Para la BIP el JICA (2000) La investigación reveló que, a lo largo del tiempo, se han acumulado 83.1600 toneladas de limo que se han dispersado por 525 hectáreas paralelas a la playa, entre los muelles de Laykakota y Puno. Además, se calcularon 13.2389 toneladas de nitrógeno total y 164 toneladas de fósforo total. Estas cantidades de nutrientes, junto con las características fisicoquímicas específicas de la masa de agua, representan una causa importante de eutrofización interna. El mismo JICA determinó para el año 1998 que la carga de contaminantes para el DBO5 fue de 2255 kg/día, para el nitrógeno total 551 kg/día y para el fósforo total 63 kg/día.

Tras el tratamiento en la laguna de oxidación de Espinar, la carga de DBO5 producida por las aguas residuales de la ciudad de Puno por sus residentes asciende a 578 toneladas cada día. Esta cifra supone 1926 toneladas al año. (MINAM, 2013).

En julio de 1984 se realizó una caracterización de las aguas residuales de la ciudad de Puno que ingresaban directamente a la BIP sin previo tratamiento, siendo los resultados



los siguientes: en el Jr Ricardo Palma la descarga fue de 113 L/s y fósforo total de 9.90 mg/L, para el sector Los Pino una descarga de 40.1 L/s, para el cuartel militar 8.7 L/s, desde la laguna 22.1 L/s y 2.75 g/L de fósforo total y la descarga de la UNA de 12.1 L/s (Pacoricona et al., 1991).

En general no hay muchos estudios sobre esta temática en el lago Titicaca, y dentro de los existentes la mayoría tratan sobre parámetros fisicoquímicos o microbiológicos en la bahía interior o en el lago mismo; pero, estudios sobre carga contaminante y acumulación de sedimentos son escasos, excepto el de JICA (2000) y el de Loza-Del Carpio et al. (2016), los cuales son citados más arriba.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Las aguas residuales de la ciudad de Puno

Según estimaciones de 1991, sólo el 24% de la población de Puno estará conectada a la red de alcantarillado. La red de alcantarillado de Puno fue construida en 1920 y ampliada en 1970 y 1979. Existe un problema de infiltración a las aguas subterráneas calculado en 20000 L/día/km (13 L/s), lo que indica la existencia de numerosas roturas en la red de recolección de aguas residuales domésticas y durante sucesos de alta precipitación, El sistema de alcantarillado se atasca cuando se introducen en él volúmenes importantes de partículas en suspensión (arena, limo); además que estas roturas representan un riesgo potencial para la salud debido a la contaminación por infiltración entre alcantarillas sanitarias y tuberías de agua potable (Pacoricona et al., 1991). Para los años ochenta los 23625 habitantes (de los 90 mil en total) que tenían conexión con la red de alcantarillado contribuyeron con una carga orgánica de unos 1276 kg/día, de estas el 82% procede de fuentes domésticas, el 17% de fuentes comerciales y el 1% de industriales, siendo la descarga máxima entre las 8.00 y 15.00 horas (Pacoricona et al., 1991).



Para tratar las aguas residuales se construyó una laguna de estabilización en 1968 conectando la isla Espinar a la orilla por medio de dos terraplenes, tiene un área superficial de 22.3 ha y una profundidad de unos 1.5 m, aproximadamente sólo un tercio de la carga de aguas residuales se descarga en la laguna; se reportó además 13 puntos de descarga directa a la bahía interior de Puno, una de ellas es la procedente de la UNA Puno, luego entre el barrio vallecito y el muelle las aguas residuales discurren por zanjas y toda esta orilla está contaminada con aguas negras sin tratamiento procedentes de alcantarillas rotas; hacia el sur del muelle hasta el Jr. 9 de octubre siete alcantarillas vierten directamente a la bahía interior y luego cerca de la laguna de estabilización se descargan las aguas del cuartel militar (Pacoricona et al., 1991).

Sobre este aspecto, Ocola y Laqui (2017) demuestran que, hasta la construcción de la laguna de oxidación de 21 ha en 1972, todos los efluentes municipales de la ciudad de Puno se vertían en la bahía interior de Puno sin tratar a través de una serie de emisarios situados a lo largo de la playa. Sin embargo, la principal causa de contaminación y eutrofización de la bahía interior de Puno ha sido el colapso de este sistema de tratamiento en los últimos 10 años debido a que los vertidos de aguas residuales superaban el caudal de diseño.

Se supone que esto ocurrió, debido a que el funcionamiento de esta laguna siempre estuvo en duda ya que sólo se pudo calcular muy aproximadamente el período de retención; la laguna tiene un área superficial de 223000 m² y una profundidad media de 1.5 m, lo que supone un volumen de 334500 m³ y suponiendo una entrada media de aguas residuales municipales de 40 L/s (3456 m³/día), el período de retención de la laguna sería de 97 días, pero ese valor podría cambiar considerablemente si se dispusiera de mejores conocimientos sobre las entradas de la misma, las pérdidas de agua del dique y los cambios en el nivel del lago; además no hay datos empíricos disponibles relacionados con el funcionamiento de lagunas de estabilización a grandes alturas (encima de 3000 msnm). Una de las preocupaciones tiene que ver con la saturación reducida de oxígeno en agua a



grandes alturas, por lo tanto, no está muy claro como funcionaría la laguna si recibiera todas las aguas negras municipales de Puno, además los altos niveles del lago en 1987 hicieron imposible el funcionamiento de la laguna (Pacoricona et al., 1991).

En la ciudad de Puno se descargaban más de 200 L/s de aguas residuales sin tratamiento en 1995; de la población, alrededor de 23.625 tenían conexión al alcantarillado y aportaban 1.276 kg de carga orgánica por día; el 82% de las descargas eran domésticas, el 17% comerciales y el 1% industriales; las descargas máximas se producían entre las 8:00 y las 15:00 horas, y los mayores caudales ocurrían durante los períodos lluviosos (INRENA, 1995).

Según el INRENA (1995), la red de alcantarillado de la ciudad tenía 72 km de longitud y 4.725 conexiones, que abastecían a unas 2.3650 personas. El estudio también señala que había problemas de penetración de aguas subterráneas en el sistema, con una infiltración estimada de 20.000 L/día/km -o un caudal medio de 13 L/seg-. Las fuertes lluvias arrastran al alcantarillado grandes cantidades de sólidos en suspensión, como arena y sedimentos, que obstruyen su flujo. Además, las diversas roturas en el sistema de alcantarillado representan un riesgo significativo para la salud pública debido al potencial de contaminación por infiltración entre las tuberías de agua potable y los colectores de drenaje (INRENA, 1995).

El sistema de alcantarillado de la ciudad de Puno estaba formado por dos interceptores, una laguna de estabilización y una red de colectores. Tras ser recogidas en canales cerrados y abiertos, las aguas pluviales se vierten a la bahía de Puno. La laguna de estabilización es una instalación de tratamiento de aguas residuales situada junto a la isla Espinar, en la ciudad de Puno. Fue construida en 1995 para tratar las aguas residuales que el INRENA (1995) consideraba no tratadas y en mal estado. La laguna tiene capacidad para tratar un caudal de hasta 5 L/s.

La razón de la presencia de aguas residuales en los desagües pluviales fue el desbordamiento de los alcantarillados sanitarios y las entradas encubiertas; hay más de 13 puntos de descarga, que transportan aproximadamente el 90-95% de las aguas residuales de Puno; estos incluyen una descarga directa considerable en la bahía de Puno a través de Jr. Ricardo Palma, las descargas pluviales al Jr. 9 de Octubre, y las aguas servidas de la Universidad Nacional del Altiplano (UNA) que corren por una zanja debajo de la vía férrea; además, los desbordes de aguas servidas de los desagües pluviales entre el barrio Vallecito y el muelle de la ciudad, y otras tres descargas directas al lago a través del Jr. Los Incas, Jr. Carabaya y Túpac Catari (INRENA 1995).

El tratamiento inadecuado de las aguas residuales afecta la utilización de otros recursos de la bahía y amenaza las áreas adyacentes; el uso del agua proveniente de la zona litoral para consumo humano es extremadamente peligroso y es cada vez más arriesgado el uso de agua de pozos de la zona ribereña, el lavado de ropa y la recreación en el lago. También se ve amenazado seriamente el uso de tierras próximas a la orilla del lago para la agricultura y la vivienda, al igual que la pesquería artesanal y comercial, la cosecha de plantas acuáticas y finalmente, la contaminación ha ejercido un impacto negativo en el valor paisajístico y turístico del lago (Northcote et al., 1991).

2.2.2. La bahía interior de Puno (BIP)

Con una profundidad media de 2,4 metros y una máxima de 5 a 6 metros, la bahía interior de Puno es una minúscula sección del lago Titicaca, que abarca 17,5 km², es decir, el 0,2% de la superficie total del lago. Su volumen se estima en unos 41,52 Hm³, y la ciudad de Puno, de poco más de 134.000 habitantes, está situada en sus playas, entre las islas de Esteves, al noreste, y Chimú, al sur. Entre el borde de la masa de agua (3810 m.s.n.m.) y los 4200 m.s.n.m. -el punto de las laderas del cerro Azoguine- la ciudad ha crecido. En época de lluvias, dieciséis arroyos que pasan por debajo de la ciudad y transportan las precipitaciones a la bahía interior de Puno se originan en la microcuenca cerrada de 35 km² que rodea la zona. La ciudad de Puno, abarcando el Cercado y sus

barrios vecinos, se encuentra dentro del ámbito de influencia de la Bahía Interior de Puno. Ésta abarca la región costera comprendida entre la isla Esteves y la ciudad de Chimú, al norte y al sur, respectivamente. Aquí no sólo se ubican los muelles lacustres de Puno y Laykakota, sino que también reside la población del distrito de Salcedo. (Ocola y Laqui 2017).

El BIP es poco profundo, está cerrado y tiene poco caudal; cuando esto se combina con elevados aportes de nutrientes, el resultado es una zona muy contaminada, localizada, pero que avanza y que ha afectado negativamente a la biota de la región (Northcote et al., 1991). La mala calidad del agua de la bahía interior de Puno está relacionada principalmente con el alto nivel de nutrientes y materia orgánica procedentes del drenaje superficial hacia el BIP durante las precipitaciones. Es necesario realizar estudios exhaustivos, ya que la estratificación recurrente del BIP puede impedir que el lago se recupere del reciclaje de nutrientes de los sedimentos (Miranda et al., 1991).

2.2.3. Aguas residuales

Las aguas residuales, a veces conocidas como aguas negras, son aguas que quedan después de que la gente las haya utilizado. Puede contener residuos domésticos y de cocina, heces y orina mezcladas, agua procedente del lavado corporal, del lavado de ropa y de productos de limpieza. Y pueden incluir también aguas residuales generadas en la industria, siendo en este caso fuente de metales pesados que conducen a efectos ecotóxicos en la diversidad de especies y también en la salud humana (Malavé et al, 2013).

Las aguas residuales domésticas y municipales suelen contener un 99% de agua y un 1% de sólidos orgánicos disueltos, suspensiones coloidales y productos químicos inorgánicos, que incluyen micronutrientes como hierro, cobre, zinc y boro, así como macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio. (WHO, 2006).



a) Clasificación de aguas residuales según su proveniencia (Van der Hoek, 2004).

Las aguas negras, o aguas residuales, proceden de los inodoros y contienen coliformes fecales, nitrógeno y partículas en suspensión procedentes de los desechos humanos y la orina. Las aguas grises, o aguas residuales domésticas, es decir, las que no proceden de los inodoros, también contienen partículas en suspensión, fosfatos, lípidos y coliformes fecales. Se producen en fregaderos, bañeras, duchas y lavadoras. Las aguas residuales municipales incluyen estas dos categorías de aguas residuales. Por último, la combinación de aguas residuales industriales y aguas residuales procedentes de sus vertidos se conoce como aguas residuales industriales mixtas. La mayoría de los contaminantes de los vertidos tienen repercusiones negativas para la salud si no se controlan o tratan. Estos contaminantes son un subproducto del proceso industrial.

b) Clasificación de aguas residuales según la actividad (OEFA, 2014). Las aguas residuales de procesos industriales, mineros, agrícolas y energéticos son ejemplos de procesos productivos que producen aguas residuales industriales. Las aguas residuales domésticas proceden de fuentes residenciales y comerciales e incluyen los residuos fisiológicos humanos. Las aguas residuales domésticas combinadas con los desagües pluviales y las aguas residuales industriales que han sido tratadas antes de ser admitidas en el sistema de alcantarillado son ejemplos de aguas residuales municipales.

c) Componentes aguas residuales. Los parámetros más usuales a evaluar en aguas residuales son las grasas, los sólidos (suspendidos, disueltos y sedimentables), DBO₅, DQO y también nitrógeno y fósforo total (Metcalf – Eddy, 1995). Según Rosabal et al. (2012), la DQO mide la cantidad total de materia orgánica susceptible de oxidación química, tanto biodegradable como no biodegradable, y esta medida es útil para determinar el grado de contaminación orgánica del agua. Como medida de la eficacia

del proceso, la DBO5 es la métrica más significativa en el control de la contaminación. Denota la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para descomponer biológicamente la materia orgánica del agua (Metcalf y Eddy, 1998).

Los problemas relacionados con cualquier tipo de aguas residuales vienen determinados tanto por su composición cualitativa como cuantitativa. Así, entre otras cosas, en las aguas negras y grises pueden encontrarse helmintos, materiales coloidales y restos orgánicos. Además, las aguas residuales industriales a veces incluyen metales pesados y otros contaminantes que son peligrosos. (Nuñez, 2015).

Se cree que un litro de aguas residuales contamina al menos ocho litros de agua dulce, lo que significa que cada año se pierden aproximadamente 12.000 km³ de los recursos hídricos del planeta. Se prevé que esta cantidad aumente a la par que el crecimiento de la población, que se estima alcanzará los 9.000 millones de personas en 2050, y supondrá la pérdida anual de unos 18.000 km³ de recursos hídricos. Sólo el 10% de las aguas residuales domésticas se recogen actualmente en los países en desarrollo, y sólo el 10% de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales ya existentes son fiables y eficaces. (UNESCO 2006).

2.2.4. Caudales de aguas residuales en ciudades

En el Reino Unido, una persona promedio produce 150 litros de aguas residuales al día, más que Dinamarca por ejemplo que tiene un promedio de 80 litros, pero mucho menos que Estados Unidos, cuyo promedio es 370 litros/persona/día y actualmente es un 55% más de que en 1980 (WTE, 2024). En general, la cantidad de aguas residuales producida por una persona promedio varía según el lugar donde vive y su estilo de vida, según las Naciones Unidas, una persona promedio produce unos 360 litros de aguas residuales al día; sin embargo, esta cifra puede variar mucho dependiendo de varios factores como la edad, el sexo y la ubicación geográfica; por ejemplo, si, en países



desarrollados como Estados Unidos, la persona promedio produce alrededor de 300 a 380 litros de aguas residuales por día, por el contrario, gente de países en desarrollo produce entre 57 a 76 litros por día (ECOSEPTIC, 2020).

Es importante señalar que no todas las aguas residuales producidas por una persona son perjudiciales para el medio ambiente, por ejemplo, aguas residuales de duchas y lavados contienen muy poca materia orgánica y pueden tratarse con relativa facilidad; pero, aguas residuales de inodoros y de procesos industriales pueden contener sustancias químicas nocivas y patógenos, lo que hace que su tratamiento sea más difícil y costoso (ECOSEPTIC, 2020).

Así mismo, el caudal de aguas residuales según horario también depende de la ciudad, por lo general suele ser mayor entre 17 y 18 horas y el máximo entre 6 y 7 horas; lo más bajo ocurre entre 20 horas hasta las 5 horas. Este es el ejemplo de un poblado pequeño de Bolivia, cuya población es de 420 personas y el caudal de aguas residuales de 0.4 como mínimo a 1.4 L/seg; en cambio para la ciudad de Wikes (USA, con 600 habitantes), el mínimo es de 300 gpm (galones por minuto) (a las 15 horas) y el máximo con 1700 gpm a las 19 horas (107 L/seg), por lo que el caudal general de aguas residuales está determinado por la población de la localidad (Mihelcic y Zimmerman, 2012). Otro ejemplo es de una población pequeña de España, cuyo caudal producido es de 480 m³/hora (133 L/seg), siendo el mínimo entre 4 y 6 de la mañana y el máximo entre 10 y 12 am y el siguiente máximo entre 8 y 10 pm (Moya, 2013).

Una estimación general es que entre el 60 y 90 % del agua utilizada se vuelve agua residual, de ese modo el consumo de agua per capita en Latino América y Caribe es de 70 a 190 L/día y una persona de casa típica produce un promedio de 70 gal/día de agua residual y consume 95 galones/día de agua potable (Tchobanoglous et al. 2003). Pero, en la mayoría de comunidades hay muy poco flujo nocturno, el caudal se incrementa en las mañanas, hay un flujo promedio durante el día y le sigue un segundo incremento al atardecer (Mihelcic y Zimmerman, 2012). En una ciudad peruana con 215458 habitantes,

se tiene un caudal medio de 427 L/seg y un máximo de 767 L/seg, siendo los picos máximos a las 8 horas y 20 horas y el mínimo a las 4 horas (ANA, 2017).

Los caudales (y cargas) de aguas residuales varían a lo largo del día, también a lo largo de la semana y el año; los caudales son bajos por la noche, cuando la gente duerme; aumentan bruscamente a la hora del desayuno (8 am aproximadamente), puede haber un "pico" similar a la hora del almuerzo (1 a 2 pm) y luego otro por la noche (7 pm aproximadamente); ciertas actividades domésticas pueden ser más comunes entre semana que los fines de semana (por ejemplo, lavar la ropa) y por último, durante la estación calurosa, las personas pueden utilizar más agua (por ejemplo, duchándose con mayor frecuencia) (ECOSEPTIC, 2020).

2.2.5. Problemática de las aguas residuales

El 80% de las enfermedades del mundo esta relacionadas con la falta de un suministro de agua limpia y saneamiento adecuado (Agarwal et al., 1981 cit op Northcote 1991). Según datos de WaterAid, las enfermedades causadas a menudo por la ausencia de un sistema prevenible de tratamiento de aguas residuales se cobran la vida de un niño cada 15 segundos. (Midcoast-Water, 2013).

En las aguas residuales pueden encontrarse microorganismos patógenos causantes de enfermedades humanas, como bacterias, virus y parásitos. Los protozoos y los huevos de helmintos, más virulentos y difíciles de tratar, se relacionan con frecuencia con una amplia gama de trastornos infecciosos y gastrointestinales, tanto en los países en desarrollo como en los ricos (Shuval, 2000). El tratamiento inadecuado de las aguas residuales afecta principalmente a la salud de las personas de las siguientes formas: directamente, a través de brotes de enfermedades (alimentarias, hídricas y transmitidas por vectores); indirectamente, a través de enfermedades persistentes (infecciones por helmintos intestinales, enfermedades diarreicas); y de forma no contagiosa, a través de la



ingestión de aguas residuales contaminadas con residuos industriales que contienen metales pesados. (OMS 2013).

En términos absolutos, el número de personas que viven en áreas metropolitanas sin acceso a fuentes de agua potable aumentó de 111 millones a 149 millones entre 1990 y 2012. A pesar de que las regiones urbanas suelen tener mejor acceso al saneamiento que las rurales, entre 1990 y 2012, el número de residentes urbanos que carecen de saneamiento adecuado aumentó un 40%, de 541 millones a 754 millones, como consecuencia de la creciente urbanización de la ciudad. La mayoría de las ciudades carecen de los recursos necesarios para la gestión de las aguas residuales o no los dedican. Se cree que el 90% de las aguas residuales urbanas de los países pobres se vierten sin tratar en ríos, lagos u océanos. (WWAP, 2015).

Los ecosistemas acuáticos son vitales para la vida tal como la conocemos, pero también son entornos delicados que se contaminan fácilmente por vertidos de aguas residuales no controlados; las aguas residuales municipales son una combinación de emisiones de hogares, comercios e industrias, así como de escorrentías e infiltraciones urbanas. La cantidad de agua residual está determinada principalmente por el consumo de agua, el clima y estado del sistema de alcantarillado; la variación de su calidad depende de la composición de las descargas industriales (por ejemplo, metales pesados y otros compuestos tóxicos) (UNEP/WHO/HABITAT/WSSCC, 2004).

Impactos de las aguas residuales en el medio ambiente

Si las aguas residuales no se tratan adecuadamente antes de verterlas a los cursos de agua, pueden tener un efecto negativo en el ecosistema. (ECOSEPTIC, 2020):

- Contaminación de fuentes de agua: si las aguas residuales se vierten en ríos, lagos u océanos sin ser tratadas, pueden contaminar estas fuentes de agua con patógenos y productos químicos nocivos.



- Floraciones de algas nocivas: Las aguas residuales que contienen altos niveles de nutrientes, como nitrógeno y fósforo, pueden promover el crecimiento de floraciones de algas nocivas, que pueden matar peces y otras formas de vida acuática.
- Pérdida de biodiversidad: las aguas residuales no tratadas también pueden provocar la pérdida de biodiversidad en los ecosistemas acuáticos al destruir hábitats y matar la vida silvestre.

2.2.6. Uso de aguas residuales

Siempre que se tomen las precauciones necesarias para salvaguardar la salud pública y el medio ambiente, las aguas residuales pueden ser un recurso valioso que debe explotarse sin restricciones. Para garantizar la calidad de las aguas residuales y su uso seguro, es crucial realizar investigaciones químicas y microbiológicas, estudios epidemiológicos y evaluaciones cuantitativas de riesgos. (Gonzalez y Chiroles, 2011).

Dado que 20 millones de hectáreas en 50 países se riegan con aguas residuales crudas o parcialmente tratadas, y que se cree que el 10% de la población mundial consume alimentos regados con aguas residuales, ha aumentado la cantidad de aguas residuales que se vierten sin tratar a ríos, lagos u océanos en los países en desarrollo, a pesar de que el 90% de todas las aguas residuales se vierten a estas fuentes. (OMS, 2013).

La reutilización de aguas residuales depuradas asciende a 2444 millones de galones diarios (mgd) en Estados Unidos. Cincuenta países en total reutilizan las aguas residuales depuradas para el riego agrícola. En México se reciclan 1180 mgd de aguas residuales depuradas para regar las explotaciones agrícolas. En Israel, el 75% de las aguas residuales depuradas se vuelven a utilizar para regar las tierras. Israel exporta la mayor parte de sus frutas y verduras a Europa, que tiene normas estrictas en cuanto a salubridad y calibre de su cocina. En la región meridional de la Unión Europea, el 44% de los proyectos de reutilización de aguas residuales depuradas se destinan al riego agrícola. En Australia, la reutilización de aguas residuales tratadas para el riego agrícola representa



el 47% de los proyectos. 39 mgd de aguas residuales tratadas se utilizan como riego en la región vitivinícola de Argentina, provincia de Mendoza. Por último, las aguas residuales tratadas se utilizan para el 37% del riego agrícola de Colombia. Según el Consejo Mundial del Agua, para alcanzar la seguridad alimentaria en 2050 sería necesario reutilizar las aguas residuales depuradas para el riego agrícola. Por su parte, la ONU reconoció que el logro de la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición pública dependen de la reutilización de las aguas residuales depuradas para la acuicultura y el riego agrícola. (Soderberg, 2016).

2.2.7. Los sedimentos lacustres

simboliza la acumulación de materiales orgánicos y minerales en el fondo de una masa de agua. Los materiales orgánicos pueden ser autóctonos o alóctonos, producidos en la misma masa de agua o en otro lugar, o pueden ser fragmentos de organismos muertos que han muerto en el sedimento, excreciones, materia orgánica floculada o residuos del organismo en descomposición. (Margalef, 1983).

La arena, la arcilla, el limo y otras partículas sueltas del suelo que se depositan en el fondo se conocen como sedimentos en los ecosistemas acuáticos. Estas partículas pueden ser transportadas a ríos, lagos y arroyos por el viento, el agua y el hielo. También pueden ser el resultado de la erosión del suelo o de la descomposición de plantas y animales. (MARC, 2022).

La erosión, el transporte y la sedimentación de partículas minerales están influidos por la dinámica interna del lago, incluidas las turbulencias, y las corrientes dominantes. Tanto el transporte horizontal como el vertical contribuyen a la deposición de materiales en el fondo. El primero se debe al arrastre de sedimentos por los ríos y otros cursos de agua, mientras que el segundo se compone de materia orgánica ya suspendida por los movimientos del agua y se complementa con materiales inorgánicos y orgánicos producidos por el propio lago. (Margalef, 1983).

Además de reflejar las fluctuaciones temporales de determinados parámetros hidrológicos y químicos y la calidad ambiental general del agua del sistema, los sedimentos de los medios acuáticos son cruciales para la detección, el seguimiento y la dispersión de metales contaminantes. (Arias, 2017).

Los grandes lagos constituyen un recurso natural extraordinario, esta riqueza de agua dulce sustenta grandes poblaciones y diversas formas de plantas y animales, numerosas actividades económicas recreativas y son un sistema de vías fluviales fácilmente disponibles para la actividad económica y la pesca (Adriaens et al., 2002).

En aguas anóxicas, la fauna superior está ausente, y si los lagos son profundos, la sedimentación se conserva capa por capa, reflejando intrincadamente las vicisitudes del lago. Se pueden encontrar bacterias vivas enterradas a gran profundidad en los sedimentos, pero los eucariotas están restringidos a unos pocos centímetros inmediatamente en la superficie del sedimento, y los animales del bentos mezclan constantemente las capas superiores del sedimento (bioturbación). (Margalef, 1983).

Clasificación de sedimentos

La clasificación general de los sedimentos es la siguiente: (Gómez, 2005):

- a)** Sedimentos calizos de origen clástico. Estos sedimentos son consecuencia de erupciones volcánicas que son arrastrados por los ríos, los glaciares y el viento, así como de la descomposición de materiales preexistentes.
- b)** Sedimentos de origen biológico (biogénicos). Originados a partir de restos de seres vivos, compuestos carbonatados, ópalo y fosfato cálcico, estos materiales son transportados al lugar de deposición por columnas de agua o precipitaciones in situ, y luego son dispersados a otros lugares por las corrientes y las olas.
- c)** Sedimentos de origen químico (hidrogénicos). Estos precipitados están formados por agua de lagos, ríos o espacios intersticiales; también pueden representar cambios provocados por procesos químicos en las capas sedimentarias.

Según la proveniencia de los sedimentos que contienen materia orgánica y minerales, se clasifican en (Cole, 1988):

- ✓ **Alóctonos.** Los depósitos terrígenos (arenas, limos, conglomerados y arcillas) y los depósitos piroclásticos son ejemplos de los que han sido transportados desde distintos hábitats.
- ✓ **Autóctonos.** Estos incluyen depósitos residuales (lateritas, bauxitas), depósitos orgánicos (carbón, petróleo, gas) y precipitados químicos (carbonatos, evaporitas, cherts, hierro, fosfatos) que se desarrollan en el interior del medio contenido. Los frústulos silíceos de diatomeas y tal vez las espículas de esponjas, junto con el carbonato cálcico precipitado, constituyen la mayor parte del componente inorgánico autóctono.

Según su composición, los sedimentos se pueden clasificar en (Swain y Prokopovich, 1954; cit op, Gomez, 2005):

- a) Copropel: sedimento en el que están presentes formas significativas de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo; el fósforo suele estar acoplado al hierro, al aluminio y, en menor medida, al calcio.
- b) Sapropel: En los yacimientos profundos son frecuentes los largos períodos de anoxia con circunstancias reductoras. El material es negro brillante, está muy saturado de agua, carece de la estructura de copropel, huele a huevos podridos (H_2S), contiene gas metano (CH_4) y el sulfuro ferroso le confiere un color negro brillante.
- c) Sedimentos distróficos: Los sedimentos lacustres distróficos, que se forman a partir de turba de carrizo u otras fuentes alóctonas, son inicialmente bastante similares al copropel de las aguas eutróficas, pero tienen una alta concentración de humus ácido, que tiene un tono amarillo-marrón y es floculento y fibroso.



Contaminación y efectos perjudiciales de los sedimentos en el agua

Debido a la abundante presencia de sedimentos en el agua, estos ocasionan perjuicios a la integridad y funcionamiento del ecosistema acuático, entre ellos (Hakson y Jansson, 1983):

- a) Cuando los embalses de los lagos y arroyos están llenos, los canales se inundan más fácilmente, lo que modifica la profundidad del agua y sus características de flujo.
- b) extinción de criaturas acuáticas. Al haber menos alimento disponible para los peces y otras especies, la cantidad de limo presente en el fondo disminuye su población.
- c) Disminuye la cantidad de luz que llega al agua y modifica la fotosíntesis de las plantas al impedir que la luz solar entre en el agua, lo que reduce el contenido de oxígeno del agua.
- d) Produce turbidez en el agua, alterando la actividad pesquera. Además, en los lagos, se produce la colmatación y pérdida de su volumen.

De acuerdo a MARC (2022) de la EPA, los sedimentos en abundancia pueden ocasionar lo siguiente:

- Las inundaciones son más probables cuando se acumulan en los desagües pluviales y los sumideros que retiran el agua de calles y residencias.
- El agua contaminada por sedimentos se vuelve turbia, lo que imposibilita que la vida acuática vea su alimento.
- El desarrollo de plantas naturales en el agua se ve obstaculizado por el agua turbia.
- Las pérdidas masivas de poblaciones de peces se producen cuando los sedimentos depositados en el lecho del lago destruyen el hábitat de criaturas más pequeñas, alterando la cadena alimentaria normal.
- Pueden provocar problemas de sabor y olor y elevar el coste del tratamiento del agua potable.



- Tienen la capacidad de bloquear las branquias de los peces, lo que disminuye su resistencia a las enfermedades, ralentiza su crecimiento y altera el desarrollo de huevos y larvas.
- Las algas verdeazuladas pueden ser provocadas por los nutrientes arrastrados por los sedimentos, y estas algas pueden emitir toxinas.
- Los depósitos de sedimentos en lagos y ríos pueden modificar el caudal y hacer poco profunda el agua, dificultando su extensión y navegación.

La escorrentía del agua de lluvia acumula sedimentos que deterioran la calidad del agua para los seres humanos, la fauna y el suelo que rodea los arroyos. Estos sedimentos también pueden contaminar el agua debido a la presencia de diversos elementos nocivos. Por ejemplo, en Estados Unidos, el 30% de todos los sedimentos se producen por erosión natural, mientras que el 70% restante se acelera por los cambios en el uso del suelo provocados por las sociedades. La contaminación de los sedimentos provoca daños medioambientales que superan los 16.000 millones de dólares anuales. (MARC, 2022).

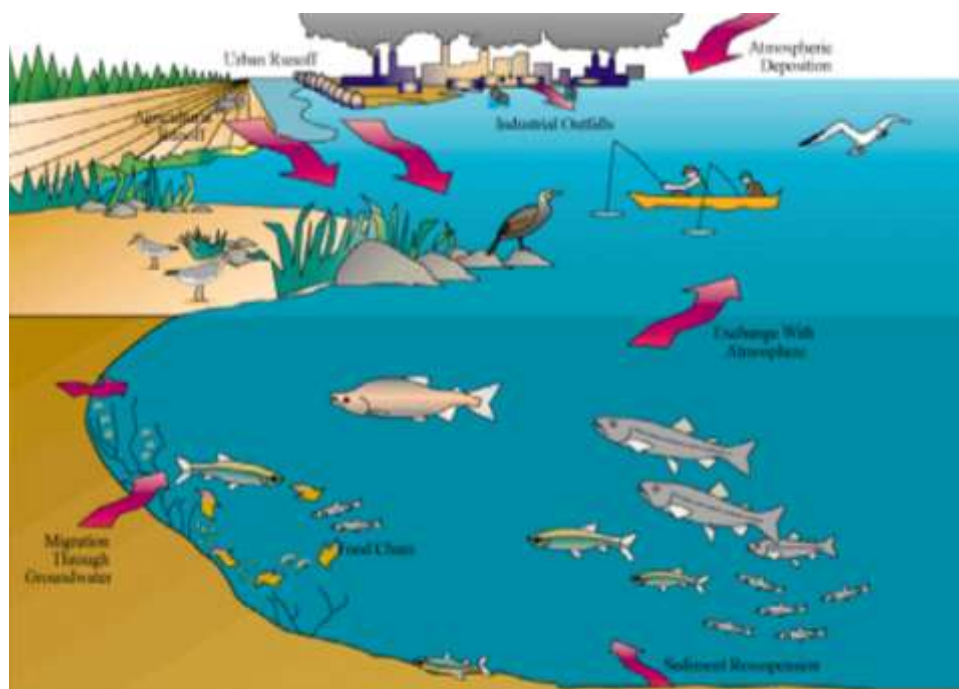
Las descargas de fuentes puntuales y difusas desde instalaciones industriales y municipales, así como escorrentías urbanas y agrícolas hacia los lagos y sus afluentes, aportan sustancias tóxicas al ecosistema, provocando importantes problemas de contaminación. En la mayoría de casos, los contaminantes se introducen en los afluentes a través del transporte de sedimentos y por mecanismos de erosión, exponiendo e impactando a los organismos acuáticos, la vida silvestre y a los humanos a través del desarrollo de tumores cancerosos, pérdida de hábitats adecuados y toxicidad, trayendo como consecuencia, advertencias sobre el consumo de pescado, cierre de pesquerías comerciales y restricciones al dragado para la navegación (Adriaens et al., 2002).

Los sedimentos han adquirido importancia por cumplir el papel de "registrador histórico", especialmente en lagos, ya que lentamente decantan, archivando en sus capas valiosa información del accionar humano sobre el lago, permitiendo reconstruir muchos

aspectos de este impacto y su ritmo de cambio (Vargas et al., 2017). Las causas del incremento de los procesos de sedimentación en la actualidad, se deben principalmente a la actividad agrícola, aguas residuales sin tratamiento urbanas y rurales (que contienen plaguicidas, fertilizantes, excretas), los que traen elementos minerales peligrosos como trazas, siendo estos por ejemplo: $Fe > Mn > Zn > Ni > Pb > Cu > Cd$, Lodos: $Fe > Mn > Zn > Ni > Pb > Cu > Cd$, presentando procesos de geoacumulación de estos metales traza por encima de los valores referenciales y suelen estar asociados con los drenajes de agua residual sin tratamiento (Vargas et al., 2017).

Figura 1

Vías de migración de contaminantes a través de las diferentes interfaces ambientales



Hidrogeoquímica de sedimentos (Adriaens, et al., 2002)

Al considerar la carga de sedimentos de los Grandes Lagos, se deben considerar cuatro vías principales de migración de contaminantes (Figura 1): (a) afluentes que transportan nutrientes, iones conservadores y bifenilos policlorados (PCB); b) la interfaz entre las aguas subterráneas y las aguas superficiales, que es una vía dominante para nutrientes, pesticidas (por ejemplo, atrazina, clordano) y disolventes clorados, así como



hidrocarburos combustibles; (c) la interfaz aire-agua, que es una fuente importante de contaminación atmosférica (por ejemplo, PCB, mercurio), así como un sumidero de contaminantes volatilizados de la columna de agua, y (d) escorrentía agrícola (por ejemplo, pesticidas, nutrientes).

El transporte de sedimentos a través de efluentes hacia los lagos, son la fuente principal de contaminación debido a la descarga directa de las operaciones industriales o áreas urbanas ubicadas a lo largo de los ríos. Por lo tanto, el grado de contribución de los efluentes a la carga de contaminantes sedimentarios es una función que depende de la estabilidad del lecho del río, el flujo promedio de agua y el nivel y tipos de contaminantes que contiene. Por tanto, cualquier información sobre las contribuciones de los efluentes a la carga contaminante de los lagos es importante y específica del sitio.

El transporte atmosférico también tiene un importante impacto ambiental resultante de la reemisión de la carga de sedimentos por PCB, toxafeno y pesticidas organohalogenados en la columna de agua y a través de la interfaz aire-agua, debido a su volatilización local o regional, en lugar de un transporte a larga distancia.

Biogeoquímica de sedimentos

La deposición de materia orgánica natural y antropogénica, así como de metales pesados en los lagos, es resultado de una interacción compleja entre la hidrodinámica de los sedimentos, los perfiles de contaminantes y la actividad microbiana (Adriaens et al., 2002).

Los perfiles de profundidad, la composición y los tipos de contaminación de los sedimentos llevan casi siempre, la firma del desarrollo humano, por ejemplo se sabe que la acumulación de metales en sedimentos están relacionadas con las descargas de fundiciones (Cu, Pb, Ni), industrias basadas en metales (Zn, Cr y Cd de la galvanoplastia), así como la fabricación de productos químicos; contaminantes orgánicos como bifenilos policlorados (PCB), dibenzo-p-dioxinas policloradas, pesticidas (por ejemplo, atrazina) e



hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en los sedimentos a menudo reflejan combinación de fuentes puntuales conocidas (por ejemplo, aisladores, transformadores, plantas papeleras) y fuentes difusas (deposición atmosférica, esorrentía agrícola) (Adriaens et al., 2002).

Uno de los principales problemas es la contaminación de los sedimentos por metales pesados, considerando que metales pesados (y el mercurio) están omnipresentes en la mayoría de grandes lagos, en concentraciones que oscilan entre < 1 mg/kg y > 100 mg/kg y generalmente, las concentraciones aumentan al disminuir el tamaño de las partículas del sedimento (Murrey et al., 1999). La contaminación por mercurio exhibe un ciclo biogeoquímico complejo (particularmente en sedimentos anaeróbicos) donde el Hg (II): puede reducirse a Hg (0) elemental, puede metilarse y puede precipitar como sulfuro; por lo tanto, aunque la concentración total puede haber disminuido significativamente durante las últimas dos décadas, la fracción biodisponible (% del total) no lo ha hecho y los metales continúan contribuyendo sustancialmente a la toxicidad de los sedimentos (NRC, 1997).

Interacción sedimentos-agua-seres vivos

Los tres componentes de los ecosistemas acuáticos que contienen contaminantes son el agua (intersticial y de columna), los sedimentos (de fondo y en suspensión) y los seres vivos. Para comprender la movilidad de los contaminantes en los medios acuáticos, hay que entender los procesos de sorción/desorción que tienen lugar entre los sedimentos y el agua. Los flujos bentónicos producen el flujo de contaminantes entre la columna y el agua intersticial; los sedimentos suspendidos y del fondo están conectados por procesos de resuspensión-deposición de partículas; y los sedimentos y el agua son una fuente de contaminantes para los seres vivos, donde pueden bioacumularse en la cadena trófica. (Wetzel, 1983).



2.2.8. Sedimentos y aguas residuales

Según Elosig y Sabater (2009), la carga de sedimentos es la ciclación total de masa en un determinado volumen por unidad de tiempo. Para comprender adecuadamente los efectos de la sedimentación en los ecosistemas acuáticos y estimar la sedimentación en los vasos de almacenamiento, es imprescindible cuantificar la cantidad de carga de sedimentos en las masas de agua (Elosegi y Sabater, 2009).

La cantidad de sólidos que una cuenca exporta a lo largo del tiempo se conoce como producción de sedimentos, y esta cantidad es también la que entrará en un embalse en el extremo aguas abajo del sistema. A medida que uno se desplaza por el sistema, es crucial comprender los procesos físicos que tienen lugar a lo largo de los medios lóticos y lénticos, ya que estos procesos determinan la composición química, física y biológica de los medios. Por esta razón, los sedimentos son reconocidos como uno de los problemas más importantes de la calidad del agua. (Fernández, 2011).

Aunque no se le ha prestado mucha atención, los sedimentos son una preocupación que repercute en la calidad del agua de los arroyos naturales y en su uso; entre los factores hidrológicos, el caudal es el que guarda una mayor correlación con la carga de agua. (Montoya y Montoya 2005).

En consecuencia, el tamaño de las partículas de sedimento y su contribución a la contaminación química están relacionados. En términos generales, el porcentaje de un sedimento que es químicamente activo se define como inferior a 63 μm (limo + arcilla). Numerosos contaminantes nocivos, bioacumulativos y persistentes -especialmente las sustancias químicas cloradas que se encuentran en muchos pesticidas- tienen una estrecha relación con los sedimentos, sobre todo con el carbono orgánico que arrastran los ríos como parte de su carga sedimentaria. (Fernández, 2011).

El agua de los ríos transporta partículas en dos estados: suspendidas (materia orgánica o material aluvial como arena, arcilla y fragmentos de roca) y disueltas (materia



inorgánica en forma iónica). Estas partículas son el origen de la turbidez y el color del agua (Roldán y Ramírez, 2008) y están causadas por la erosión de las riberas y la cuenca del río (González del Tanago y García de Jalón, 1995).

Además de ser crucial para la dinámica fluvial, la navegación y la gestión de las inundaciones, la comprensión del movimiento de los sedimentos también permite entender los procesos de contaminación, en particular la captación de determinadas partículas contaminantes por los sedimentos y el posterior transporte de esas partículas. (Montoya y Montoya, 2005).

Las variaciones de las circunstancias espaciotemporales provocan el arrastre, o transferencia de sedimentos, que culmina en sedimentación cuando disminuye la velocidad de la corriente (Montoya y Montoya, 2005). (Hudson, 1997). Los procesos subsiguientes de sedimentación y transporte repercuten en la disminución del volumen, lo que indica la pérdida de los sistemas lagunares. (Márquez et al., 2006).

Un método básico para comprender la importancia relativa de las perturbaciones antropogénicas y el cambio climático, así como sus intrincadas interacciones, consiste en identificar patrones y tendencias en las series temporales de transporte de sedimentos en suspensión. Las series temporales a largo plazo son cruciales para comprender la dinámica del transporte de sedimentos en suspensión a escala de cuenca y para la consiguiente estimación de los flujos de nutrientes y biogeoquímicos. (Restrepo-López et al., 2015).

Según una investigación sobre sedimentos en cuerpos acuáticos del lago Titicaca, en la bahía interior de Puno se acumularon sedimentos entre 1975 y 2012 a un volumen de 887352,02 m³, con una tasa de acumulación anual de 23982,48 m³/año y 4,1 mm/año. (Loza-Del Carpio et al., 2016).

Una cifra citada a menudo es que las aguas residuales están compuestas por alrededor de un 1% de partículas en suspensión, coloidales y disueltas (WWAP, 2017) y un 99% de agua, siendo esta última transportada en forma de limo.

2.2.9. Sólidos en las aguas

Sólidos suspendidos totales (SST)

En las aguas de los diferentes ecosistemas acuáticos, se pueden encontrar diversas impurezas en forma de partículas suspendidas o disueltas (Whitman, 2023). Los primeros hablan de partículas que pueden quedar retenidas en filtros con tamaños de poro tan pequeños como una micra y que están suspendidas en corrientes de aguas superficiales o residuales (SGCA, 2008). El contaminante más común lo constituyen partículas de tierra en forma de sólidos suspendidos totales (o TSS por sus siglas en inglés de total suspended solids), y sus implicaciones ambientales son las siguientes (Whitman, 2023):

- ✓ Las concentraciones elevadas de SST pueden depositarse en el fondo de las masas de agua y recubrir la vida acuática, los huevos o las larvas de macroinvertebrados. Este recubrimiento puede obstruir la transmisión de oxígeno y provocar la muerte de los animales recubiertos.
- ✓ Los niveles elevados de sólidos suspendidos totales (SST) pueden mitigar la eficacia de los desinfectantes del agua potable al proteger a los microbios patógenos de sus efectos nocivos.
- ✓ Diversos contaminantes terrestres pueden ser absorbidos por los SST y transportados a los cuerpos de agua, aumentando su concentración en este último o transportarlos desde lugares más lejanos.

Otros efectos en de los SST incluyen (HACH, 2023):

- Del mismo modo, unos niveles elevados de sólidos suspendidos totales (SST) influyen en la turbidez, aumentan la temperatura del agua y pueden reducir los niveles de oxígeno disuelto. Esto provoca un calentamiento más rápido del agua, ya que las

partículas en suspensión absorben más calor y consumen más oxígeno, lo que repercute negativamente en la vida acuática.

- Un nivel elevado de sólidos suspendidos totales (SST) puede dificultar el crecimiento de otras especies acuáticas, e incluso matarlas, al reducir la transmisión de la luz, lo que a su vez ralentiza la fotosíntesis en las plantas acuáticas.
- El agua con un alto contenido de sólidos disueltos tiene un sabor terrible y puede no ser buena para la limpieza.
- Los niveles elevados de SST tienen el potencial de afectar a la eficiencia de los sistemas de alcantarillado, equipos y sistemas de filtración.
- Para mantener la salud general de las masas de agua receptoras es necesario controlar los sólidos liberados por las operaciones industriales, las plantas de tratamiento de aguas residuales y los sistemas de riego. Unos niveles elevados de SST en lagos, embalses, ríos y arroyos pueden tener consecuencias perjudiciales para el sistema biológico.

Sólidos disueltos totales (SDT)

Se recomienda un máximo de 500 mg/L de sólidos disueltos totales (TDS) en el agua potable. Un nivel elevado de TDS puede causar irritación gastrointestinal, aspecto turbio del agua, disminución del sabor e interferencias con los equipos de tratamiento del agua. El TDS es una medida de la materia presente en el agua que es inferior a 2 micras y no puede ser eliminada por un filtro convencional. (Sigler y Bauder, 2023).

El total de sólidos disueltos (TDS) es el total de todos los materiales solubles en agua que pueden medirse gravimétricamente. Incluye cualquier mineral, sal o metal que se haya disuelto en el agua en forma de moléculas, átomos, cationes o aniones. También incluye pequeñas cantidades de materia orgánica disuelta y sales inorgánicas (calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos). Un nivel elevado de SDT



puede hacer que el agua tenga un sabor agrio o salado, provocar depósitos calcáreos y perjudicar la calidad del agua. (HACH, 2023).

Sólidos sedimentables

La porción de sólidos en suspensión que puede decantar con el agua en reposo y puede ser eliminada fácilmente mediante procesos físicos o mecánicos se mide en volumen (mL/L) y puede encontrarse en diversos tipos de agua, así como en aguas residuales domésticas e industriales. Las partículas son más pequeñas que el agua, con un tamaño medio de 10μ , y se separan de la suspensión en un tiempo determinado (IDEAM, 2017). La sedimentación por gravedad es el método más utilizado para separar sólidos de líquidos en esta situación porque las partículas son más pesadas que el agua. (Peavy et al., 1985).

La cantidad de sólidos que pueden eliminarse durante el primer tratamiento de un agua se mide mediante la medición de los sólidos sedimentables en la muestra, que muestra la cantidad de sólidos que pueden sedimentarse de un volumen determinado de muestra en un periodo de tiempo determinado. (Chacon, 2016).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El estudio se centra en un tipo de investigación exploratoria considerando que se analizarán datos que aún no han sido estudiados a profundidad, Es informativo y descriptivo al mismo tiempo, ya que explica las características de las aguas residuales generadas por la ciudad de Puno y demuestra cómo las aguas residuales afectan al medio ambiente de la bahía de Puno; además tienen un carácter cuantitativo ya que se trabajarán con datos medibles y mensurables que serán procesados mediante diseños estadísticos inferenciales.

3.2. Técnicas e instrumentos de investigación para recolección de datos

3.2.1. *Para identificar el número de efluentes residuales y su caudal*

Se recorrió todo el trayecto de las riberas de la bahía interior de Puno y se georreferenció mediante coordenadas los lugares donde ingresan las aguas residuales directamente a la bahía de Puno, con ayuda de GPS Garmin 20. Luego se midió el caudal mediante el método del flotador para cada punto donde ingresan aguas residuales, para lo cual se utilizó cronómetro y flexómetro.



3.2.2. Para estimar sedimentos que ingresan con el agua residual a la BIP

Se determinó el volumen y el peso de los sedimentos que ingresan con los efluentes residuales mediante el cálculo de sólidos suspendidos totales y mediante desecación de la muestra, por gravimetría se estimó las cantidades de sedimentos que ingresan a la BIP. Además, Se utilizaron conos de Inhoff para calcular el volumen de sólidos sedimentables totales entrantes.

3.2.3. Para determinar la carga contaminante

De acuerdo con las leyes sobre los límites máximos admisibles para las aguas residuales (DS 003-2010-MINAM), se recogieron muestras de aguas residuales y se midieron las concentraciones de las siguientes características fisicoquímicas.:

- DBO5 (Demanda bioquímica de oxígeno): mediante el método de incubación del agua residual durante 5 días a 20°C determinando la diferencia del consumo de oxígeno por parte del material orgánico y microorganismos.
- DQO (Demanda química de oxígeno): mediante el método de oxidación de la muestra con permanganato de potasio en un medio ácido (ácido sulfúrico), lo que determinará el consumo de oxígeno por parte de las sustancias químicas incluyendo los compuestos tóxicos. La cantidad de materia orgánica biodegradable en las aguas residuales se calcula mediante la relación DBO/DQO.
- Oxígeno disuelto (OD), pH, conductividad y temperatura se medirá de las aguas residuales con un multiparámetro YSI, con sensores para los respectivos parámetros mencionados.

Cabe indicar que estos parámetros serán comparados con el DS 003-2010-MINAM, considerando que esta norma proporciona los valores óptimos o aceptables que debieran descargarse las aguas residuales hasta un destino final (lago, laguna, río etc). Cabe indicar que las evaluaciones no se realizarán al interior de la bahía interna de Puno, por ello no se utilizará como norma comparativa los ECAs.

3.3. Procedimientos para identificar el número de efluentes residuales y su caudal

Se hizo un recorrido por toda la ribera de la BIP (lago Titicaca) aledaña a la ciudad de Puno, desde el Sector Huaje hasta el Centro Poblado Salcedo verificando cuidadosamente los puntos donde se encuentran efluentes que llevan aguas residuales de forma directa a la BIP. Verificado un cauce que ingresa directamente aguas residuales a la BIP, se georreferenció el punto en coordenadas UTM con ayuda de un GPS Garmin 20 y estos datos fueron registrados en una planilla para trasladarlos luego a una imagen satelital de Google Eart.

Una vez identificados los puntos de ingreso de aguas residuales, se midió el caudal en cada uno considerando de preferencia horarios entre 8.00 horas hasta las 11.00 horas, cada 15 días durante los meses de julio, noviembre y marzo. Estos muestreos permiten conocer el flujo del caudal de las aguas residuales durante el día y la evaluación quincenal se considera representativa para obtener información mensual durante tres épocas generales del año: secas (julio), transitoria (noviembre) y lluviosa (marzo).

Para este objetivo se consideran como variables intervinientes a las precipitaciones, que luego fueron considerados como variables independientes, que pueden influenciar el caudal de los cauces. Se utilizó la técnica del flotador para cuantificar el caudal en cada punto de toma. El método del flotador es una ecuación matemática que puede utilizarse para estimar la cantidad de agua que fluye por un canal.

$$Q = F_c * A * (L/T)$$

Donde: Q = es el caudal en m³/s, L = es la longitud entre el punto A y B en metros, A = es el área en m², T = es el tiempo promedio recorrido en segundos por el flotador, Fc = es el factor de corrección, para este caso 0.85.; Se realizó un total de 05 mediciones para obtener promedios de cada uno de estos parámetros requeridos, para descartar los valores

errados (Chamorro, 2011; ANA, 2016). Al final, para el análisis de datos el volumen fue en litros por segundo.

3.4. Estimación la cantidad de sedimentos que ingresan a la bahía

En seguida se explica los procedimientos para estimar la cantidad de sedimentos que ingresan a la bahía interior de Puno desde los efluentes con aguas residuales.

Al momento de cada una de las evaluaciones del caudal, se obtuvo una muestra de agua de 1500 mL en frascos de Prolipropileno, la cual fue llevada al Laboratorio de Ecología Acuática de la UNA para realizar análisis de sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables. Los primeros fueron medidos, mediante el método gravimétrico (APHA, 1999), cuya metodología es la siguiente:

- Se tomó una submuestra de 500 mL y se hizo pasar por un filtro de 1.2 μ m de malla utilizando un embudo y recipiente receptor Pyrex, hasta que haya filtrado por completo toda el agua.
- Luego, el filtro con la carga de sedimento se llevó a una estufa a 105°C, hasta obtener peso constante.
- Por diferencia de peso (peso del filtro con el sedimento seco menos peso del filtro) se obtiene los SST en mg/L, bajo balanza analítica con una precisión de 0.0001.

A partir de estos datos se calculó la carga de sedimentos, relacionándolo con el caudal mediante la siguiente relación:

$$Cs = SST * Q$$

Donde: Cs es la carga de sedimentos en mg/seg, SST son los sólidos suspendidos totales en mg/L y Q es el caudal en L/seg. Luego esta carga de sedimentos se convertirá en kg/día, kg/mes y/o ton/año y explicará la carga de material que ingresa con las aguas residuales con potencial de convertirse en los sedimentos que forman parte del lecho de la BIP.



Luego con los otros 1000 mL de submuestra se determinó los sólidos sedimentables totales (SSd) en el mismo laboratorio, cuyo procedimiento fue el siguiente:

- El litro de muestra de agua se homogeneizó convenientemente y se vertió en un embudo Imhoff de 1 L de capacidad, para hacer decantar y precipitar la muestra por espacio de 1 h.
- Se registró luego la cantidad de sedimento precipitado al cabo de 1 hora en mL/L.

Con los datos de SST y SSd se obtuvo estimaciones de la porción de potenciales sedimentos que se introducen a la BIP desde los efluentes, relacionándolos con los valores del caudal determinados en el primer objetivo. Para esto se consideró la siguiente relación:

$$CS = SST * Q$$

Donde:

CS : Carga de sedimentación

SST : Concentración de sólidos suspendidos totales en mg/L

Q : Caudal en L/seg

CS : Carga de sedimentación en mg/seg, la cual fue convertida a kg/día.

Para Ssd, de similar forma se aplicó la siguiente fórmula:

$$CSd = Ssd * Q$$

Donde:

Ssd : Sólidos sedimentables (mL/L)

Q : Caudal (L/seg)

CSd : Carga de sedimentos en Imhoff (en mL/seg, luego transformados a L/día).

3.5. Determinación la carga contaminante de los parámetros fisicoquímicos

Se explica el procedimiento para determinar la carga contaminante de los parámetros fisicoquímicos de efluentes de aguas residuales.

3.5.1. Toma de muestras

Las muestras de agua se colectaron manualmente y de forma aleatoria, colocándose un recipiente directamente en el flujo de la descarga con la abertura o boca en dirección aguas arriba desde la parte media del canal o cauce que trae las aguas residuales, evitando ingreso de sedimentos del fondo o residuos que no sean característicos de la descarga. El muestreo se realizó considerando las debidas precauciones de bioseguridad (uso de guantes, mascarilla, alcohol, jabón). Con las muestras se realizaron análisis de DBO5 y DQO en laboratorio, los parámetros de oxígeno, disuelto, temperatura y conductividad se realizaron con multiparámetro YSI *in situ*.

Para recoger las muestras de DBO y DQO se utilizaron botellas de plástico limpias de boca ancha de 500 ml. Las botellas se llenaron completamente (sin burbujas de aire) para evitar que los procesos de oxidación afectaran a los resultados. A continuación, se sellaron las botellas y se guardaron en cajas protectoras Technopor a una temperatura inferior a 4 °C mientras se transportaban al laboratorio. Estos muestreos siguen los lineamientos técnicos establecidos por el ANA (2016) como protocolo de muestreo de recursos hídricos superficiales.

Los lugares de muestreo incluyeron los puntos de ingreso directo de aguas residuales hasta la bahía interior sin previa disposición en la laguna de oxidación Espinar. Se tienen previstos seis (06) puntos de evaluación desde las cuales ingresan directamente las aguas residuales procedentes de la ciudad de Puno hasta la bahía interior; ellos incluyen los siguientes:

- Punto 1: Descarga desde el barrio san José
- Punto 2: Descarga desde la ciudad universitaria (UNA Puno)
- Punto 3: Descarga desde el Jr. Huancané
- Punto 4: Descarga desde el Jr. Ricardo Palma (Hospital RMNB)
- Punto 5: Descarga desde el Jr. 9 de octubre
- Punto 6: Descarga desde el centro poblado Salcedo.

Los lugares de evaluación se aprecian en la Figura 2, donde los números corresponden a los puntos de muestreo ubicados en los lugares que se indican arriba.

Figura 2

Ámbito de estudio y lugares de evaluación



Nota. Ámbito de estudio y lugares de evaluación desde donde descargan directamente las aguas residuales de la ciudad de Puno hasta la bahía interior.

3.5.2. Determinación de DBO5

Diluyendo las muestras al 5% con agua destilada fresca y aireada durante 24 horas antes del procesamiento de las muestras, se determinó la DBO mediante el método de Winkler. Tras cinco días de incubación a 20°C en la oscuridad, se descubrió el contenido inicial de oxígeno disuelto (DO1) y el contenido final de oxígeno disuelto (DO2). También se calculó y dedujo del valor de DBO obtenido la DBO de los reactivos utilizados (DBO0). Para obtener el valor de DBO5, utilice la siguiente fórmula:

$$OD_{mg/L} = \frac{ml(g) * 8 \times 1000}{V_m * V - 2}$$

**Donde:**

G : gasto de Tiosulfato en la titulación.

V_m : Volumen de muestra.

V : Volumen de la botella.

$$DBO_5 = OD_1 - OD_2/P$$

Donde:

P = Porcentaje de dilución empleado.

3.5.3. Determinación de DQO

Mediante dicromato potásico a 150°C durante dos horas, el material se oxida químicamente como parte del procedimiento. Para evitar cualquier interferencia de cloruro, se utilizan sulfato de mercurio y sulfato de plata como catalizadores. A continuación, la medición se completa mediante espectrofotometría, que proporciona una lectura directa de la concentración de oxígeno en miligramos por litro.

3.5.4. Determinación de pH

Para comprobar el pH in situ se utilizó un pH-metro digital Hi98107 Hanna. Se recogió una muestra de unos 250 mL utilizando un vaso de precipitados, en el que se introduciría el sensor del equipo.

3.5.5. Determinación de oxígeno disuelto, conductividad y temperatura

También se utilizó un multiparámetro YSI 556 correctamente calibrado para medir estos parámetros in situ en el lugar de la muestra.

La expresión matemática utilizada para obtener la carga contaminante de cada parámetro evaluado es la siguiente (CIGEA, 1998; Arias et al., 2022):

$$CP = CP * Q$$

**Donde:**

CP : Carga contaminante del parámetro evaluado

CP : Concentración del parámetro (kg/L)

Q : Caudal L/d

Los valores serán expresados en kg/d, aunque pueden expresarse por mes o por año.

3.6. Diseño de las pruebas de hipótesis**3.6.1. Para identificar el número de efluentes residuales y su caudal**

Los datos recopilados de los caudales fueron procesados y analizados bajo el Software SPSS v26, Se utilizó un diseño de bloques completos aleatorizados para realizar el análisis de la varianza (ANVA) y el análisis estadístico descriptivo (media, desviación estándar, coeficientes e intervalos de confianza), siendo los tratamientos cada punto de evacuación de aguas residuales de forma directa, y los bloques se consideraron a los meses o épocas (julio, noviembre y marzo). Ello permitió diferenciar los caudales que se suscitan en cada uno de los meses evaluados. EL modelo matemático para el mencionado diseño estadístico es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + B_j + e_{ij}$$

Donde:Y_{ij} : variables de respuesta por cada tratamiento y factor μ : promedio general τ_i : Tratamientos (cada punto de evacuación de aguas residuales hacia la BIP).B_j : Factor de épocas o bloque (julio, noviembre y marzo)e_(ij) : Fuentes de error

Cuando se presentaron diferencias significativas entre tratamientos se aplicó la prueba de Tuckey. Todos los análisis fueron procesados bajo una precisión de alfa = 0.05. Previo al análisis se comprobó que los datos cumplan los supuestos de normalidad de



datos y homogeneidad de varianzas, para lo que se utilizaron las pruebas de Shapiro Wilk y de Levene respectivamente.

3.6.2. Para estimar la cantidad de sedimentos que ingresan a la bahía

Los datos de sedimentos que ingresan a la BIP fueron también sometidos a un ANVA en diseño completo al azar, bajo un diseño bloque completo al azar (DBCA), considerando las tres épocas (meses) como bloques, debido a la gradiente de variabilidad entre ellos. El modelo matemático es el mismo elaborado para la sección anterior.

3.6.3. Para determinar la carga contaminante de los parámetros fisicoquímicos

Para cada parámetro determinado se emplearon estadísticas descriptivas, como medias, desviaciones típicas, errores típicos, rangos y coeficientes de variabilidad.. También se aplicó una ANVA en diseño completo al azar para conocer las diferencias entre puntos de muestreo.

3.7. Población y muestra

Todos los vertidos de aguas residuales que entran inmediatamente en la bahía interior de Puno se incluyen en la población, desde las viviendas colindantes de la ciudad (que aún es un número indeterminado) y las muestras vendrían a constituir las evaluaciones quincenales de cada punto de emisión (en dos horarios y por tres meses), obteniéndose un total de 24 muestras (repeticiones) por cada parámetro a evaluar.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificación de efluentes residuales de ingreso a la BIP y su caudal

Se han identificado un total de 14 puntos de ingreso de aguas residuales en diferentes puntos de la ciudad de Puno adyacentes a la bahía interior, siendo 11 de ellas con flujo y caudal directo hasta la BIP y de tres de ellas no presentan caudal, pero se aprecian como zonas empozadas y color típico de aguas residuales; estas últimas incluyen: un desfogue a la altura del Jr. Candelaria en el barrio Bellavista, en el Muelle Puno y un empozamiento en la Av. Bolívar al ingreso a la laguna de oxidación Espinar, por lo que en estos puntos no se midieron caudales. Los 11 restantes efluentes a la BIP si tiene un caudal mensurable cuyos valores se detallan en la Tabla 1. y que han sido medidos en diferentes meses del año.

Tabla 1

Puntos identificados de ingreso directo a la BIP

Referencia	Punto ingreso	Coord.	UTM	JUL.	NOV.	MAR.	Media	DE
San José	1	391707	8250035	0,09	0,13	0,83	0,35	0,42
UNA	2	391395	8249773	1,36	3,4	7,26	4,01	3,00
APROVI-UNA	3	391360	8249773	0,65	1,06	1,85	1,19	0,61
Vallecito 1	4	390958	8249551	3,24	6,75	3,45	4,48	1,97
Vallecito 2	5	390916	8249531	2,08	4,08	1,45	2,54	1,37
Jr. Candelaria	6	390971	8249240	3,75	4,67	SC	SC	
Muelle Puno	7	391055	8248918	SC	SC	SC	SC	
Jr. Carabaya	8	391072	8248660	8,49	20,4	58,9	29,26	26,35



Jr. Ricardo Palma	9	391062	8248419	9,85	17	47,04	24,63	19,73
9 de octubre	10	391595	8247443	2,83	3,21	4,2	3,41	0,71
Ingreso Espinar	11	391909	8247159	SC	SC	SC	SC	
Espinar	12	393080	8247063	190,14	282,43	319,2	263,92	66,49
Salcedo	13	393204	8246001	26,5	43,2	147,59	65,76	37,17
Jayllihuaya	14	393532	8245782	12,32	32,34	106,39	50,35	27,68
TOTAL				261.3	418.67	678.16		

Nota. Puntos identificados de ingreso directo a la BIP desde efluentes de aguas residuales de la ciudad de Puno (en L/seg).

EL ANVA en diseño bloque completo al azar evidenció distinciones altamente significativas entre zonas y además las épocas o meses constituyen una fuerte gradiente de variación (bloques), es decir los caudales varían fuertemente según épocas (Tabla 2). Además, con la prueba de Tukey se comprobó que los puntos con mayor caudal significativo son el desfogue de Espinar, con un valor superior a todos los demás puntos, seguido de Jayllihuaya y Salcedo y en tercer lugar caudales del Jr. Carabaya y Ricardo Palma, finalmente las demás descargas son estadísticamente similares (Tabla 3).

Tabla 2

Varianza en diseño bloque completo al azar para los caudales

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Meses	5548,240	2	2774,120	5,668	0.011
Zonas	191693,363	10	19169,336	39,166	0.000
Error	9788,872	20	489,444		
Total	279150,298	33			

Nota. Análisis de varianza de los aportes de efluentes de aguas residuales de la ciudad de Puno mediante diseño de bloques completos al azar.

Tabla 3*Prueba de Tukey ($p < 0.05$) para las diferencias entre medias*

Zonas	N	D	Subconjunto		
			C	B	A
San José	3	0.3500			
UNA	3	1,1867			
Vallecito 2	3	2,5367			
Jr. 9 de octubre	3	3,4133			
APROVI - UNA	3	4,0067			
Vallecito 1	3	4,4800			
Jr. Ricardo Palma	3	24,6300	24,6300		
Jr. Carabaya	3	29,2633	29,2633		
Jayllihuaya	3		74,6833	74,6833	
Salcedo	3			105,7633	
Espinar salida	3				263,9233
Sig.		0.865	0.238	0.809	1.000

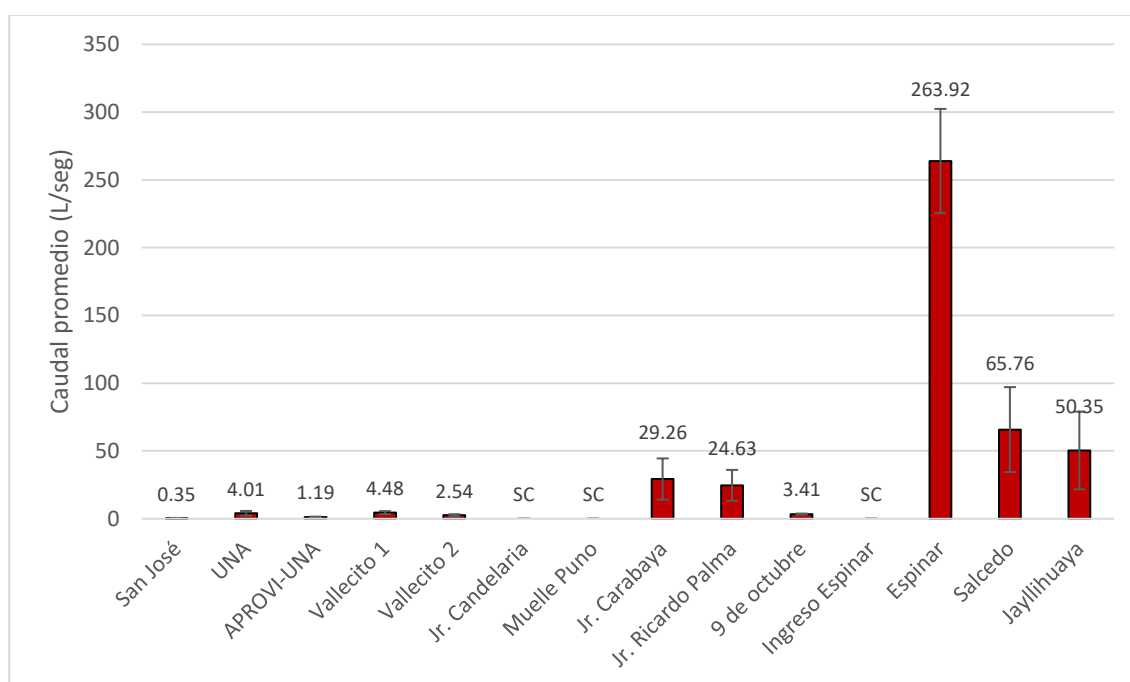
Nota. Prueba de Tukey ($p < 0.05$) para las diferencias entre medias de los distintos puntos de descarga de aguas residuales de la ciudad de Puno hacia la BIP.

Cabe que estos puntos de ingreso no tienen ningún tratamiento previo, inclusive el punto de la laguna de oxidación a la salida de Espinar, es considerada como un ingreso directo, ya que todas las aguas residuales de la ciudad de Puno que llegan previamente a esta laguna no son adecuadamente tratadas, por lo que constituyen un efluente directo a la BIP (Ocola y Laqui, 2017) y es este punto el que tiene el mayor caudal promedio con 263.92 L/seg. Otros puntos de ingreso directo importantes lo constituyen el cauce de Salcedo con 65.76 L/seg y de Jayllihuaya con 50.35 L/seg, ambos en la época de lluvias (marzo) aumentan considerablemente el caudal, ya que constituyen arroyos de microcuencas que aumentan de caudal con las precipitaciones y además reciben aguas residuales desde las viviendas, probablemente de conexiones clandestinas. Es destacable también el caudal de ingreso a la altura del Jr. Carabaya que promedia 29.26 L/seg, que también es un cauce de microcuenca al que ingresa aguas residuales de algunas viviendas y es preocupante el

caudal del Jr. Ricardo Palma con 24.63 L/seg, que trae consigo aguas residuales del Hospital Regional Manuel Nuñez Butrón e ingresa directamente al lago. La UNA Puno también descarga aguas residuales directamente al lago con 4.01 L/seg y otras descargas menores están la del barrio San José con 0.35 L/seg. La Urbanización APROVi descarga 1.19 L/seg y el barrio Vallecito en dos sectores con 4.48 y 2.54 L/seg, pero estas tres últimas ingresan a la laguna confinada del malecón turístico (Ver Figura 3 y Figura 4).

Figura 3

Caudal promedio de ingreso ($\pm DE$) de efluentes a la BIP



Nota. Caudal promedio de ingreso ($\pm DE$) de efluentes a la BIP con descargas de aguas residuales identificados en distintos lugares de la ciudad de Puno.

Al respecto, en la década de 1980 se identificaron 13 puntos de descarga, sin considerar el de la laguna de oxidación Espinar, en donde solo un tercio de las aguas residuales de la ciudad de Puno descargaba en la laguna de oxidación Espinar, el resto ingresaba directamente al lago a través de los 13 puntos de descarga (Pacoricona et al., 1991). En la actualidad no ha cambiado mucho esa realidad de hace más de tres décadas ya que continúa persistiendo el ingreso de aguas negras de la UNA, el del barrio Vallecito, del muelle, del Jr. Carabaya, del Jr. Ricardo Palma y del Jr. 9 de octubre (Pacoricona et al.,

1991); en esa época había otras descargas que ya han sido canalizadas al sistema de alcantarillado actualmente, pero se han incrementado las descargas del barrio San José, APROVI y de los centros poblados Salcedo y Jayllihuaya.

Figura 4

Puntos de ingreso de cauces con aguas residuales



Nota. Puntos de ingreso de aguas residuales de la ciudad de Puno a la BIP – 2023. Tomada de Google Earth 2023.

Pacoricona et al. (1991), reportan para el mes de junio de 1982, una descarga promedio diario de aguas residuales a la altura del Jr. Ricardo Palma de 12.2 L/seg y de la UNA Puno de 18.8 L/seg; luego para julio de 1984 en Ricardo Palma fue de 113.4 L/seg y



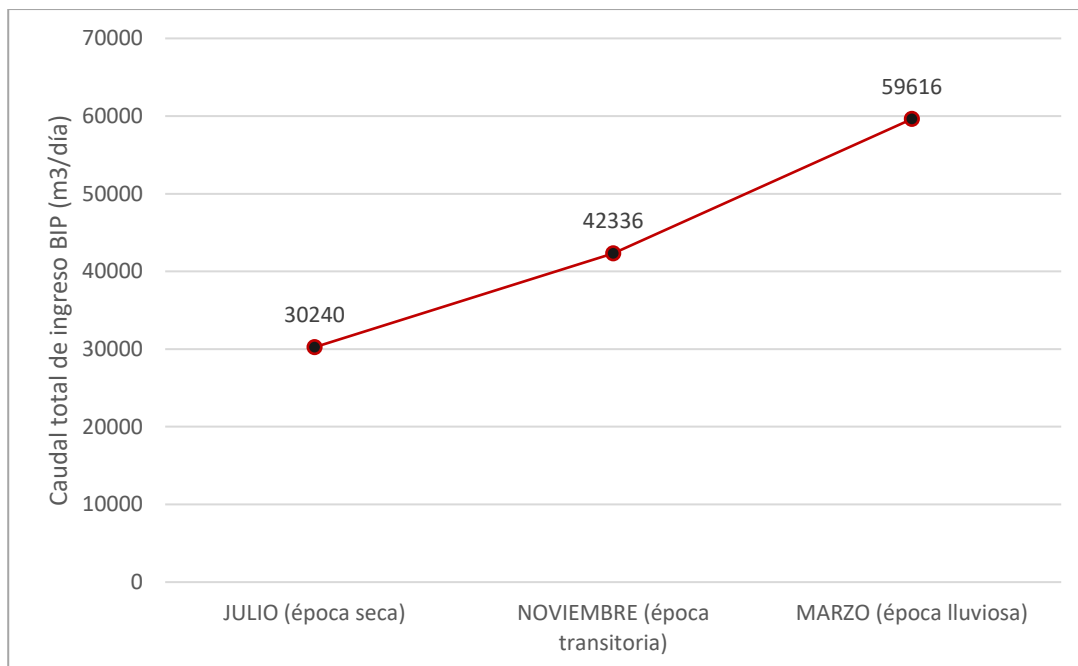
en la UNA de 12.1 L/seg. En nuestro estudio en Ricardo Palma alcanzó un promedio de 24.63 L/seg y en la UNA de 4.01 L/seg, evidenciándose variaciones importantes en estas descargas de acuerdo al año y al estudio; sin embargo, es probable que en la actualidad mayor número de viviendas ya estén conectadas al sistema de alcantarillado, llevando sus desagües a la laguna Espinar, considerando incluso que en esas épocas la población en Puno llegaba a 78483 habitantes (Pacoricona et al., 1991) y en la actualidad supera las 140 mil personas.

Ocola y Laqui (2017), de la laguna de oxidación Espinar sale un caudal de 187.4 L/seg, inferior a lo calculado en el presente estudio que llegó a un promedio de 263.92 L/seg y la UNA emite un caudal de aguas residuales directamente al lago de 0.4 L/seg, también inferior a lo encontrado por nosotros que alcanzó los 4.01 L/seg. Estas diferencias pueden radicar en que a la actualidad hay mayor población o que los aforos realizados por ellos fue en épocas secas y/o horarios de bajo flujo, aunque ellos no indican fechas ni horarios de medición de caudales.

Según épocas, de acuerdo al ANVA (Tabla 2), existe diferencias significativas dependiendo de la presencia de precipitaciones, incrementando significativamente el caudal en cada uno de los puntos respecto a la época seca (Tabla 1). Aunque en términos generales, el caudal total que ingresaría diariamente a la BIP desde puntos de descargas de aguas residuales de la ciudad de Puno, depende según la época. Así en el mes de julio o época seca diariamente estarían ingresando 30240 m³ de aguas residuales directamente a la BIP y en el mes de marzo o época lluviosa incrementaría notablemente alcanzando un total de 59616 m³/día, a este último obviamente se sumarían las aguas pluviales y la escorrentía (Figura 6).

Figura 5

Caudal de ingreso total de aguas residuales



Nota. Caudal de ingreso total de aguas residuales desde todos los puntos de descarga, de la ciudad de Puno a la BIP.

Según OEFA (2014), en el Perú se genera 2 217 946 m³/día de aguas residuales y sólo el 32 % de estas recibe tratamiento, generando cada habitante 142 L/día. Para el 2016, en el Perú se habría incrementado a una producción de 42.5 m³/seg de aguas residuales domésticas y específicamente en la región Puno se estaría produciendo unos 1600 L/seg (1.6 m³/seg), con una capacidad de tratamiento de 200 L/seg (Moscoso, 2016). Teniendo en cuenta que según este último autor la tasa de producción nacional de aguas residuales es de 162 L/día/habitante, y la cantidad de habitantes en la ciudad de Puno es 135288 habitantes (INEI, 2018), tendríamos que la ciudad de Puno produce 0.25 m³/seg (21916 m³/día), lo que coincide cercanamente con nuestras mediciones, ya que en el mes de julio se estimó 261.3 L/seg de aguas residuales que ingresan directamente a la BIP al sumar todas las descargas identificadas (Tabla 1).

En los meses donde se presentan precipitaciones, a estos valores se incrementaría las aguas pluviales y escorrentías, tal como se contempla en los meses de noviembre y marzo. Para el año 1995 se ha estimado una descarga de 200 L/seg y una cuarta de parte de la población (23625 habitantes) que tenían conexión al sistema de alcantarilla aportaban una carga orgánica de 1276 kg/día, donde el 82% son de desechos domésticos, 17% comercial y 1% industrial (INRENA, 1995). Desde esos años hasta la actualidad las descargas han incrementado en un 31 %.

ABA – TDPS (2020), reporta que la laguna de oxidación está colapsada hace décadas y que la carga de aguas residuales que ingresa directamente a la BIP es de 236 L/seg, correspondiendo un aproximado de 190 L/seg que ingresa desde la laguna de oxidación Espinar y el resto desde otras descargas. También este valor es ligeramente coincidente con el estimado en nuestro estudio.

4.1.1. Carga de sedimentos que ingresan a la bahía

De los 14 puntos donde se ubicaron ingresos directos de aguas residuales desde la ciudad de Puno a la BIP (incluyendo de la laguna de oxidación Espinar), 11 de ellos fueron evaluados en sus descargas de sedimentos a partir de los sólidos suspendidos totales (SST), ya que presentaban un caudal permanente. Para ello, primeramente, se determinó las concentraciones de sólidos suspendidos totales, ya que estos tienen una alta potencialidad de sedimentarse e incrementar el volumen del lecho lacustre (Whitman, 2023). Los resultados en los 11 puntos se ilustran en la Figura 7, donde se aprecia que las más altas concentraciones de SST se presentan en la descarga de la laguna Espinar con valores desde 248.5 a 318.2 mg/L, valores esperados considerando que es el lugar donde confluye la mayor parte de las aguas residuales de la ciudad de Puno sin tener un tratamiento apropiado; luego le sigue las descargas del afluyente del Jr. Ricardo Palma con concentraciones desde 185.2 a 297.6 mg/L, un lugar de alto riesgo ya que traen las aguas



residuales del Hospital regional Manuel Núñez Butrón y que al parecer no ingresan al sistema de alcantarillado municipal y gran parte descarga en esta zona.

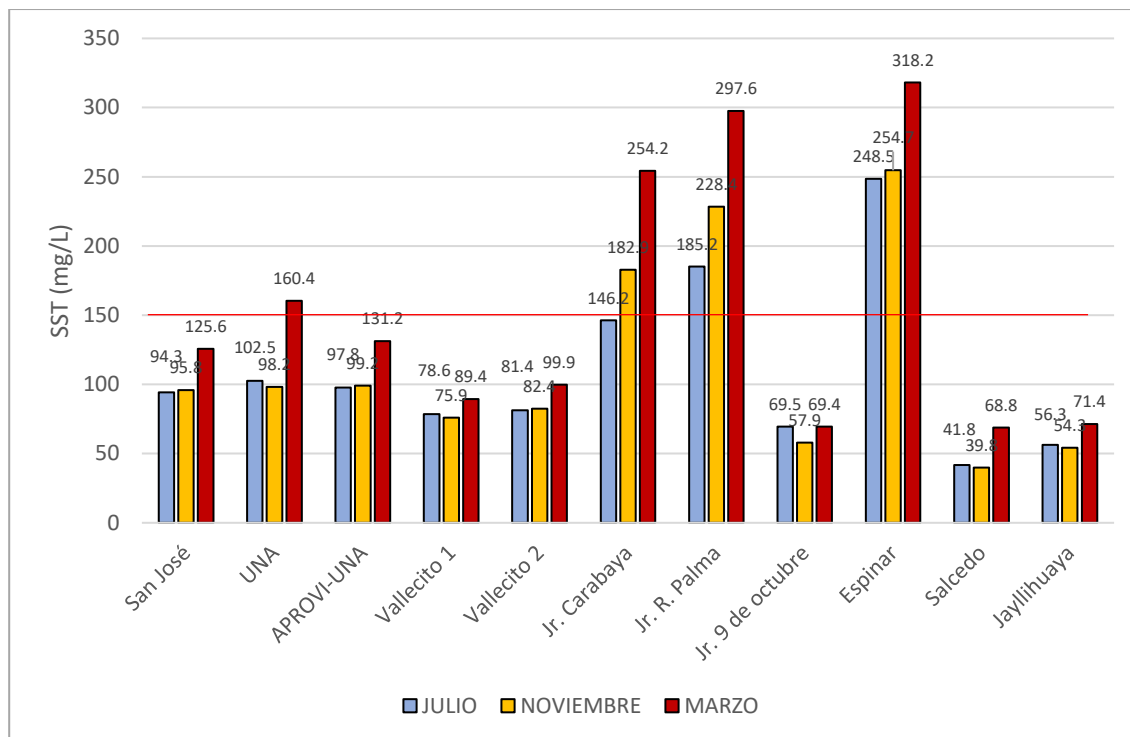
Las concentraciones más bajas se han observado en los efluentes de Salcedo, Jayllihuaya y 9 de octubre cuyos valores no sobrepasan los 80 mg/L y a pesar de que tiene un fuerte caudal, como se aprecia en la Figura 5, sus concentraciones en SST son relativamente bajas y esto es así debido a que gran parte de estos caudales tienen un origen fluvial y pluvial y a estos probablemente se suman aguas de desagües clandestinos o fugas del sistema de alcantarillado, cuyas cargas de contaminantes están más diluidas. El resto de puntos con descargas de aguas residuales tienen también importantes niveles de SST, como es el caso de la UNA Puno cuyos valores alcanzan desde 98.2 hasta 160.4 mg/L, lo que indica que traen altas cantidades de sedimentos.

En la Figura 7 también se aprecia que, en el mes de julio, época seca, es donde hay menores concentraciones de SST e incrementa notablemente en el mes de marzo o época lluviosa, debido a que todos estos efluentes traen consigo también material de la escorrentía de lluvias, material erosionado de las laderas y de otros residuos de la ciudad (Loza-Del Carpio et al., 2016), por lo que es en esta época donde se presentaron los mayores niveles de SST.

De acuerdo a la norma nacional para descargas de SST desde plantas de tratamiento de aguas residuales el límite máximo permisible es de 150 mg/L (MINAM, 2010). En este caso cuatro puntos superan este valor, que incluyen la laguna de oxidación Espinar, Jr. Ricardo Palma y del Jr. Carabaya, en las tres épocas, y el de la UNA Puno sólo en la época lluviosa, lo que quiere decir que en estos cuatro puntos existe importante nivel de contaminación y altas descargas de sedimentos. Incluso los ECAs del MINAM (2017) en la categoría 4, las concentraciones de SST deben ser menor a 25 mg/L, por consiguiente, todos estos puntos de descarga constituyen importantes fuentes de contaminación y de transporte de sedimentos que posteriormente colmatarían el lecho lacustre.

Figura 6

Niveles de sólidos suspendidos totales (SST)



Nota. Concentraciones de SST en los distintos lugares donde se vierte el efluente de la ciudad de Puno en el PIF. Las limitaciones superiores permitidas para los efluentes de aguas residuales se muestran mediante líneas verticales. (MINAM, 2010).

Según las consideraciones de Metcalf – Eddy (1995), los valores de SST alrededor de 350 mg/L corresponden a concentraciones fuertes y alrededor de 220 concentraciones medias y alrededor de 10 mg/L concentraciones débiles; según ello las desembocaduras por el Jr. Carabaya, Ricardo Palma, laguna Espinar e incluso de la UNA presentan cargas medias a fuertes y el resto de efluentes constituyen cargas débiles. Esto obviamente reflejaría en los niveles de arrastre de sedimentos en cada uno de estos puntos de descarga hacia la BIP.

No se cuenta con estudios similares al respecto, especialmente sobre descargas de estos puntos evaluados, respecto a SST, excepto en la laguna Espinar, donde Ordoñez (2013) reportó que existe una concentración de SST de 221 a 558 mg/L en el afluente a la laguna Espinar y de 221 a 496 mg/L en el efluente de dicha laguna (descarga hacia la BIP),

valores que se encuentran en nuestros reportes en esta investigación (248.5 a 318.2 mg/L), lo que demuestra que no ha variado considerablemente estos niveles a través del tiempo.

4.1.1.1. Descargas de sedimentos

De acuerdo a Ruiz (2017), Whitman (2023) y otros autores, los SST son importantes, no sólo porque son importantes indicadores de contaminación, sino porque permiten analizar problemas de sedimentación en el lecho y de erosión en las laderas adyacentes a la descarga. Basado en ello se ha estimado los niveles de sedimentación en el lecho lacustre de la BIP a partir de las concentraciones de SST. Los resultados se muestran en la Tabla 4, donde el total promedio de potenciales sedimentos que ingresan a la BIP desde los 11 efluentes identificados es 8254.96 kg/día, siendo mayor los ingresos en la época de lluvias (marzo), ya que trae consigo escorrentías y productos de erosión debido a las precipitaciones de esta época, alcanzando niveles de 12888 kg/día de sedimentos y menores en épocas secas (julio) alcanzando 4574.77 kg/día. Si el valor promedio lo extrapolamos a 365 días del año, se estimaría un ingreso de 3013 ton/día de sedimentos que ingresan a la BIP, las que estarían dispersándose en el lecho lacustre de las zonas más cercanas a la orilla de la BIP, lo que estaría aportando a la disminución de la profundidad de este ecosistema lacustre, acumulándose sedimentos en el fondo a una tasa de 23982 m³/año (Loza-Del Carpio, et al., 2016), cuya fuente más importante sería las descargas de aguas residuales, según reportes de estos mismos autores.

Tabla 4

Carga de sedimentos que ingresa a la BIP

N°	Punto de descarga	Jul.	Nov.	Mar.	Media ± EE(p<0.05) *	%
1	San José	0,73	1,08	9,01	3.61 ± 2.70 c	0.04
2	UNA	12,04	28,85	100,61	47.17 ± 27.16 c	0.57
3	APROVI-UNA	5,49	9,09	20,97	11.85 ± 4.67 c	0.14
4	Vallecito 1	22,00	44,26	26,65	30.97 ± 6.78 c	0.38
5	Vallecito 2	14,63	29,05	12,52	18.73 ± 5.19 c	0.23
6	Jr. Carabaya	107,24	322,37	1293,61	574.41 ± 364.92 b	6.96

7	Jr. R. Palma	157,61	335,47	1209,52	567.54 ± 325.07	b	6.88
8	9 de octubre	16,99	16,06	25,18	19.41 ± 2.89	c	0.24
9	Espinar	4082,38	6215,18	8775,60	6357.72 ± 1356.59	a	77.02
10	Salcedo	95,71	148,55	758,44	334.23 ± 212.65	c	4.05
11	Jayllihuaya	59,93	151,72	656,32	289.32 ± 185.40	c	3.50
TOTAL		4574.77 B	7301.68 B	12888.43 A	8254.96 ± 2494		100.0

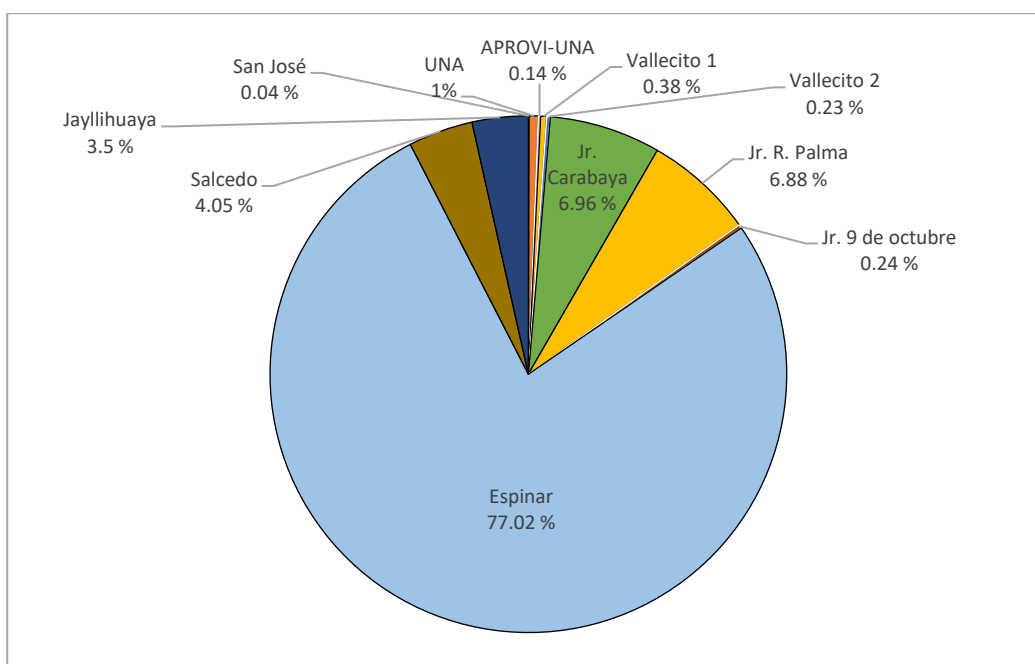
* Letras diferentes indican diferencia significativa a la prueba de Tukey.

Nota. Carga de sedimentos que ingresa a la BIP desde diferentes puntos de descarga directa de aguas residuales a partir de las concentraciones de SST (kg/día), de acuerdo a la época y el nivel promedio ± error estándar (EE).

Se denota claramente que las principales descargas de sedimentos provienen de las descargas de la laguna Espinar con 6357.72 kg/día, que representa el 77 % del total de las descargas, seguido por los efluentes del Jr. Carabaya y del Jr. Ricardo Palma, con 574 y 567 kg/día respectivamente, aunque también en los demás puntos evaluados también representan importantes niveles de descargas que promedian entre 3.61 a 334.23 kg/día.

Figura 7

Aportes de sedimentos a la BIP por cada punto de descarga de agua residual



Loza-Del Carpio et al. (2016) también refieren que las zonas con mayor acumulación de sedimentos se encuentran en los sectores de Espinar, Muelle Puno, Terminal Terrestre, UNA y probablemente que en la actualidad haya sedimentaciones importantes los barrios de Laykakota y Salcedo, debido a la cercanía a la laguna Espinar y al incremento de población en estos sectores. La Figura 8 ilustra el aporte porcentual de cada punto de descarga de agua residual a la BIP desde la ciudad de Puno.

Según el ANVA – DBCA se presentaron diferencias significativas entre zonas, siendo superior a las demás descargas de sedimentos en la laguna Espinar, seguidos por las descargas del Jr. Ricardo Palma y del Jr. Carabaya ($p < 0.05$); el resto de puntos de descargas fueron estadísticamente similares ($p > 0.05$). Entre meses, las descargas fueron superiores en el mes de marzo respecto a julio y noviembre ($p < 0.05$). La Tabla 5, muestra los resultados del ANVA.

Tabla 5

ANVA – DBCA para descargas de sedimentos

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	127081988,75	13	9775537.59	20.16	0.000
Meses	3265612,06	2	1632806.03	3.36	0.045
Zonas	105231580	10	10523158.00	21.71	0.000
Error	9693733,59	20	484686.68		
Total	136775722,35	33			

Nota. ANVA – DBCA para descargas de sedimentos en la BIP según efluentes residuales de la ciudad de Puno y épocas.

4.1.1.2. Sólidos sedimentables

Los sólidos sedimentables constituyen parte de los sólidos suspendidos, pero que estos tienen la capacidad de decantar en un tiempo dado, generalmente se considera 1 hora y se expresa en mililitros por litro (mL/L) (IDEAM, 2017), y constituyen también otro indicador de la cantidad en volumen de sedimentos que se pueden depositar en el fondo,

así como de su velocidad. En este caso, cada uno de los 11 puntos identificados, tienen algún aporte en la carga de sedimentos que ingresan a la BIP, siendo el más elevado el de la laguna de oxidación Espinar, depositando 5.20 L de sedimentos por cada metro cúbico de agua que ingresa a la BIP, siendo significativamente superior a las demás descargas (Tukey $p < 0.05$), luego sigue el afluente del Jr. Ricardo Palma con 1.53 L/m³ en promedio y del Jr. Carabaya con 0.87 L/m³, en tercer lugar todas las demás descargas cuyos valores fluctúan entre 0.1 a 0.3 L/m³, estadísticamente inferiores a los anteriores (Tukey, $p < 0.05$). Entre meses las mayores descargas fueron también en el mes de marzo o época lluviosa, superiores estadísticamente a los otros dos meses según la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Dichos resultados se muestran en la Tabla 6 y el ANVA – DBCA en la Tabla 7, donde se aprecia que se presentaron diferencias significativas entre puntos de descarga y entre meses.

Como se observa también en la Tabla 9, el total de sedimentos de todos los puntos que ingresa a la BIP alcanza un promedio total de 9.33 L/m³ de agua. Relacionando los valores de ingreso de sólidos sedimentables con el caudal, tendríamos que desde la laguna de oxidación Espinar entran un estimado de 122 m³ de sólidos sedimentables por día (121.60 m³/día) hasta la BIP, que es la carga más elevada entre todas; pero si sumamos todas las descargas de los 11 puntos, se tendría un promedio global de 132.85 m³/día de sólidos sedimentables, los cuales se precipitan en el lecho de la BIP, contribuyendo a su colmatación y disminución de la columna de agua o profundidad.

Tabla 6*Niveles de sólidos sedimentables por cada punto de descarga*

N°	Punto de descarga	Julio	Noviembre	Marzo	Media ± EE P<0.05 *	%
1	San José	0,1	0,1	0.2	0.13 ± 0.03 c	1.43
2	UNA	0,2	0,2	0.4	0.27 ± 0.07 c	2.86
3	APROVI-UNA	0	0,2	0.3	0.17 ± 0.09 c	1.79
4	Vallecito 1	0	0,2	0.3	0.17 ± 0.09 c	1.79
5	Vallecito 2	0	0,3	0.4	0.23 ± 0.12 c	2.50

6	Jr. Carabaya	0,4	0,8	1.4	0.87 ± 0.29 bc	9.29
7	Jr. R. Palma	1,2	1,3	2.1	1.53 ± 0.29 b	16.43
8	Jr. 9 de octubre	0,1	0,1	0.2	0.13 ± 0.03 c	1.43
9	Espinar	4,5	4,8	6.3	5.20 ± 0.56 a	55.71
10	Salcedo	0,2	0,2	0.5	0.30 ± 0.10 c	3.21
11	Jayllihuaya	0,1	0,4	0.5	0.33 ± 0.12 c	3.57
TOTAL		6.8 B	8.6 B	12.6 A	9.33 ± 1.78	100

* Letras diferentes indican diferencia significativa a la prueba de Tukey.

Nota. Niveles de sólidos sedimentables por cada punto de descarga directa de aguas residuales (L/m³), según época (promedio ± error estándar EE).

Tabla 7

ANVA – DBCA para los niveles de sólidos sedimentables

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	93.28	13	7.17	88.72	0.000
Meses	1.60	2	0.80	9.91	0.001
Zonas	67.92	10	6.79	83.98	0.000
Error	1.61	20	0.08		
Total	94.90	33			

Nota. ANVA – DBCA para los niveles de sólidos sedimentables según efluentes residuales de la ciudad de Puno y épocas.

El aporte porcentual de cada punto en las cantidades de sólidos sedimentables en metros cúbicos por día, varía entre puntos, siendo el principal aportador los efluentes de la laguna de oxidación Espinar con un 92 % de la carga, seguido por el Jr. Ricardo Palma, que trae las aguas residuales del Hospital Manuel Núñez Butrón, con un 3 %, luego el Jr. Carabaya y Salcedo con 2 % y finalmente Jayllihuaya con 1 %. Las demás descargas tienen un aporte insignificante en cuanto a sólidos sedimentables totales que ingresan en 24 horas (1 día). La Tabla 7 nos muestra las cantidades en volumen de sólidos sedimentables que ingresan diariamente a la BIP y la Figura 9 los valores en términos de porcentajes.

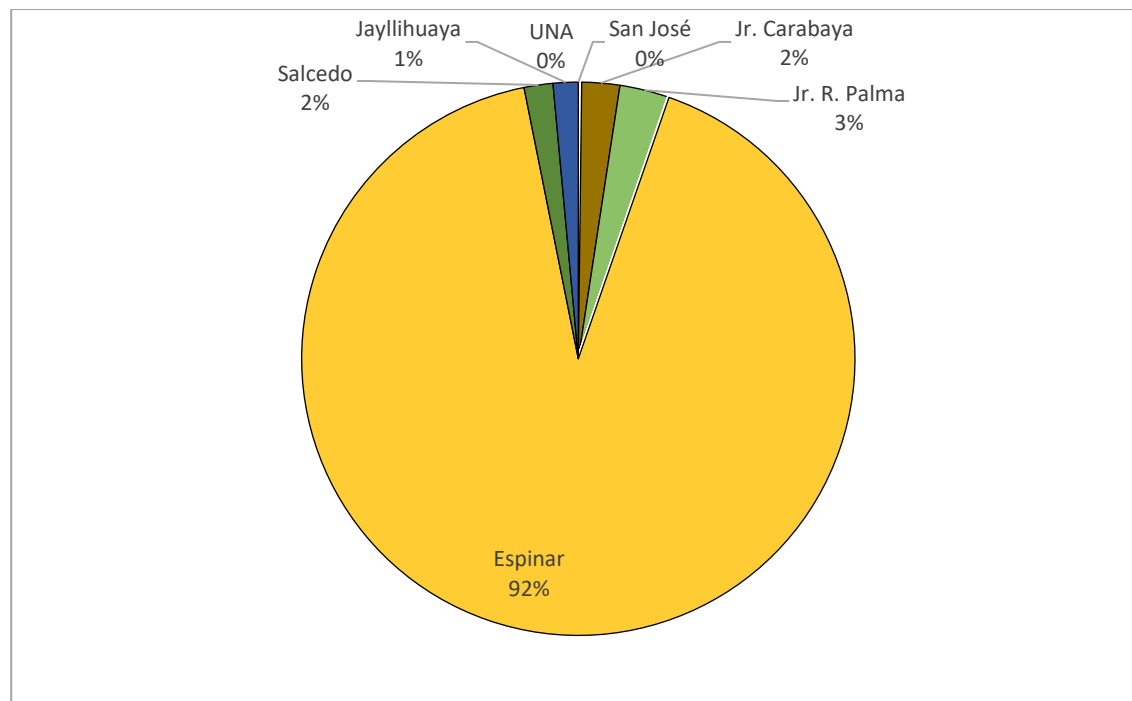
Finalmente, otros estudios reportan que en la BIP se tiene una tasa de acumulación de sedimentos de 23982.48 m³/año (Loza- Del Carpio et al., 2016) y basado en nuestros resultados y considerando el valor de 132 m³/día, tendríamos que en 1 año (para el 2023) se habría acumulado 48490 m³ de sedimentos, casi el doble de lo calculado por los mencionados autores, lo cual se debería a que dichos cálculos se realizaron desde el año 1975 hasta el 2012, lo que significa que en la actualidad hubo un incremento significativo en esta tasa, debido al incremento de la población y de las conexiones del sistema de alcantarillado a las viviendas y probablemente también por el incremento en la producción de residuos sólidos y material particulado (tierra, arena) en la ciudad de Puno.

Tabla 8

Estimación de las cantidades de ingreso de sólidos sedimentables

N°	Punto de descarga	Sedimento (m ³ /día)
1	San José	0.01
2	UNA	0.11
3	APROVI-UNA	0.02
4	Vallecito 1	0.07
5	Vallecito 2	0.05
6	Jr. Carabaya	2.94
7	Jr. R. Palma	3.82
8	Jr. 9 de octubre	0.04
9	Espinar	121.60
10	Salcedo	2.24
11	Jayllihuaya	1.94
TOTAL		132.85

Nota. Estimación de las cantidades de ingreso de sólidos sedimentables a la BIP desde la ciudad de Puno a través de las descargas directas de aguas residuales.

Figura 8*Estimación de las cantidades de ingreso de sólidos sedimentables*

Nota. Aportes porcentuales de sólidos sedimentables a la BIP por cada punto de descarga de agua residual.

4.1.2. Carga contaminante de los parámetros fisicoquímicos

4.1.2.1. Temperatura

Los parámetros fisicoquímicos considerados para este objetivo incluyen temperatura, oxígeno disuelto (OD), pH, conductividad eléctrica (CE), demanda biológica de oxígeno (DBO5) y demanda química de oxígeno (DQO). Respecto a la temperatura, entre puntos de descarga fluctuaron desde 10.7 a 17.5 °C y todos estos valores en lo permitido por el DS 003-2010- MINAM, que exige valores menores a 35 °C para efluentes de aguas residuales; según el ANVA – DBCA se evidencia diferencias significativas entre puntos ($p < 0.05$), siendo los valores superiores respecto a los demás en las descargas del Jr. Carabaya y Jr. Ricardo Palma, según la prueba de Tukey, alcanzando promedios de 15.7 y 15.8 °C respectivamente y entre bloques (meses), en julio se presentan las temperaturas más frías, comparado con noviembre y marzo ($p < 0.05$) (Tabla 9).

Tabla 9*ANVA – DBCA para los valores de temperatura*

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	3805,63	8	475.70	832.62	0.000
Puntos	23,33	5	4.66	8,17	0.003
Meses	32,52	2	16.26	28,46	0.000
Error	5,71	10	0.57		
Total	3811,34	18			

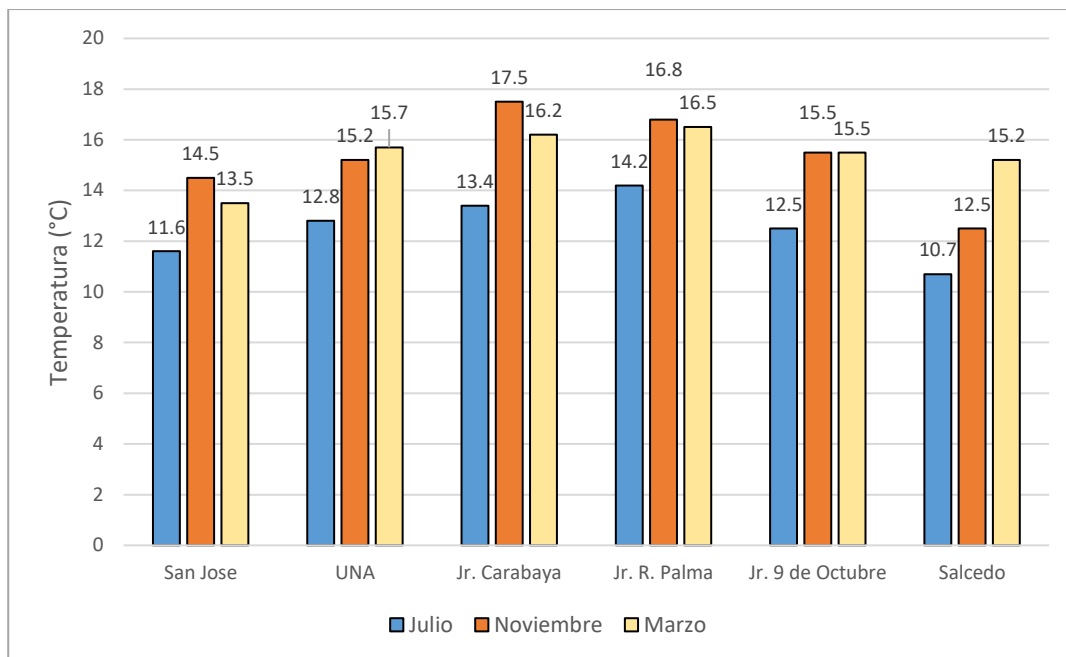
Nota. ANVA – DBCA para los valores de temperatura de los puntos de descarga de efluentes de aguas residuales a la BIP.

La Figura 9 ilustra los valores de temperatura por cada evaluación desde los cauces de aguas residuales que ingresan a la BIP, donde resalta la superioridad de las descargas en el Jr. Carabaya y Jr. R. Palma y también evidencia que las menores temperaturas en todos los puntos se suscitaron en el mes de marzo, considerando que se trata de la época de invierno o época seca y fría en el altiplano. Otros estudios también evidencian que en los meses de junio hasta agosto suelen ser inferiores en lugares de descarga de efluentes de cauces hacia la BIP, siendo sus valores desde 10 a 20 °C (Peñaranda, 2022; Quispe, 2022), concordando también con nuestros reportes para este parámetro.

Estudios previos de temperatura en la BIP también coinciden con estos valores, en la década de 1980, registraron en época seca un promedio de 10.5 °C (junio y julio) y por el mes de octubre fue de unos 15 °C, aunque las temperaturas más altas siempre se dieron en zonas cercanas al muelle cuyos valores llegaron hasta 20 °C (Morales et al., 1991), lo que explica que las aguas residuales suelen alcanzar temperaturas más altas. Similarmente otros estudios reportan temperatura superficial para aguas adentro de la BIP, donde los valores se encuentran entre 13 a 15 °C, no superando los 16 °C (CMPRLT, 2014), lo que indica que en las zonas ribereñas donde ingresan aportes de aguas servidas, la temperatura incrementa, tal como se aprecia en nuestro estudio.

Figura 9

Valores de temperatura por cada evaluación



Nota. Valores de temperatura por cada evaluación, de los efluentes de aguas residuales de la ciudad de Puno hacia la BIP, según meses.

4.1.2.2. Oxígeno disuelto

El oxígeno constituye un factor importante para la vida de los organismos en los ecosistemas acuáticos y es un indicador fundamental de la calidad de las aguas, ya que su ausencia o baja cantidad implica condiciones de contaminación por elevada carga orgánica y alta actividad de microorganismo anaerobios (Muñoz, 2008). Los efluentes de aguas residuales a la BIP, casi todos presentaron bajos contenidos de oxígeno disuelto, con valores desde 0.8 hasta 5.2 mg/L como máximo, lo que es indicativo de que todos estos cauces contienen alta carga de materia orgánica procedente de aguas residuales. Según el ANVA (Tabla 10), se presentaron diferencias significativas entre puntos, aunque según la prueba de Tukey el único valor diferente fue el del cauce del Jr. R. Palma, teniendo contenidos de oxígeno disuelto, significativamente diferente a los otros puntos ($p < 0.05$), con un promedio de 1.37 mg/L, mientras en los demás los valores superaron los 3 mg/L hasta un máximo de 5 mg/L (Tabla 15). Los niveles de oxígeno disuelto no fueron diferentes

según meses, es decir la época no influyó en las variaciones de oxígeno disuelto, tal como se aprecia también en la Tabla 10.

Tabla 10

ANVA – DBCA para los valores de oxígeno disuelto

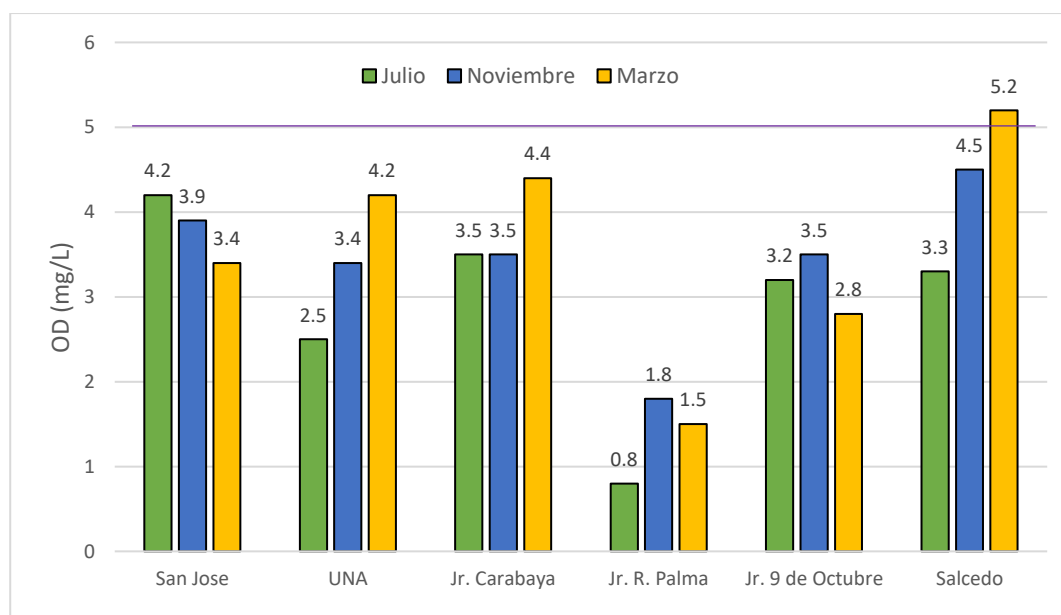
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	214,89	8	26.86	77,511	0.000
Puntos	16,08	5	3.22	9,282	0.002
Meses	1,47	2	0.73	2,118	0.171
Error	3,46	10	0.35		
Total	218,36	18			

Nota. Valores de oxígeno disuelto en los efluentes de aguas residuales a la BIP.

Se aprecia, las diferencias en los contenidos de OD según puntos y según épocas, distinguiéndose la carga del Jr. Ricardo Palma de los demás, por tener los valores más bajos. Esto debido probablemente a que proceden del hospital regional y traen consigo cargas contaminantes de alto riesgo y no tienen un previo tratamiento de acuerdo a ley.

Figura 10

Valores de oxígeno disuelto por cada evaluación



Nota. Valores de oxígeno disuelto por cada evaluación de efluentes de aguas residuales de la ciudad de Puno hacia la BIP, línea morada. Tomada de *ECAs (MINAM, 2017)*.

Además, los mismos datos muestran que la mayoría de las lecturas no alcanzan el umbral mínimo de 5 mg/L de los ECA para la categoría A4 (conservación del medio acuático) (MINAM, 2017), asumiendo que estos cauces no contengan aguas residuales y constituyen arroyos principales de microcuencas.

Peñaranda (2022), reportó que para la descarga del cauce de Salcedo hacia la BIP alcanzaron niveles de OD con valores de 2 a 3 mg/L, en época seca, coincidiendo también con nuestros resultados. Para el sector aledaño a la UNA, Quispe (2022), también en las desembocaduras hacia la laguna confinada un valor promedio de OD de 2.82 mg/L, similar también a lo reportado en nuestro estudio. Estas investigaciones, también confirmarían la presencia de materia orgánica en estos cauces, deberían constituir cauces de arroyos naturales como parte de microcuencas, tales como el Salcedo y del Jr. 9 de octubre.

4.1.2.3. pH

La norma para efluentes de aguas residuales (MINAM, 2010), indica que los valores de pH tienen como límites permisibles valores entre 6.5 a 8.5 en el pH, para nuestro caso, gran parte de los cauces evaluados estuvieron en ese rango, lo que implica un riesgo relativo debido a este factor; sin embargo, las descargas del Jr. Carabaya y del Jr. Ricardo Palma, e incluso de la UNA, superaron la normativa, alcanzando valores superiores a pH 9, considerándose aguas alcalinas por algún elemento álcali que se mezcla en las aguas, quizás de procedencia hospitalaria, sobre todo en la descarga del Jr. R. Palma. Opuestamente las descargas del cauce de Salcedo tienen principalmente tendencia ácida, ya que en el mes de noviembre tuvieron el valor de 5.9 (Figura 12).

Estadísticamente, según el ANVA (Tabla 11) hubo diferencias significativas entre puntos y entre meses, siendo significativamente inferior las descargas de Salcedo con un promedio de 6.3 de pH, de acuerdo a la prueba de Tukey y también entre meses, siendo significativamente inferior en el mes de marzo, respecto a los otros meses ($p < 0.05$), quizás por la presencia de precipitaciones que diluyeron los niveles de pH (ver Tabla 15).

Tabla 11

ANVA – DBCA para los valores de pH

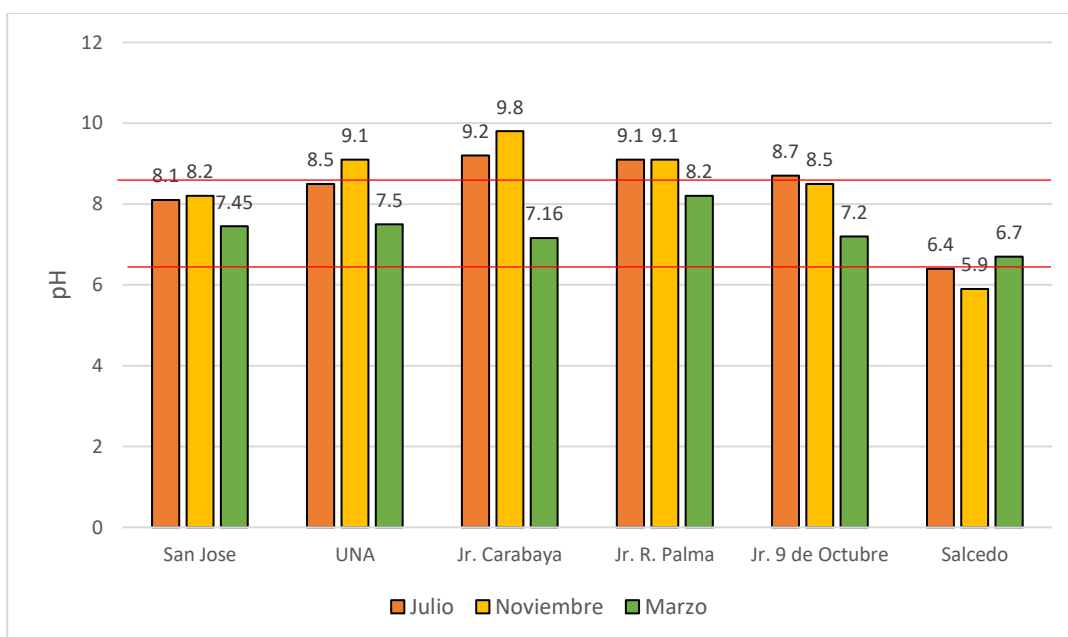
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	1181.39	8	147.67	420.58	0.000
Puntos	12.25	5	2.45	6.98	0.005
Meses	4.15	2	2.07	5.91	0.020
Error	3.51	10	0.35		
Total	1184.91	18			

Nota. Valores de pH en los puntos de descarga de efluentes de aguas residuales a la BIP.

Los valores de pH que registraron estudios previos, tuvieron niveles algo más bajos; por ejemplo, descargas en zonas cercanas a la UNA promediaron pH de 7.8 (Quispe, 2022), ligeramente alcalinos y en la descarga del arroyo de Salcedo encontraron valores promedio de 6.5 (Peñaranda, 2022), coincidiendo con nuestros resultados, teniendo una tendencia principalmente ácida, quizás por contaminantes industriales que existen en el centro poblado Salcedo.

Figura 11

Valores de pH por cada evaluación



Nota. Valores de pH, líneas rojas indican LMP. Tomada de (MINAM, 2010).

4.1.2.4. Conductividad eléctrica

Este parámetro también presentó valores elevados en todos los cauces evaluados, superando en la mayoría de casos los 1000 uS/cm, de acuerdo a los ECAs, categoría 4 (conservación del ambiente acuático), todos superaron el valor establecido de 1000 uS/cm, excepto en el arroyo de Salcedo durante el mes de marzo (época de lluvias), con 950 uS/cm y el valor máximo lo presentó la descarga del Jr. R. Palma, en el mes de julio con 1980 uS/cm. La CE eléctrica hace referencia a la concentración de iones, minerales y sales (Solís et al., 2018) y altos valores refieren aguas con alta salinidad, minerales o dureza alta, hecho que nos permite asumir que las aguas que ingresan a la BIP pueden contener altas concentraciones de diferentes elementos o sustancias químicas, resultado de actividades industriales y de las actividades domiciliarias (Figura 13).

El ANVA reveló que existen variaciones notables entre puntos y meses (Tabla 12), con la prueba de Tukey se pudo constatar que el cauce de Salcedo tiene las concentraciones más bajas (1281.67 uS/cm en promedio) y las más altas la del Jr. R. Palma con un valor promedio de 1908 uS/cm, los contenidos de los demás puntos son estadísticamente similares ($p > 0.05$) y el mes en el que presentaron las más bajas concentraciones fue en el mes de marzo o época lluviosa, quizás por la dilución de los iones con el incremento del caudal (Tabla 15).

Tabla 12

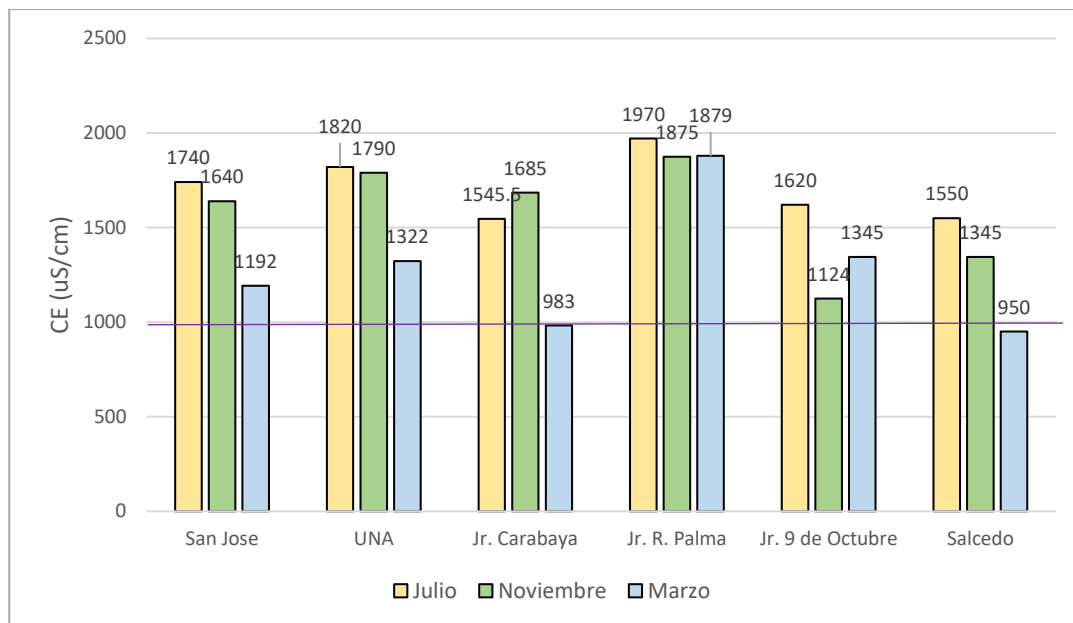
ANVA – DBCA para los valores de conductividad eléctrica

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	42996702,77	8	5374587,85	159,19	0.000
Puntos	782170,74	5	156434,15	4,63	0.019
Meses	580198,69	2	290099,35	8,59	0.007
Error	337621,47	10	33762,15		
Total	43334324,25	18			

Nota. Valores de conductividad eléctrica en los puntos de descarga de efluentes de aguas residuales a la BIP.

Figura 12

Valores de CE por cada evaluación de efluentes de aguas residuales



Nota. Valores de CE, línea morada indica límite ECAs. Tomada de (MINAM, 2017).

Otros estudios encontraron valores de CE desde 200 hasta 1800 uS/cm para la desembocadura del arroyo de Salcedo (Peñaranda, 2022), relativamente similar a lo determinado en nuestro estudio en el mismo lugar. En inmediaciones de la UNA alcanzaron promedios de 1300 uS/cm, valor que concuerda con nuestro estudio para el mes de marzo (Quispe, 2022). En el cuerpo de agua mismo de la BIP los valores también son elevados, justamente por el aporte que traen los afluentes de aguas residuales de la ciudad de Puno hasta la BIP, donde los valores pueden estar entre 1500 y 1600 uS/cm (CMPRLT, 2014).

4.1.2.5. Demanda biológica de oxígeno (DBO5)

La DBO5 es uno de los indicadores más importantes de carga orgánica y de contaminación en un cuerpo de agua, especialmente aguas residuales (Romero, 1999). Las típicas aguas residuales del sistema de alcantarillado directo contienen valores entre 200 a 300 mg/L (APEA, 2008), aunque otros autores refieren que las aguas residuales tienen concentraciones desde 110 hasta 400 mg/L, en tal caso valores alrededor de 110 mg/L se consideran como concentraciones débiles y de 400 mg/L concentraciones fuertes



(Metcalf – Eddy. 1995). En nuestro estudio, la mayoría de descargas evaluadas, constituyen arroyos naturales conformantes de microcuencas a las que ingresan descargas de aguas residuales clandestinas o de tuberías rotas, por lo que no se tratarían de cauces con descargas exclusivas de aguas residuales, excepto las del Jr. Carabaya y del Jr. Ricardo Palma que superan los 100 mg/L de DBO₅, que es el límite máximo permisible que establece los LMPs para efluentes de aguas residuales (MINAM, 2010); sin embargo, los demás puntos de descarga también presentaron valores importantes de DBO₅, superando todos a lo establecido en los ECAs para aguas naturales en la categoría 4, que es 10 mg/L (MINAM, 2017), lo que confirmaría nuevamente que estos cauces de descarga directa, contiene material residual proveniente de los desagües urbanos (Figura 14).

De acuerdo al ANVA, se presentó diferencias significativas entre puntos de descarga, aunque no entre meses, lo que implica que la carga de DBO₅ según época no tiene variación significativa y entre puntos si varían los niveles de DBO₅ (Tabla 13). Sin embargo, la mayoría de puntos presentaron concentraciones similares entre ellos, excepto en el Jr. Carabaya y en el Jr. R. Palma, cuyas concentraciones fueron estadísticamente superiores a todos los demás (100.5 y 115.27 mg/L en promedio correspondientemente), conforme a la prueba de Tukey ($p < 0.05$), tal como se puede apreciar en la Tabla 15.

En las descargas de Salcedo, en otro período alcanzaron valores de DBO₅ de 2 hasta 11 mg/L (Peñaranda, 2022), concordante a los resultados de mes de marzo del presente estudio. Y en zonas cercanas a la UNA, promediaron 34 mg/L (Quispe, 2022), también similar a lo encontrado en el presente estudio. Es importante señalar también, que estos valores de DBO₅ en todos los puntos ratifican los contenidos de aguas residuales en cada una de estas descargas, pero los puntos de mayor riesgo vienen a ser en la descarga del Jr. R. Palma con contenidos de 89.4 a 150.5 mg/L de DBO₅, que prácticamente se trata de una descarga de aguas residuales, al igual que del Jr. Carabaya con valores desde 70.5 hasta 125.4 mg/L.

En aguas de la misma BIP, en la década de 1980, se registraron valores generalmente menores a 5 mg/L de DBO, alcanzando los valores más altos en las orillas y en los meses de agosto y setiembre de 27 mg/L (Miranda et al., 1991), es decir niveles aún muy bajos respecto a la contaminación por aguas residuales. Posteriormente, la DBO en estos mismos lugares alcanzaron valores desde 6 a 15 mg/L (CMPRLT, 23014).

Tabla 13

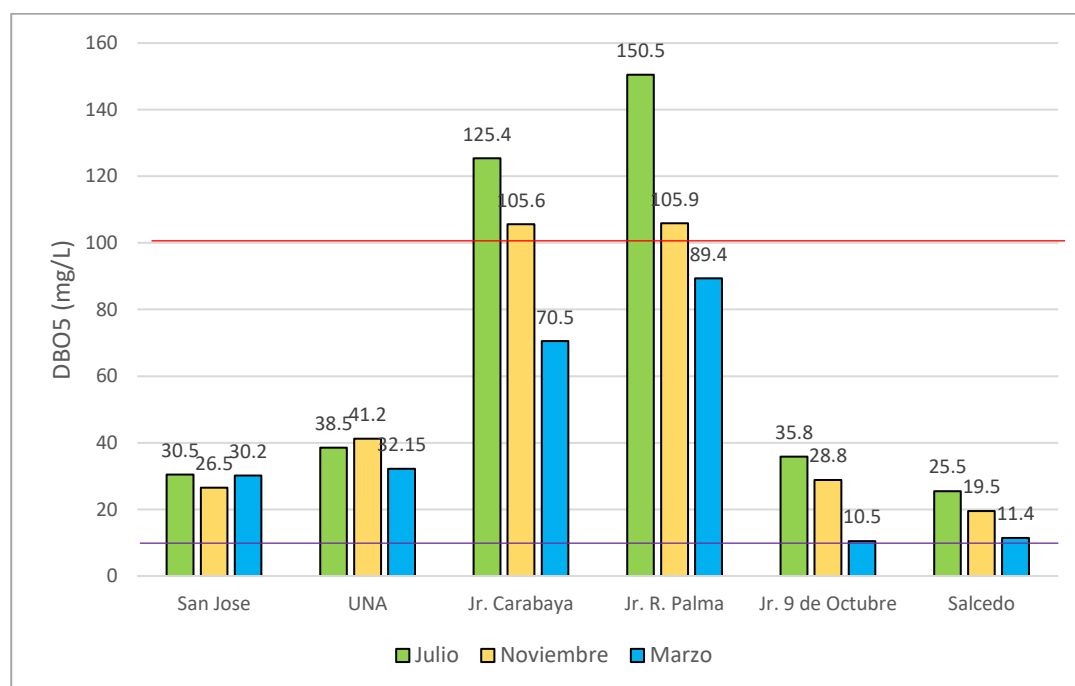
ANVA – DBCA para los valores de DBO5

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	87732.75	8	10966.59	12.22	0.000
Puntos	22317.71	5	4463.54	4.97	0.015
Meses	561.03	2	280.51	0.31	0.739
Error	8977.12	10	897.71		
Total	96709.87	18			

Nota. Valores de DBO5 en puntos de descarga de efluentes de aguas residuales a la BIP.

Figura 13

Valores de DBO5 por cada evaluación de efluentes de aguas residuales



Nota. Línea morada, límite ECAs (MINAM, 2017) y línea roja LMP para AR (MINAM, 2010).



4.1.2.6. Demanda química de oxígeno (DQO)

Este parámetro que mide el material oxidable presente en el agua mediante factores químicos (Schwoerbel, 1995), midiendo la cantidad de materia orgánica contenida en el agua mediante oxidación química (APHA, 1991), por lo que constituye un importante indicador de la calidad del agua, principalmente por contaminantes orgánicos. De acuerdo a la legislación peruana, las aguas residuales que discurren a un cuerpo de agua no deben superar los 200 mg/L siendo este valor el límite máximo permisible (MINAM, 2010). En el presente estudio este valor fue superado solamente en la desembocadura del cauce del Jr. Ricardo Palma, con concentraciones desde 204.6 hasta 237.5 mg/L (Figura 14), lo que indica que adicionado al material biodegradable de las aguas residuales (medido con la DBO), hay alta presencia de material no biodegradable, quizás procedente de insumos farmacológicos utilizados en el hospital regional Manuel Núñez Butrón, ya que este efluente trae consigo aguas residuales de este centro de salud. Sin embargo, para un agua residual, las cargas de DQO en ambos lugares se consideran débiles porque fluctúan alrededor del valor de 250 mg/L (Metcalf – Eddy, 1995).

Los demás efluentes no superaron estos LMP, alcanzando valores entre 14.8 mg/L en Salcedo hasta 176.2 mg/L en la descarga del Jr. Carabaya (Figura 14). Respecto a los resultados de los ANVAs, se encontraron diferencias significativas en los niveles de DQO según puntos evaluados y también según meses o bloques (Tabla 14) y la prueba de Tukey evidenció que los lugares con concentraciones significativamente más altas en DQO son las aguas procedentes del Jr. R. Palma y Jr. Carabaya; un segundo grupo lo constituyen los puntos del Jr. 9 de octubre, San José y UNA, con DQO de 69.4, 70.97 y 79.63 mg/L respectivamente, finalmente la descarga de Salcedo fue la que presente valores significativamente más bajos respecto a los demás (26.07 mg/L en promedio) (ver Tabla 15).

Tabla 14

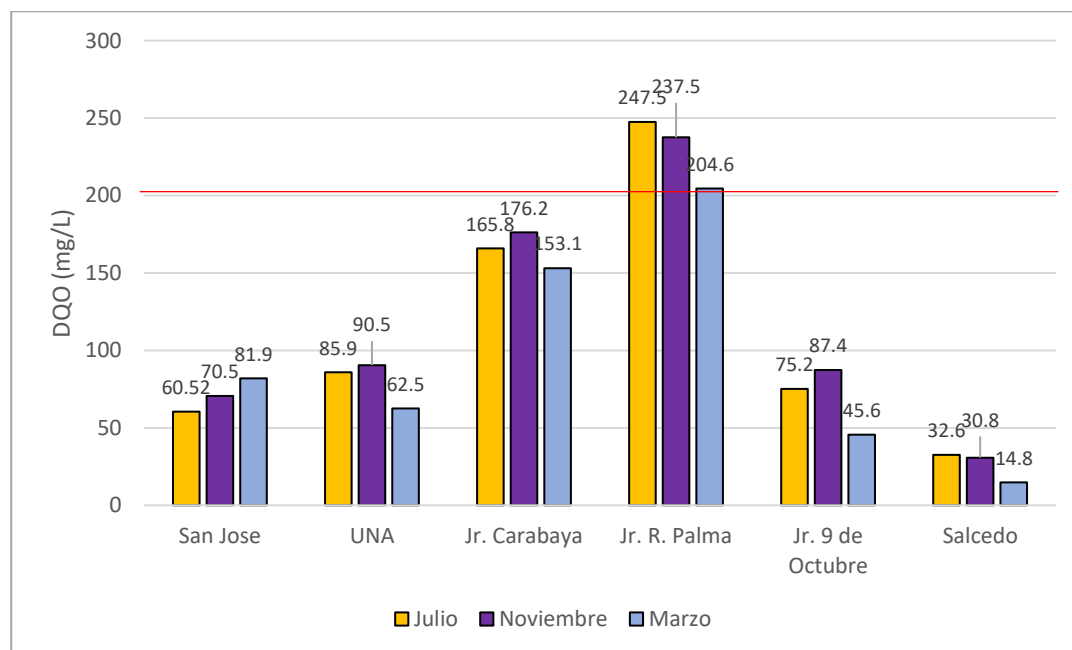
ANVA – DBCA para los valores de DQO

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	245872,86	8	30734.11	274.29	0.000
Puntos	61967,19	5	12393.44	110.61	0.000
Meses	1040,35	2	520.17	4.64	0.037
Error	1120,50	10	112.05		
Total	246993,36	18			

Nota. Valores de DQO en puntos de descarga de efluentes de aguas residuales a la BIP.

Figura 14

Valores de DQO por cada evaluación de efluentes de aguas residuales



Nota. Valores de DQO, línea roja indica LMP para AR. Tomada de (MINAM, 2010).

Otros estudios realizados en la zona, relacionados a descargas de aguas residuales a la BIP, reportan por ejemplo para Salcedo valores desde 4 a 12 mg/L de DQO (Peñaranda, 2022), resultados algo menores encontrados en nuestro estudio. Luego por inmediaciones de la UNA (laguna confinada del malecón) promediaron 96.08 mg/L (Quispe, 2022), casi coincidentes con lo encontrado en el presente estudio.



A continuación, la Tabla 15, resume las concentraciones promedio \pm error estándar de los diferentes parámetros fisicoquímicos registrados por cada punto de muestreo. Se incluye además en literales estadísticas las diferencias significativas a la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Allí se aprecia que las descargas del Jr. Carabaya y principalmente del Jr. Ricardo Palma son superiores a los demás en casi todos los parámetros fisicoquímicos, excepto en el oxígeno disuelto que es inferior estadísticamente.

Tabla 15

Valores de parámetros fisicoquímicos.

Punto de descarga	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	pH	CE (uS/cm)	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)
San José	13.2 ^b \pm 0.85	3.83 ^b \pm 0.23	7.92 ^b \pm 0.24	1524 ^a \pm 168.49	29.07 ^b \pm 1.28	70.97 ^b \pm 6.17
UNA	14.57 ^b \pm 0.89	3.37 ^b \pm 0.49	8.37 ^a \pm 0.47	1644 ^a \pm 161.23	37.28 ^b \pm 2.68	79.63 ^b \pm 8.67
Jr. Carabaya	15.70 ^a \pm 1.21	3.80 ^b \pm 0.30	8.72 ^a \pm 0.79	1404.50 ^a \pm 214.56	100.50 ^a \pm 16.05	165.03 ^a \pm 6.68
Jr. R. Palma	15.83 ^a \pm 0.82	1.37 ^a \pm 0.29	8.80 ^a \pm 0.30	1908 ^a \pm 31.02	115.27 ^a \pm 18.25	229.87 ^a \pm 4.03
Jr. 9 de octubre	14.50 ^b \pm 1.0	3.17 ^b \pm 0.20	8.13 ^a \pm 0.47	1363 ^b \pm 143.46	25.03 ^b \pm 7.54	69.40 ^b \pm 12.41
Salcedo	12.80 ^b \pm 1.31	4.33 ^b \pm 0.55	6.33 ^b \pm 0.23	1281.67 ^b \pm 176.07	53.0 ^b \pm 30.55	26.07 ^c \pm 5.66

Nota. Se incluye la media \pm error estándar. Los resultados de la prueba de Tukey que muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) para cada parámetro se muestran con letras diferentes entre las filas.

4.1.2.7. Carga contaminante

Para los parámetros fisicoquímicos evaluados, cuyas unidades de medida se expresan en masa (DBO5 y DQO), se determinaron las cargas contaminantes como aporte de ingreso diario a la BIP. Para el caso del DBO5 se ha podido estimar un ingreso total como carga contaminante de 533.5 kg/día de DBO5 desde los seis tributarios de aguas residuales, siendo el efluente a la BIP que más aporta, el del Jr. Ricardo Palma con 215.66 kg/día, que representa el 40.42 % del total. Luego le sigue el Jr. Carabaya con 212.29 kg/día que significa el 39.79 % y del cauce de Salcedo con 85.61 kg/día y es el 16.04 %; los demás puntos de descarga no superan el 2 % del total, sin embargo, contribuyen a la carga contaminante (Tabla 16). Así mismo, cabe resaltar que el aporte depende también de la época o del mes del año, así se ha observado que hay un mayor aporte en el mes lluvioso (marzo), disminuyendo claramente en la época seca (julio), ya que durante las lluvias hay un mayor caudal que arrastra también mayores cantidades del contaminante.

Si el valor total se extrapola al mes o al año, se tendría un aporte de 16 ton/mes y de 192 ton/año de carga contaminante de DBO5 que ingresa a la BIP desde estos 6 puntos evaluados, siendo un valor elevado que repercute en la degradación del ecosistema acuático, aunado al aporte de la laguna de oxidación, que debe ser mucho mayor.

No se cuenta con estudios de cauces de ingreso de aguas residuales que no llegan a la laguna de oxidación Espinar, sin embargo, Siguayro et al. (2017) si reporta la carga contaminante de DBO5 para el efluente de la laguna de oxidación Espinar, cuyo valor de ingreso a la BIP es de 2132 kg/día, con un caudal de 174 L/seg y una DBO5 de 142.77 mg/L en promedio. Esta carga corresponde a la producida por la mayor parte de la población de Puno, pero una parte de la población que no lleva sus aguas a la laguna de oxidación, fluye por los cauces evaluados cuya carga contaminante estimada fue de 533.5 kg/día, valor que se debería añadir a los 2132 kg/día, para obtener una mejor estimación del DBO que ingresa diariamente a la BIP desde la ciudad de Puno (2665.5 kg/día).

Ordoñez (2013) ha estimado una carga de DBO5 de las aguas residuales que ingresan a la laguna de oxidación de 4030 kg/día y salen de esta hacia la BIP 2821.9 kg/día, con una DBO5 de 273.52 mg/L a la entrada y 72.8 mg/L a la salida. Esta carga es ligeramente superior a lo estimado por Siguayro et al. (2017) y también es útil para comparar con lo encontrado en el presente estudio, ya que nos permite visualizar la porción importante que representan las cargas contaminantes de DBO5 que ingresan desde efluentes informales. El MINAM (2013) reporta una carga contaminante de DBO5 de 578 ton/año que sale de la laguna de oxidación hasta la BIP, mucho menor de lo que indican los dos primeros autores.

Tabla 16*Carga contaminante del DBO5*

Descarga	Julio	Nov.	Marzo	Media ± EE	%
San José	0.24	0.30	2.17	0.90 ± 0.63	0.17
UNA	4.52	12.10	20.17	12.26 ± 4.52	2.29
Jr. Carabaya	91.99	186.13	358.77	212.29 ± 78.21	39.79
Jr. R. Palma	128.08	155.55	363.34	215.66 ± 74.36	40.42
Jr. 9 de octubre	8.75	7.99	3.81	6.85 ± 1.54	1.28
Salcedo	58.38	72.78	125.67	85.61 ± 20.48	16.04
Media	48.66	72.47	145.65	88.93 ± 29.96	
TOTAL, ingreso (kg/día)				533.5 ± 179.74	100

Nota. Carga contaminante del DBO5 (kg/día). Letras diferentes entre filas por cada punto indican diferencias significativas con la prueba de Tukey.

En cuanto a la carga contaminante del DQO, se estimó una descarga total de 1032.41 kg/día que ingresa a la BIP desde la ciudad de Puno, esto significaría 30.97 ton/mes y 371.67 ton/año, acarreando consigo abundante materia orgánica y material no biodegradable capaz de producir oxidación. Este contaminante también fue superior en la descarga del Jr. Ricardo Palma con un promedio de 463.67 kg/día (44.91 % del total), seguido por la descarga del Jr. Carabaya con 403.77 kg/día (39.11 %) y por Salcedo con 114.58 kg/día (11.39 %). Los demás puntos no superaron el 3 %. Similarmente al DBO5

se observó mayor carga contaminante en el período lluvioso (marzo), donde incrementa el volumen del caudal (Tabla 17).

No se cuentan con otros estudios en estos mismos cauces; sin embargo, se tiene una evaluación en la laguna confinada, cuya descarga en uno de los puntos fue de 64 kg/día (Quispe, 2022). También Ordoñez (2013), estimó una descarga de 7844 kg/día de DQO en el afluente a la laguna de oxidación Espinar y el efluente hacia la BIP de 5491 kg/día, que constituiría la producción de la mayoría de la población de Puno cuyo sistema de alcantarillado lleva las aguas residuales a la laguna Espinar, al que también debería adicionarse lo estimado en el presente estudio, obteniéndose un total de 8876.41 kg/día de carga contaminante de DQO, que ingresa a la BIP.

Tabla 17*Carga contaminante de DQO*

Descarga	Julio	Nov.	Marzo	Media \pm EE	%
San José	0,47	0,79	5,87	2.38 \pm 1.75	0.23
UNA	10,09	26,59	39,20	25.29 \pm 8.44	2.45
Jr. Carabaya	121,62	310,56	779,12	403.77 \pm 195.67	39.11
Jr. R. Palma	210.63	348.84	831.55	463.67 \pm 188.44	44.91
Jr. 9 de octubre	18,39	24,24	16,55	19.72 \pm 2.32	1.91
Salcedo	74,64	114,96	163,15	117.58 \pm 25.61	11.39
Media	65,60	127,87	293,04	162.17 \pm 68.76	
TOTAL, ingreso (kg/día)				1032.41 \pm 422.23	100

Nota. Carga contaminante de DQO (kg/día). Letras diferentes entre filas por cada punto indican diferencias significativas con la prueba de Tukey.

CONCLUSIONES

Primera, se ha identificado un total de 14 puntos de descargas de aguas residuales que desembocan directamente a la BIP sin llegar previamente a la laguna de oxidación Espinar. 11 de ellos presentan caudal definido cuyo flujo suma un total de 261.3 L/seg en época seca (julio) y de 678.16 L/seg en época lluviosa (marzo). De estas descargas puntuales los mayores caudales lo presentaron la salida de la laguna de oxidación Espinar con 263.9 L/seg en promedio y Salcedo con 105.7 L/seg.

Segunda, la carga de potenciales sedimentos que ingresa a la BIP desde estos 11 cauces directos de aguas residuales alcanzaron un promedio total de 8254.96 kg/día (3013 ton/año), ocurriendo las mayores descargas en época lluviosa (marzo) con un promedio de 12888.43 kg/día. Los efluentes a la BIP desde donde ingresan mayores cantidades de sedimentos fueron la laguna de oxidación Espinar con (6357.72 kg/día), el cauce de las inmediaciones del Jr. Ricardo Palma (567.54 kg/día) y el del Jr. Carabaya (574.41 kg/día).

Tercera, en 6 de los puntos de ingreso (exceptuando Espinar), se evaluaron parámetros fisicoquímicos más importantes, donde las concentraciones de oxígeno disuelto en todos los afluentes tuvieron bajos niveles, con valores entre 0.8 a 5.2 mg/L, el pH fluctuó entre 5.9 hasta 9.8, la conductividad eléctrica entre 950 y 1970 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El DBO5 presentó concentraciones desde 10.5 hasta 150.5 mg/L, siendo los más elevados en los efluentes del Jr. Carabaya (125 mg/L) y Jr. Ricardo Palma (150.5 mg/L), que superaron los LMP de la norma (100 mg/L). En cuanto al DQO sólo en el Jr. Ricardo Palma superó los LMP (200 mg/L), promediando 229 mg/L.

Cuarta, la carga contaminante de DBO5 que ingresa directamente a la BIP desde esos 6 puntos evaluados fue de 535.5 kg/día (195.46 ton/año) y para el DQO de 1032.9 kg/día (377 ton/año).



RECOMENDACIONES

Primera, realizar evaluaciones de los cauces reportados con ingreso directo de aguas residuales a la BIP, considerando otros parámetros fisicoquímicos, incluyendo parámetros microbiológicos y parasitológicos para conocer el grado de riesgo a la salud pública.

Segunda, realizar estudios de la bahía interior de Puno utilizando índices de calidad, para conocer la situación de las condiciones tróficas y de calidad de las aguas de la BIP en la actualidad.

Tercera, difundir lo encontrado en el presente estudio a las autoridades pertinentes para poner en alerta sobre lo que viene ocurriendo con las condiciones de manejo de las aguas residuales de la ciudad de Puno.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriaens, P. (2002). *Great Lakes Sediments: Contamination, Toxicity and Beneficial Re-Use*. White paper commissioned by Michigan Sea Grant and the School for Natural Resources and the Environment (SNRE).
- ANA. (2017). Guía para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del impacto de un vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo natural de agua. Ministerio de Agricultura y Riego, Perú.
- APHA - American Public Health Association. (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (L.S. Clesceri, A. Greenberg, A.D. Eaton y M.A. Franson, Eds.). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 20th ed, Washington, EUA. 1240 p.
- Arias, M.F. (2017). *Evaluación de la composición fisicoquímica de sedimentos de fondo en el Río Tempisque, Guanacaste*. Universidad Técnica Nacional, Informe Final de Proyectos de Investigación.
- Binford, M., Brenner, M. y Engstrom, D.R. (1991). Patrones de sedimentación temporal en la zona litoral del Huiñaimarca. En: C. Dejoux y A. Iltis (Eds.). *El lago Titicaca: síntesis del conocimiento limnológico actual* (pp 47-58). ORSTOM-HISBOL.
- Bravo-Espinosa, M., Osterkamp, W. y Lopes, V.L. (2004). Transporte de sedimentos en corrientes naturales: revisión técnica de ecuaciones empíricas de predicción del arrastre de sedimentos de fondo. *Terra Latinoamericana*, 22(3), 377-386.
- Chacon (2016). Análisis gravimétrico en aguas. USTA- Universidad Santo Tomas, Colombia.
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33952/Capitulo2Analisisgravimetrico2016MyriamChacon.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CIDTA – Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua. Características de las aguas residuales. Universidad de Salamanca.
<https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>

CIGEA. (1998). *Metodología para la evaluación aproximada de la carga contaminante*. CITMA.

CMPRLT - Comisión Multisectorial para la Prevención y Recuperación Ambiental del Lago Titicaca y sus Afluentes. (2014). *Estado de la calidad ambiental de la cuenca del lago Titicaca, ámbito peruano*. Informe Técnico, D.S. N° 075-2013-PCM. 152 p.

Cole, G. (1988). *Manual de limnología*. Editorial Hemisferio Sur. 3° Edic.

De la Cruz, J.C., Mendoza Palacios, J.D. y Henández, J.R. (2016). Estimación de la carga de sedimentos en suspensión en una laguna fluvial de Tabasco. *Kuxulkab*, 22(43), 39-44.

Ecoseptic, (2020). How Much Wastewater Does a Person Produce?, Ecoseptic Vacuum Solutions. [https://ecoseptic.com.au/how-much-wastewater-does-a-person-produce/#:~:text=For%20example%2C%20in%20developed%20countries,%2D76%20liters\)%20per%20day.](https://ecoseptic.com.au/how-much-wastewater-does-a-person-produce/#:~:text=For%20example%2C%20in%20developed%20countries,%2D76%20liters)%20per%20day.)

Elosegi, A. y Sabater, S. (2009). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Fundación BBVA. Rubes, editorial.

Fernández, R.L. (2011). Técnicas integradas para modelar la contaminación por erosión de sedimentos enriquecidos en un sistema fluvio-lacustre. 2011. En: J. Brea y F. Balochi (Eds.). *Procesos de erosión – sedimentación en cauces y cuencas, Volumen 2* (pp. 52-65). UNESCO, Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 28.

GEOXNET (2016). *Escala granulométrica de Udden-Wentworth*. Facultad de Geología, UNMSM. <https://post.geoxnet.com/escala-granulometrica-de-udden-wentworth/>

González del Tánago, M. y Garcia de Jalón, D. (1995). Principios básicos para la restauración de ríos y riberas. *Ecología*, 9, 47-64.

González, M.I. y Chiroles, S. (2010). Uso seguro y riesgos microbiológicos del agua residual para la agricultura. *Revista Cubana de Salud Pública*, 37(1), 61-73.

Hach. (2023). Sólidos (totales y disueltos). HACH Company. <https://es.hach.com/parameters/solids>



- Hakson L., Jansson M. (1983). Principles of lake sedimentology, Springer- Verlag, Berlin Heidelberg - New York – Tokyo.
- INRENA – Instituto Nacional de recursos Naturales. (2005). *Evaluación de la contaminación del lago Titicaca*. Ministerio de Agricultura, Perú. Dirección General de Estudios y Proyectos de Recursos naturales.
- JICA – Agencia de Cooperación Internacional del Japón. (2000). *Estudio para el control integral de la contaminación del agua de la bahía interior de Puno en el lago Titicaca en la República del Perú*. Pacific Consultants Internacional, Tokio.
- Jimenez, A. 2014. *Calidad del agua de las lagunas de oxidación de Covicorti, Trujillo- La Libertad* (Tesis Biólogo). Universidad Nacional de Trujillo.
- Larios – Meoño, J.F., Taranco, C. y Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer*, 2(2), 19-25.
- Loza-Del Carpio, A., Gamarra, C. y Condori, N. (2016). Caracterización morfobatimétrica y estimación de sedimentos de la bahía interior de Puno, lago Titicaca, mediante tecnología SIG. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 18(2): 237 – 248.
- Malavé, A., Silva-Acuña, R., Martínez, M. y Barrios, R. (2013). *Riesgos asociados a las aguas residuales*. Editorial Académica Española.
- MARC - Mid-America Regional Council. (2022). *¿Qué es la contaminación por sedimentos? Consejo para el cuidado de las cuencas hidrográficas en invierno*. Clean Water Healthy Life.
- Margalef, R. (1983). *Limnología*. Barcelona, España: Ediciones Omega SA.
- Márquez, A., Calva, L. y Pérez, A. (2006). Consideraciones batimétricas del sistema lagunar Carretas-Pereyra, Chiapas, México. *Hidrobiológica*, 16(2), 121-126.
- Metcalf y Eddy. (1998). *Ingeniería de Aguas Residuales*. Editorial McGrawHill, 3ra Edición.
- Mihelcic, J. y Zimmerman, J. (2012). *Ingeniería ambiental, fundamentos, sustentabilidad, diseño*. México: Alfaomega Grupo Editor SA.



- MINAM – Ministerio del Ambiente. (2013). *Línea base ambiental de la cuenca del lago Titicaca*. Lima, Perú: Viceministerio de Gestión Ambiental, Dirección General de Calidad Ambiental.
- Miranda, N. (1991). Efectos de la eutroficación sobre las condiciones químicas. En: T.G. Northcote, P. Morales, D.A: Levy y M.S. Greaven. (Eds.), *Contaminación en el lago Titicaca, Perú: capacitación, investigación y manejo* (Pags. 35 - 57). Westwater Research Centre, University of British Columbia.
- Montoya-Jaramillo, L.J. y Montoya-Ramírez, R.D. (2005). Transporte de sedimentos en las corrientes del departamento de antioquia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. 4(7), 101-109.
- Morales, P., Northcote, T., Zea, W. y Vásquez, M. (1991). Efectos de la eutroficación sobre las condiciones físicas. En: T.G. Northcote, P. Morales, D.A: Levy y M.S. Greaven. (Eds.), *Contaminación en el lago Titicaca, Perú: capacitación, investigación y manejo* (Pags. 21-34). Westwater Research Centre, University of British Columbia.
- Moya, J. (2013). *Análisis de la evolución de los caudales de entrada a las estaciones depuradoras de aguas residuales e influencia sobre la decantación secundaria* (Tesis Master). Universidad de Alicante.
- Muñoz, A. (2008). *Caracterización y tratamiento de aguas residuales*. México: Universidad Autónoma del estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería.
- Murrey, K.S., Cauvet, D., Lybeer, M., y Thomas, C. (1999). Particle size and chemical control of heavy metals in bed sediment from the Rouge River, Southeast Michigan. *Environmental Science Technology*, 33, 987-992.
- Namihira-Santillán, P.E.; Barrera-Escorcía, G. y Márquez-García, A.Z. (2002). Contaminación por bacterias fecales en el Lago Huayamilpas, México. *Hidrobiológica* 12(2): 129-136.
- Northcote, T. (1991). Eutrofización y problemas de polución. En: Dejoux, C. y Iltis, A. (Eds), *El lago Titicaca, síntesis del conocimiento limnológico actual*: 563-571. ORSTOM - HISBOL, La Paz, Bolivia.



- Northcote, T., Morales, P. y Dorsey, A. (1991). Introducción y panorama. En: Northcote, T., Morales, P., Levy, D. y Greaven, M. (Eds), *Contaminación en el lago Titicaca, Perú: capacitación, investigación y manejo*: 13-20. The University of British Columbia, Vancouver, Canadá.
- NRC - National Research Council. (1997). *Contaminated Sediments in Ports and Waterways: Cleanup Strategies and Technologies*. National Academy Press.
- Núñez. A. (2015). *Caracterización de la problemática de las aguas residuales en Ixmiquilpan Hidalgo*. Universidad Autónoma Metropolitana (tesis Licenciado).
- OEFA – Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *La fiscalización ambiental en aguas residuales*. Ministerio del Ambiente, Perú.
- OMS. (2013). *Uso seguro de aguas residuales y excretas*. World Health Organization
- Ocola, J. y Laqui, W. (2017). *Fuentes Contaminantes en la Cuenca del Lago Titicaca: Un aporte al conocimiento de las causas que amenazan la calidad del agua del maravilloso lago Titicaca*. Lima, Perú: Autoridad Nacional del Agua – ANA.
- Pacoricona, F., Kistriz, R. y Berolatti, R. (1991). Manejo de las aguas residuales en Puno: problemas, soluciones alternativas. En: T. Northcote, P. Morales, D. Levy y M.S. Greaven (Eds.). *Contaminación en el lago Titicaca, Perú: capacitación, investigación y manejo*. Westwater Research Center – Instituto de Aguas Altoandinas.
- Peavy, H. S., Rowe, D. R. y Tchobanoglous, G. (1985). *Environmental Engineering, International Edition*, New York.
- Pourchet, M., Mourguiart, P., Pinglot, J., Preiss, N., Argollo y Wirrmann, D. (1994). Sédimentation récente dans le lac Titicaca (Bolivie). *Academy Science Paris*, 319: 535-541.
- Restrepo-López, J., Ortiz-Royero, J., Otero-Díaz, L. y Ospino-Ortiz, S. (2015). Transporte de sedimentos en suspensión en los principales ríos del Caribe colombiano: magnitud, tendencias y variabilidad. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Experimentales de Fisiología Natural*, 39(153), 527-546.



- Romero, J. (1999). *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización*. España: Alfaomega.
- Ricárdez, G., López, G., Margulis, B. y Torres, C.A. (2016). Laguna de las Ilusiones y su entorno urbano: aguas residuales, urbanas y sedimentos. *Kuxulkab*, 24(43), 27-38.
- Rosabal, Y., Chang-Huerta, L., Perez-Aballe, N. y Morales-León, J.A. (2012). Evaluación de la demanda química de oxígeno en aguas de la provincia de Granma, Cuba. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 8(1), 15-20.
- Ruiz-Fernández, A., Maanan, M., Sanchez-Cabeza, J., Pérez-Bernal, L., López, P. y Limoges, A. (2014). Chronology of recent sedimentation and geochemical characteristics of sediments in Alvarado Lagoon, Veracruz (southwestern gulf of Mexico). *Ciencias Marinas*, 40(4), 291–303.
- Schwoerbel, J. (1995). *Métodos de hidrobiología*. España: Haering F. J.
- SGCA - Secretaría General de la Comunidad Andina. (2008). *Manual de Estadísticas Ambientales Andinas*. Edit. Realidades S.A.
- Shuval, H.I. (2000). Are the Conflicts between Israel and Her Neighbors Over the Waters of the Jordan River Basin an Obstacle to Peace? Israel-Syria As A Case Study. *Water, Air, and Soil Pollution*. 123(1-4), 605–630.
- Sigler, W. y Bauder, J. (2023). *Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales*. Northern Plains & Mountains, Regional Water Program.
- Soderberg, C.A. (2016). Guías de EPA-2012 para la reutilización de aguas residuales para la agricultura. *Perspectivas en Asuntos Ambientales*, 5, 13-21.
- Tchobanoglous, J., Burton, F. y Stensel, H. (2003). *Wastewater engineering: treatment and reuse*. McGraw Hills Companies, Inc.
- UNEP/WHO. (2004). *Guidelines on Municipal Wastewater Management*. UNEP/GPA. Coordination Office, The Hague, The Netherlands. 112 p.



UNESCO (2006). *Balance hídrico superficial del Perú a nivel multianual*. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°1.

Vargas, V.H., Arreola, J.A., García, J., Mendoza, R., Zenteno, T. y Méndez, L.C. (2017). Calidad de sedimentos asociada a actividades antrópicas en lagunas costeras semiáridas subtropicales de la costa central este del golfo de California. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 7-22.

Wetzel, R. G. (1983). *Limnología*. Edit. Omega.

Whitman (2024). Determinación de sólidos totales, en suspensión y disueltos en agua. Whitman Education.

https://www.whitman.edu/chemistry/edusolns_software/deSolidosTotales.pdf

WHO - World Health Organization 2006. *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, Volume 4: Excreta and greywater use in agricultura*. WHO – UNEP.

Van der Hoek, W. (2004). A framework for a global assessment of the extend of wastewater irrigation: the need a common wastewater typology. En: Scott C., Faruqui N., y Raschid L. (Eds.), *Wastewater Use in Irrigated Agriculture* (pp. 11 – 24). CAB International, USA.

WTE – Wastewater Treatment Systems. (2023). Wastewater Amounts Produced in the Home: <https://www.wte-ltd.co.uk/wastewater-amounts-in-the-home.html>

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). (2015). *Las aguas residuales, cifras y datos*. Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2017. París UNESCO. 12 p.

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017*. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO.



ANEXOS

Anexo 01: Matriz de Consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Índice	Instrumentos
<p>Problema general</p> <p>¿Cuál será la carga de sedimentos, la carga contaminante y características fisicoquímicas de las aguas residuales que ingresan directamente a la bahía interior de Puno?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Evaluar la carga de sedimentos, carga contaminante y las características fisicoquímicas de las aguas residuales que ingresan directamente y sin tratamiento previo a la bahía interior de Puno, en el lago Titicaca.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>Los sedimentos y la carga contaminante de las aguas residuales que ingresan directamente a la bahía interior de Puno, desde la ciudad están aportando al deterioro ambiental del lago Titicaca.</p>	<p>Independiente</p> <p>Efluentes que ingresan directamente a la BIP, hora del día y mes.</p>	<p>- Tres horarios (8, 13 y 18 hrs).</p> <p>- Tres meses</p>	<p>8, 13 y 18 Hrs.</p> <p>Nov., Dic, Ene.</p>	<p>Tiempo (hora)</p>	<p>- Reloj, calendario</p>
<p>¿Cuántos efluentes descargan directamente a la BIP sin previo tratamiento y en que volúmenes?</p>	<p>Identificar el número de efluentes de aguas residuales que ingresan directamente a la BIP sin tratamiento previo y cuantificar sus volúmenes de ingreso.</p>	<p>A la BIP ingresan aguas residuales directamente desde unos 06 efluentes y en un volumen promedio de 50 L/s.</p>	<p>Dependientes</p> <p>Aguas residuales que ingresan a la BIP.</p>	<p>N° efluentes.</p> <p>Volúmenes por cada efluente.</p>	<p>Coordenadas</p> <p>Caudal de cada efluente.</p>	<p>UTM</p> <p>L/seg</p>	<p>- GPS</p> <p>- Medición de caudales por el método del flotador.</p>
<p>¿Cuántas toneladas por día y año de sedimentos ingresarán a la BIP desde las descargas de los efluentes de aguas residuales?</p>	<p>Estimar la cantidad de sedimentos que ingresan a la bahía interior de Puno desde efluentes de aguas residuales de la ciudad de Puno, sin previo tratamiento.</p>	<p>A la BIP ingresan alrededor de 5 toneladas de sedimentos anuales, desde efluentes de aguas residuales.</p>	<p>Sedimentos que traen las aguas residuales</p>	<p>Cantidad de sedimentos</p>	<p>Por día y año.</p>	<p>Kg o t/día y año</p>	<p>- Método de sedimentación en conos Inhoff para cuantificación en volúmenes.</p> <p>- Método gravimétrico por filtración y desecado de muestras para cuantificar masa.</p>
<p>¿Cuáles sus características fisicoquímicas de los efluentes de aguas residuales que ingresan a la BIP, y cuál su carga anual?</p>	<p>Determinar la carga contaminante de los parámetros fisicoquímicos de efluentes de aguas residuales de ingreso directo a la bahía interior de Puno.</p>	<p>La carga contaminante de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales supera los 500 kg anuales que ingresan a la bahía interior y sus valores superan los LMP establecidos en norma nacional</p>	<p>Niveles de parámetros fisicoquímicos.</p>	<p>Concentración y carga de DBO, DQO y STS.</p> <p>pH, temperatura.</p>	<p>Por día y año</p>	<p>mg/L</p> <p>kg o t/día y año</p> <p>°C</p> <p>Hidrogen.</p>	<p>- DBO5: Método de incubación.</p> <p>- DQO: método del permanganato de potasio.</p> <p>- STS: método gravimétrico.</p> <p>- pH y temperatura, con multiparámetro digital.</p> <p>- Según Norma nacional (DS 003-2010-MINAM).</p>



Anexo 02: Análisis de Varianza

DISEÑOS EXPERIMENTALES: ANÁLISIS DE VARIANZA EN DISEÑO BLOQUE COMPLETO AL AZAR Y PRUEBAS DE TUKEY (P<0.05)

A. CAUDAL (primer objetivo)

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Caudal

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	389532,366 ^a	13	29964,028	48,944	,000
Meses	4766,182	2	2383,091	3,893	,037
Zonas	296904,799	10	29690,480	48,497	,000
Error	12244,187	20	612,209		
Total	401776,552	33			

a. R al cuadrado = .970 (R al cuadrado ajustada = .950)

Caudal

HSD Tukey^{a,b}

Meses	N	Subconjunto	
		1	2
Julio	11	37,1409	
Noviembre	11	51,0909	51,0909
Marzo	11		66,5655
Sig.		,400	,328

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 612.209.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 11.000.

b. Alfa = .05.

Caudal

HSD Tukey^{a,b}



Zonas	N	Subconjunto		
		1	2	3
San José	3	,3500		
UNA grifo	3	1,1867		
Costanera curva	3	2,5367		
Jr. 9 de octubre	3	3,4133		
UNA comedor	3	4,0067		
Vallecito	3	4,4800		
Jr. Ricardo Palma	3	24,6300		
Jr. Carabaya	3	29,2633	29,2633	
Jayllihuaya	3	63,0633	63,0633	
Salcedo	3		98,3867	
Espinar salida	3			336,2733
Sig.		,133	,073	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 612.209.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

b. Alfa = .05.

B) SÓLIDOS SEDIMENTABLES (segundo objetivo)

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Ssd

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	93,282 ^a	13	7,176	88,720	,000
Meses	1,602	2	,801	9,906	,001
Zonas	67,922	10	6,792	83,981	,000
Error	1,618	20	,081		
Total	94,900	33			

a. R al cuadrado = .983 (R al cuadrado ajustada = .972)

Ssd

HSD Tukey^{a,b}



Meses	N	Subconjunto	
		1	2
Julio	11	,6182	
Noviembre	11	,7818	
Marzo	11		1,1455
Sig.		,385	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = .081.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 11.000.

b. Alfa = .05.

Ssd

HSD Tukey^{a,b}

Zonas	N	Subconjunto		
		1	2	3
San José	3	,1333		
Jr. 9 de octubre	3	,1333		
UNA grifo	3	,1667		
Vallecito	3	,1667		
Vallecito 2	3	,2333		
UNA comedor	3	,2667		
Salcedo	3	,3000		
Jayllihuaya	3	,3333		
Jr. Carabaya	3	,8667	,8667	
Jr. Ricardo Palma	3		1,5333	
Espinar salida	3			5,2000
Sig.		,121	,201	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = .081.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

b. Alfa = .05.



C) PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS (tercer objetivo)

Temperatura

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Temperatura

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	3805,627 ^a	8	475,703	832,620	,000
Puntos	23,327	5	4,665	8,166	,003
Meses	32,520	2	16,260	28,460	,000
Error	5,713	10	,571		
Total	3811,340	18			

a. R al cuadrado = .999 (R al cuadrado ajustada = .997)

Temperatura

HSD Tukey^{a,b}

Puntos	N	Subconjunto	
		1	2
Salcedo	3	12,8000	
San José	3	13,2000	
Jr. 9 de Octubre	3	14,5000	14,5000
UNA	3	14,5667	14,5667
Jr. Carabaya	3		15,7000
Jr. Ricardo Palma	3		15,8333
Sig.		,125	,332

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = .571.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

b. Alfa = .05.



Temperatura

HSD Tukey^{a,b}

Meses	N	Subconjunto	
		1	2
Julio	6	12,5333	
Noviembre	6		15,3333
Marzo	6		15,4333
Sig.		1,000	,972

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = .571.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6.000.

b. Alfa = .05.

Oxígeno disuelto

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: OD

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	214,894 ^a	8	26,862	77,511	,000
Puntos	16,084	5	3,217	9,282	,002
Meses	1,468	2	,734	2,118	,171
Error	3,466	10	,347		
Total	218,360	18			

a. R al cuadrado = .984 (R al cuadrado ajustada = .971)

OD

HSD Tukey^{a,b}

Puntos	N	Subconjunto	
		1	2
Jr. Ricardo Palma	3	1,3667	
Jr. 9 de Octubre	3		3,1667
UNA	3		3,3667
Jr. Carabaya	3		3,8000



San José	3	3,8333
Salcedo	3	4,3333
Sig.	1,000	,233

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = .347.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

b. Alfa = .05.

pH

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: pH

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	1181,397 ^a	8	147,675	420,586	,000
Puntos	12,250	5	2,450	6,978	,005
Meses	4,151	2	2,075	5,911	,020
Error	3,511	10	,351		
Total	1184,908	18			

a. R al cuadrado = .997 (R al cuadrado ajustada = .995)

pH

HSD Tukey^{a,b}

Puntos	N	Subconjunto	
		1	2
Salcedo	3	6,3333	
San José	3	7,9167	7,9167
Jr. 9 de Octubre	3		8,1333
UNA	3		8,3667
Jr. Carabaya	3		8,7200
Jr. Ricardo Palma	3		8,8000
Sig.		,068	,492



Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = .351.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

b. Alfa = .05.

pH

HSD Tukey^{a,b}

Meses	N	Subconjunto	
		1	2
Marzo	6	7,3683	
Julio	6		8,3333
Noviembre	6		8,4333
Sig.		1,000	,954

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = .351.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6.000.

b. Alfa = .05.

Conductividad eléctrica

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: CE

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	42996702,778 ^a	8	5374587,847	159,190	,000
Puntos	782170,736	5	156434,147	4,633	,019
Meses	580198,694	2	290099,347	8,592	,007
Error	337621,472	10	33762,147		
Total	43334324,250	18			

a. R al cuadrado = .992 (R al cuadrado ajustada = .986)



CE

HSD Tukey^{a,b}

Puntos	N	Subconjunto	
		1	2
Salcedo	3	1281,6667	
Jr. 9 de Octubre	3	1363,0000	
Jr. Carabaya	3	1404,5000	1404,5000
San José	3	1524,0000	1524,0000
UNA	3	1644,0000	1644,0000
Jr. Ricardo Palma	3		1908,0000
Sig.		,237	,060

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 33762.147.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

b. Alfa = .05.

CE

HSD Tukey^{a,b}

Meses	N	Subconjunto	
		1	2
Marzo	6	1278,5000	
Noviembre	6		1576,5000
Julio	6		1707,5833
Sig.		1,000	,460

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 33762.147.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6.000.

b. Alfa = .05.



DBO5

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: DBO5

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	87732,752 ^a	8	10966,594	12,216	,000
Puntos	22317,710	5	4463,542	4,972	,015
Meses	561,031	2	280,515	,312	,739
Error	8977,121	10	897,712		
Total	96709,873	18			

a. R al cuadrado = .907 (R al cuadrado ajustada = .833)

DBO5

HSD Tukey^{a,b}

Puntos	N	Subconjunto	
		1	2
Jr. 9 de Octubre	3	25,0333	
San José	3	29,0667	
UNA	3	37,2833	37,2833
Salcedo	3	53,0000	53,0000
Jr. Carabaya	3	100,5000	100,5000
Jr. Ricardo Palma	3		115,2667
Sig.		,090	,077

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 897.712.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

b. Alfa = .05.

DQO

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: DQO



Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	245872,863 ^a	8	30734,108	274,289	,000
Puntos	61967,197	5	12393,439	110,606	,000
Meses	1040,353	2	520,177	4,642	,037
Error	1120,500	10	112,050		
Total	246993,363	18			

a. R al cuadrado = .995 (R al cuadrado ajustada = .992)

DQO

HSD Tukey^{a,b}

Puntos	N	Subconjunto		
		1	2	3
Salcedo	3	26,0667		
Jr. 9 de Octubre	3		69,4000	
San José	3		70,9733	
UNA	3		79,6333	
Jr. Carabaya	3			165,0333
Jr. Ricardo Palma	3			193,6500
Sig.		1,000	,835	,064

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 112.050.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

b. Alfa = .05.

DQO

HSD Tukey^{a,b}

Meses	N	Subconjunto	
		1	2
Marzo	6	90,5833	
Julio	6	102,9783	102,9783
Noviembre	6		108,8167



Sig.		,156	,620
------	--	------	------

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 112.050.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6.000.

b. Alfa = .05.

Anexo 02: Panel Fotográfico



Fotografía 1. Puntos identificados de ingreso directo de efluentes de aguas residuales a la BIP (ciudad de Puno).



Fotografía 2. Parámetros medidos en campo siguiendo los lineamientos técnicos establecidos por el ANA en el 2016 – Protocolo de muestreo de recursos hídricos superficiales.



Fotografía 3. Medición de los parámetros fisicoquímicos en campo en los puntos de descarga, oxígeno disuelto (OD), pH, conductividad y temperatura.



Fotografía 4. Muestra de 1.0 L de agua para medir los sólidos suspendidos totales (SST), mediante el método gravimétrico, en el Laboratorio de Ecología Acuática de la Universidad Nacional del Altiplano.



Fotografía 5. Filtros contenidos de sedimentos, llevado a una estufa a 105°C hasta peso constante.



Fotografía 6. Medición de los parámetros de muestras de agua en laboratorio. Oxígeno disuelto (OD), pH, conductividad y temperatura.

ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓNAUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCVFormato digital Fecha de entrega: 30-09-2024

I. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: VERONICA ROMERO MOZODirección: Jirón Puno S/N, con Jirón Santa Cruz Mz N Lt 04.DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 47478935Teléfono: 981 694 445 email: veronicaromeromozo@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASEscuela Profesional o Mención: INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTALTítulo o Grado Académico a optar: TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTALAsesor: Mgtr. ARNALDO YANA TORRES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico Título: CARGA DE SEDIMENTOS Y CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA DESCARGADE INGRESO DIRECTO DE LAS AGUAS RESIDUALES A LA BAHÍA INTERIORDE PUNO, LAGO TITICACA, 2023Palabras claves, (3 a 5 términos): AGUAS RESIDUALES, BAHÍA DE PUNO, CONTAMINACIÓN, SEDIMENTOS, TITICACA¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?1

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

- Bachiller Título 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL - P22

Firma de Autor



huella digital

30-09-2024

Fecha