



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL**



**TESIS**

**CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y BACTERIOLÓGICAS DE LAS  
AGUAS DE LA QUEBRADA RANCHOPUNCO, CENTRO POBLADO DE  
SALCEDO**

**PRESENTADA POR:**

**MANUEL HUMBERTO PEÑARANDA BARRA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN  
AMBIENTAL**

**PUNO, PERÚ**

**2022**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## ESCUELA DE POSGRADO

### MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

#### TESIS

#### CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y BACTERIOLÓGICAS DE LAS AGUAS DE LA QUEBRADA RANCHOPUNKO, CENTRO POBLADO DE SALCEDO

#### PRESENTADA POR:

**MANUEL HUMBERTO PEÑARANDA BARRA**

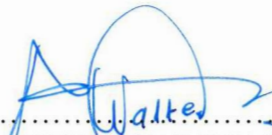
**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN  
AMBIENTAL**

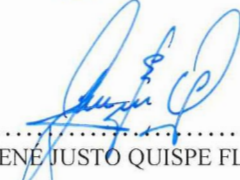


APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:


PRESIDENTE

  
.....  
Dr. ANTONIO WALTER SARMIENTO SARMIENTO

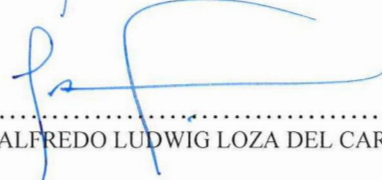
PRIMER MIEMBRO

  
.....  
M.Sc. RENÉ JUSTO QUISPE FLORES

SEGUNDO MIEMBRO

  
.....  
M.Sc. DANTE MAMANI SAIRITUPAC

ASESOR DE TESIS

  
.....  
M.Sc. ALFREDO LUDWIG LOZA DEL CARPIO

Puno, 24 de agosto de 2022

**ÁREA :** Medio Ambiente

**TEMA :** Características fisicoquímicas y bacteriológicas de las aguas de la quebrada  
Ranchopunko, Centro Poblado de Salcedo

**LÍNEA :** Recursos Naturales y Medio Ambiente



## DEDICATORIA

A mi padre Humberto y a mi madre Lily, por su indeclinable apoyo y mi eterna gratitud.

A mí querida esposa Teófila por su apoyo moral y esfuerzo incondicional en cristalizar este trabajo

A mis hijos, Donovan, Juana Raquel y Lily Raquel, que son la razón de mi vida



## AGRADECIMIENTOS

- Gracias a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.
- Gracias a mis padres quienes han creído siempre en mí, dándome todo el apoyo y fomentando en mí el deseo de superación y de triunfo en la vida.
- Gracias a todos mis docentes por sus enseñanzas y apoyo que motivaron a desarrollarme como persona y profesional en la Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Gracias al Lic. Cesar Gamarra jefe del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), por su apoyo con el laboratorio para mi investigación.
- Gracias a la Lic. Carmen Coila y al Lic. Humberto Siguayro por su apoyo con los análisis en el Laboratorio del IMARPE
- A la Srta. Margot Reyes Orihuela por su apoyo en el Laboratorio de Ecología Acuática de la UNA Puno.
- Gracias al Dr. Alfredo Loza Del Carpio, gran amigo y hermano por su apoyo y asesoramiento de la tesis.
- Gracias al Mg. Jesús Miranda Mamani por su apoyo incondicional en la tesis



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1

### CAPÍTULO I

#### REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco Teórico	3
1.1.1. Aguas residuales	3
1.1.1.1. Caracterización de las aguas residuales	5
1.1.1.2. Clasificación de los contaminantes del agua	5
1.1.2. Parámetros fisicoquímicos del agua	7
1.1.2.1. El pH en las aguas residuales	7
1.1.2.2. Potencial de oxidorreducción	8
1.1.2.3. Alcalinidad	9
1.1.2.4. Salinidad	9
1.1.2.5. Dureza	10
1.1.2.6. Turbidez	10
1.1.2.7. Temperatura	10
1.1.2.8. Conductividad eléctrica	10

iii



1.1.2.9. Sólidos	11
1.1.3. Parámetros Microbiológicos	14
1.1.4. Carga contaminante	17
1.1.5. El problema de las aguas residuales en Latinoamérica	17
1.1.6. Eutrofización y contaminación	18
1.1.7. Características de la contaminación	18
1.1.8. Contaminación del lago Titicaca	19
1.2. Antecedentes	19

## **CAPÍTULO II**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

2.1. Identificación del problema	29
2.2. Enunciados del problema	30
2.3. Justificación	30
2.4. Objetivos	31
2.4.1. Objetivo general	31
2.4.2. Objetivos específicos	31
2.5. Hipótesis	32
2.5.1. Hipótesis general	32
2.5.2. Hipótesis específicas	32

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. Lugar de estudio	33
3.2. Población	34
3.3. Muestra	34
3.4. Método de investigación	34
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	35
3.5.1. Caracterizar los parámetros fisicoquímicos de las aguas provenientes de la	



quebrada Ranchopunko, a su paso por el Centro Poblado de Salcedo, según diferentes puntos de muestreo.	35
3.5.1.1. Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos.	35
3.5.1.2. Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros.	36
3.5.1.3. Caracterización de Parámetros Físicoquímicos	37
3.5.1.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	38
3.5.1.5. Técnicas de análisis	39
3.5.1.6. Aplicación de prueba estadística inferencial.	39
3.5.2. Caracterizar los niveles de coliformes totales y termo tolerantes de las aguas provenientes de la quebrada Ranchopunko a su paso por el Centro Poblado de Salcedo.	40
3.5.2.1. Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos.	40
3.5.2.2. Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros.	40
3.5.2.3. Aplicación de prueba estadística inferencial.	42
3.5.3. Cuantificar la carga contaminante que ingresa a la Bahía Interior de Puno a través del Arroyo Ranchopunko.	43
3.5.3.1. Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos.	43
3.5.3.2. Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros.	43

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Parámetros físicoquímicos de las aguas provenientes de la quebrada Ranchopunko, a su paso por el Centro Poblado de Salcedo, según diferentes puntos de muestreo.	45
4.1.1. Temperatura	49
4.1.2. pH	49



4.1.3.	Conductividad	50
4.1.4.	Sólidos suspendidos totales	51
4.1.5.	Salinidad	52
4.1.6.	Oxígeno disuelto	52
4.1.7.	DBO <sub>5</sub>	53
4.1.8.	DQO	54
4.1.9.	Nitrógeno total (NT)	55
4.1.10.	Fósforo total (PT)	56
4.2.	Caracterizar los niveles de coliformes totales y termotolerantes de las aguas provenientes de la quebrada Ranchopunko a su paso por el Centro Poblado de Salcedo.	56
4.2.1.	Coliformes totales	56
4.2.2.	Coliformes termo tolerantes	58
4.3.	Cuantificar la carga contaminante que ingresa a la Bahía Interior de Puno a través del Arroyo Ranchopunko	60
	CONCLUSIONES	62
	RECOMENDACIONES	63
	BIBLIOGRAFÍA	64
	ANEXOS	69





## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Tipos de agua residual en función de sus características.	4
2. Contaminantes de principal importancia presentes en las aguas residuales.	8
3. Clasificación de las aguas residuales en función a los parámetros físico - químicos en mg/l.	14
4. Concentración de patógenos entéricos en heces.	15
5. Ubicación: (Referencia: Municipalidad C.P. Salcedo) y Puntos de Muestreo	33
6. Descripción de las variables consideradas en el estudio	36
7. Descripción de las técnicas de análisis físico-químicos.	39
8. Índice del NMP con 95% de límite de confianza para combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se usan 5 tubos en 20 ml. de muestra de agua o hielo.	42
9. Promedios de parámetros hallados en los tres puntos de muestreo.	51
10. Análisis de la variación de los parámetros entre los tres puntos evaluados.	55
11. Prueba de contraste (Dunntest) por puntos de muestreo de Coliformes Totales.	57
12. Estadística descriptiva de Coliformes Totales evaluados en los puntos de muestreo.	57
13. Prueba de contraste (Dunntest) por puntos de muestreo de Coliformes Termotolerantes	58
14. Estadística descriptiva de Coliformes Termo tolerantes evaluados en los puntos de muestreo NMP/100ml.	59
15. Reporte de la carga contaminante que ingresa al lago Titicaca en el caudal del Arroyo Ranchopunko.	60



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Temperatura	45
2. pH	46
3. Conductividad Us/cm	46
4. Solidos suspendidos totales ppm	47
5. Salinidad %	47
6. Oxígeno disuelto mg/L	48
7. DQO mg/L	48
8. DBO5 mg/L	49
9. En este gráfico se observa que el punto 2, es el que presenta mayor cantidad de Coliformes Totales.	58
10. Coliformes termotolerantes (UMP)	59

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Lugar de estudio: el estudio se realizó en la quebrada Ranchopunko, en el Centro Poblado Salcedo, ubicado a 7 km de la ciudad de Puno.	69
2. Detalle del lugar de estudio: se observan los 3 puntos de muestreo en el Arroyo Ranchopunko, en el Centro Poblado Salcedo.	69
3. Equipos de muestreo utilizados en campo, oxímetro y multiparámetro.	70
4. Muestreo de parámetros fisicoquímicos. Punto de monitoreo 1, aguas arriba de la quebrada Ranchopunko	70
5. Muestreo de parámetros fisicoquímicos. Punto de monitoreo 2, altura del Centro Poblado Salcedo.	71
6. Muestreo de parámetros fisicoquímicos. Punto de monitoreo 3, desembocadura a la Bahía Interior del Lago Titicaca	71
7. Medición del ancho del cauce del Arroyo Ranchopunko	72
8. Equipos de muestreo utilizados en campo (Correntómetro).	72
9. Medición del caudal del Arroyo con el método del corcho.	73
10. Muestras rotuladas en el Laboratorio del IMARPE.	73
11. Equipos del Laboratorio Fisicoquímico del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) utilizados para los análisis de los parámetros de las muestras de agua del Arroyo Ranchopunko.	74

## RESUMEN

Los ecosistemas acuáticos son cada vez más afectados, principalmente por las actividades humanas que se desarrollan en sus zonas adyacentes. En este estudio se evaluó el impacto de las actividades humanas al arroyo Ranchopunko, que atraviesa el Centro Poblado de Salcedo, a través del análisis de parámetros físico químicos (Temperatura, pH, Conductividad, SST, Oxígeno disuelto, Salinidad, DBO<sub>5</sub>, DQO, Nitrógeno total y Fósforo total), bacteriológicos (coliformes totales y termo tolerantes), también se determinó la carga contaminante. Se establecieron 3 puntos de muestreo, considerando desde la zona menos impactada a la zona más afectada. Los resultados evidenciaron que las variables como pH, Conductividad (mS/cm), Sólidos suspendidos totales (SST), Oxígeno disuelto (OD), Salinidad, DBO<sub>5</sub>, DQO y Nitrógeno total (NT), resultaron significativas (p-valor menor a 0.05) para los puntos de muestreo considerados, siendo la mayoría de los casos el punto 1 diferente al punto 2 y 3 de muestreo. Respecto a los microorganismos, se evidenció la presencia de coliformes en los tres puntos de muestreo, indicando así que este arroyo está contaminado desde la cabecera de cuenca. Los coliformes totales tuvieron mayor cantidad que los termo tolerantes (p-valor menor a 0.05). En relación a la carga contaminante estuvo representado por los SSTs, en elevada cantidad de carga, seguido de la DQO y DBO<sub>5</sub> teniendo valores de carga total de 80.80 kg/día, 34.14 kg/día y 28.26 kg/día respectivamente. Se concluye que este arroyo efectivamente es afectado considerablemente por la población del Centro Poblado de Salcedo y por lo tanto al ecosistema del lago.

**Palabras clave:** Carga contaminante, contaminación, factores bacteriológicos, factores fisicoquímicos, Lago Titicaca.

## ABSTRACT

Aquatic ecosystems are increasingly affected, mainly by human activities that take place in their adjacent areas. In this study, the impact of human activities on the Ranchopunko stream, which crosses the Salcedo Populated Center, was evaluated through the analysis of physical-chemical parameters (Temperature, pH, Conductivity, SST, Dissolved Oxygen, Salinity, DBO5, COD, Nitrogen total and total Phosphorus), bacteriological (total coliforms and thermo tolerant), the pollutant load was also determined. 3 sampling points were established, considering from the least impacted area to the most affected area. The results showed that variables such as pH, Conductivity (mS/cm), Total Suspended Solids (TSS), Dissolved Oxygen (DO), Salinity, BOD5, COD and Total Nitrogen (NT), were significant (p-value less than 0.05) for the sampling points considered, with point 1 being different from sampling points 2 and 3 in most cases. Regarding microorganisms, the presence of coliforms was evidenced in the three sampling points, thus indicating that this stream is contaminated from the headwaters of the basin. The total coliforms had a higher amount than the thermotolerant ones (p-value less than 0.05). In relation to the polluting load, it was represented by the TSS, in a high amount of load, followed by COD and BOD5, having total load values of 80.80 kg/day, 34.14 kg/day and 28.26 kg/day respectively. It is concluded that this stream is effectively considerably affected by the population of the Salcedo Populated Center and therefore the lake ecosystem.

**Keywords:** Bacteriological factors, contamination, contaminant charge, Lake Titicaca, physico-chemical factors.

## INTRODUCCIÓN

Las diversas actividades humanas generan impactos negativos en los ecosistemas acuáticos, tales como el incremento de nutrientes como fósforo y nitrógeno, así como de otros compuestos tóxicos orgánicos e inorgánicos. Estas actividades alteran la calidad del agua, afectando la calidad fisicoquímica y bacteriológica de estos cuerpos acuáticos. Afectando así no solo a estos ecosistemas sino también a los que la habitan y hacen uso de ella, lo que incluye especies acuáticas y al mismo ser humano.

De manera que se hace necesario conocer las características fisicoquímicas y bacteriológicas a fin de diagnosticar la salud de los ríos, arroyos y lagos, y así mismo, evaluar si está siendo afectada por el uso y manejo que se vienen haciendo de los recursos hídricos, a lo largo de su recorrido y en su cuerpo receptor. Esto a la vez, permite brindar recomendaciones de gestión sostenible a las entidades correspondientes en relación a la sostenibilidad del uso de los recursos hídricos y de esta manera contribuir con la conservación de los ecosistemas acuáticos y cuidar la salud pública.

Esta investigación se encuentra enmarcado bajo la línea de investigación de Recursos naturales y medio ambiente, en la sublínea Calidad Ambiental. Considerando esto, se tuvo como objetivo analizar la calidad del agua del arroyo tributario al lago Titicaca denominado “*Ranchopunko*”. Este arroyo está afectado por diversas actividades humanas a lo largo de su recorrido por el centro poblado de Salcedo, tales como vertimiento de aguas residuales clandestinas, lavado de autos, vertimiento de residuos sólidos y entre otros. Lamentablemente, este arroyo confluye al lago Titicaca, llevando consigo toda la contaminación. Este estudio representa uno de los primeros estudios existentes de este arroyo, dado que su pequeño volumen hace que se reste en importancia en relación a los estudios de impacto al lago Titicaca; sin embargo, tiene numerosas actividades humanas que alteran su calidad, por ende, afectan la calidad de la Bahía Interior de Puno del lago Titicaca. Esta investigación se llevó a cabo a través de registros de las características fisicoquímicas y bacteriológicas de muestras de aguas tomadas en diferentes puntos de su recorrido y analizadas en el laboratorio del IMARPE y laboratorio de Ecología Acuática de la UNA Puno.

El contenido de la investigación está estructurado por capítulos, los cuales son: en el capítulo I se desarrolla la revisión de la literatura en el cual incluye el marco teórico y los



antecedentes. En el capítulo II se desarrolla el planteamiento del problema, en el que incluye la identificación del problema, enunciados del problema, justificación, objetivos e hipótesis. En el capítulo III se describe los materiales y métodos, el cual incluye el lugar de estudio, población, muestra, método de investigación, descripción detallada de métodos por objetivos específicos. En el capítulo IV resultados y discusión, finalmente se describen las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1. Marco Teórico

##### 1.1.1. Aguas residuales

Las aguas residuales provenientes de actividades humanas pueden ser de origen industrial y también de origen doméstico, denominadas a estas últimas como aguas servidas y provienen de actividades de la vida cotidiana del hombre, como limpieza, preparación de alimentos y de sus necesidades fisiológicas; para ello, se tiene un cálculo de que cada persona consume 200 L/día de agua para cumplir todas estas actividades (Perea, 2003)

Dichas aguas residuales se denominan también aguas negras o municipales y se vierten en el sistema de las alcantarillas, para ser trasladadas en la mayoría de casos a cuerpos de agua o ecosistemas acuáticos, que incluyen mares, lagos y ríos, para dar lugar a diferentes procesos de contaminación acuática, aportando diferentes tipos de residuos que pueden consumir o demandar oxígeno durante su oxidación, como el material fecal, residuos de alimentos, aceites y grasas; pueden incluir además, sedimentos, materia orgánica no biodegradable y diversos tipos de microorganismos patógenos para el ser humano (Perea, 2003)

La definición de agua residual o agua servida abarca al conjunto de aguas y sólidos que por diferentes medios se introducen en las cloacas o desagües y son transportadas mediante el sistema de alcantarillado, pudiendo ser de diferentes tipos (Tabla 1). Dentro de las aguas residuales se encuentran las siguientes (Romero, 2010):



- Aguas residuales domesticas (ARD), el agua residual de este tipo proviene de las viviendas, zonas comerciales e instituciones.
- Aguas residuales municipales (ARM), se refieren a las aguas transportados por el sistema de alcantarillado de una zona poblada, lo que posteriormente son tratados en un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales.
- Aguas residuales industriales, este tipo de aguas proviene de las descargas de las industrias o de zonas industriales.

Existen diferentes formas de denominar a las aguas residuales, las cuales se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 1

*Tipos de agua residual en función de sus características.*

Tipo de agua	Definición	Características
Agua residual doméstica.	Producida en las diferentes actividades al interior de las viviendas, colegios, etc.	Los contaminantes están presentes en moderadas concentraciones.
Agua residual municipal.	Son las transportadas por el alcantarillado de una ciudad o población.	Contiene materia orgánica, nutrientes, patógenos, etc.
Agua residual industrial.	Son las resultantes de las descargas de industrias.	Su contenido depende del tipo de industria y/o procesos industriales.
Agua negra.	Contiene orina y heces.	Alto contenido de nutrientes, patógenos, hormonas y residuos farmacéuticos.
Agua gris.	Proveniente de lavamanos, duchas y lavadoras.	Tiene pocos nutrientes y agentes patógenos y por el contrario presentan máxima descarga de productos para el cuidado personal y detergentes.

Fuente: Tabla elaborada con información recuperada de Romero (Romero, 2010) y Metcalf & Eddy (1995).

### 1.1.1.1. Caracterización de las aguas residuales

Para la caracterización de aguas residuales, se requiere seleccionar un conjunto de parámetros analíticos que permitan establecer su condición y calidad física, química y biológica, siendo los parámetros más importantes la turbidez, sólidos suspendidos totales, los sólidos disueltos totales, la acidez/alcalinidad (pH) y el oxígeno disuelto; es fundamental también incluir la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que constituye el requerimiento de los microorganismos para vivir, junto con la presencia de materia orgánica que les sirve de nutrientes. Todos estos parámetros se utilizan como medida de la cantidad de residuos que existen en el agua (Metcalf, 2000; Perea, 2003).

### 1.1.1.2. Clasificación de los contaminantes del agua

Los contaminantes del agua se clasifican en tres categorías Metcalf & Eddy (1995):

- a) **Contaminantes Químicos.** Esta categoría incluye productos químicos orgánicos y también inorgánicos. Los contaminantes químicos orgánicos repercuten en la disminución del oxígeno en el agua por causa de los procesos de degradación biológica o descomposición, trayendo como consecuencia serias perturbaciones en el ambiente o desequilibrios en el ecosistema en general (Tabla 2). Para el caso de los contaminantes químicos inorgánicos, los resultados son más importantes ya que pueden propiciar efectos tóxicos, más que la disminución del oxígeno; aunque existen casos en los cuales los compuestos inorgánicos pueden tener también elevadas demandas de oxígeno, para contribuir también en su disminución en el ecosistema.
- b) **Contaminantes Físicos,** estos incluyen:
  - Cambios térmicos: la temperatura constituye un parámetro importante debido a sus efectos vitales en la vida acuática, así como en reacciones químicas, velocidad de reacción y en la posibilidad de aprovechar el agua con diferentes fines, como puede ser el caso de las aguas residuales provenientes de plantas industriales relativamente calientes después de ser usadas en diversos procesos (Metcalf & Eddy, 1995).

- El color: determina cualitativamente el tiempo de las aguas residuales, dado que a mayor tiempo los sólidos suspendidos tienden a depositarse en el fondo (Metcalf & Eddy, 1995). Cuando el agua es reciente, esta suele tener tonalidades grisáceas; pero, cuando los compuestos orgánicos son desintegrados por bacterias y otros microorganismos, el oxígeno disuelto de las aguas residuales llegan a concentraciones de cero y entonces el color cambia a negro (Metcalf & Eddy, 1995).
- La turbidez.: Característica originada principalmente por los sólidos en suspensión. Dado que en general la turbidez está asociada a arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, algas, compuestos orgánicos solubles de color, el plancton y otros organismos microscópicos (Loucif et al., 2020).

c) **Contaminantes Biológicos:** Constituyen agentes responsables de la transmisión de enfermedades como el cólera, la tifoidea y otras relacionadas con el agua (Metcalf & Eddy, 1995).

La contaminación por aguas residuales suele incluir una mezcla compleja de compuestos tóxicos, que incluyen elementos orgánicos e inorgánicos, sin embargo, no es práctico, ni factible realizar un análisis muy completo en la mayoría de aguas servidas (Ramalho, 1999)

En las aguas residuales se puede encontrar una gran variedad y diversidad de gérmenes microscópicos (bacterias, virus, protozoos, helmintos, hongos y levaduras) (Metcalf & Eddy, 1995). En la bahía interior de Puno suelen ser las más comunes bacterias y parásitos evacuados desde las heces humanas hasta el cuerpo de agua (PCM, 2014). Estos organismos pueden causar enfermedades que pueden lograr variados niveles de gravedad; desde una simple gastroenteritis, hasta diarreas profusas graves, incluyen algunas muy peligrosas como la hepatitis, disentería o fiebre tifoidea a las sociedades que tienen contacto con estas aguas del lago Titicaca, tanto de manera directa como indirecta (SUNASS, 2008).

## 1.1.2. Parámetros fisicoquímicos del agua

### 1.1.2.1. El pH en las aguas residuales

Es la medición de la concentración del ion hidrógeno en el cuerpo de agua, comúnmente expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar del ion hidrógeno. Este parámetro es capaz de influir en el tratamiento de aguas residuales, dado que a menores valores ( $<6$ ) favorece el desarrollo de hongos en contraste con las bacterias; asimismo, bajos valores ejercen efectos sinérgicos con la actividad bactericida del cloro, resultando en un mejor efecto del cloro en la eliminación de bacterias (Romero, 2010). El pH es un importante parámetro de calidad de los cuerpos de agua, ya sean aguas naturales o aguas residuales; el intervalo adecuado para permitir la existencia de la gran mayoría de vida biológica es muy estrecho y crítico, lo que va a depender de su procedencia; así por ejemplo, el agua industrial con una concentración inadecuada del ion hidrogeno, resulta complicado en su tratamiento por métodos biológicos y si esta concentración no se corrige antes de su evacuación, el efluente puede alterar la concentración de las aguas naturales (Metcalf & Eddy, 1995).

Tabla 2

*Contaminantes de principal importancia presentes en las aguas residuales.*

<b>Contaminante</b>	<b>Causa de su importancia</b>
Sólidos suspendidos	Contribuyen con el incremento de la turbidez del agua, así como el depósito de lodos y genera condiciones anaeróbicas si estas aguas se descargan a los ecosistemas acuáticos sin estar previamente tratadas.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta por proteínas, carbohidratos y grasas. Se mide en términos de DBO <sub>5</sub> y DQO. Si no se trata adecuadamente puede ocasionar agotamiento del oxígeno disuelto de la fuente receptora.
Metales pesados	Proviene de aguas residuales comerciales e industriales y generan toxicidad en las especies acuáticas.
Patógenos	Producen enfermedad.
Nutrientes	El C, N y P son nutrientes. Cuando se descargan en los ecosistemas acuáticos sin previamente estar tratadas, puede ocasionar el crecimiento desmedido de algas y microalgas.
Materia orgánica refractaria	Es resistente al tratamiento de agua convencional. Algunos ejemplos de ello son fármacos, detergentes, productos del cuidado personal, fenoles y pesticidas agrícolas.
Sólidos inorgánicos disueltos	Algunos como el calcio, sodio y sulfatos son agregados al suministro doméstico original como resultado del uso y es posible que deban ser removidos para reúso del agua.

Fuente: Tomado de Romero (Romero, 2010).

### **1.1.2.2. Potencial de oxidorreducción**

Es conocido por las siglas POR, mide la capacidad relativa de materiales oxidados y reducidos, o también puede decirse sobre la capacidad de ganar o perder electrones de los diferentes elementos existentes en el agua residual. Valores que van entre 50 y 300 mV evidencian que el medio se halla en condiciones aerobias, que tienen como aceptor de electrones el nitrógeno y el oxígeno. Mientras que valores por debajo de 100mV evidencian que el medio se halla en condiciones anaerobias (Romero, 2010).

### 1.1.2.3. Alcalinidad

Constituye en la capacidad de un agua para neutralizar los ácidos y es la suma de todas las bases evaluadas; pero el valor obtenido puede variar significativamente con el pH final utilizado; es en sí, una medida de la propiedad agregada del agua y se interpreta en términos de sustancias específicas sólo si es conocida la composición química de la muestra. Si bien su uso no es indispensable, en algunos casos de tratamientos de aguas residuales y naturales, suele ser importante. Y, considerando que la alcalinidad de numerosas aguas superficiales constituye una función del contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, tanto bicarbonatos como la concentración de hidróxidos, se toman como indicadores de estos componentes (APHA, 2017). Cuando se mide esta función, también pueden incluir aportes de boratos, fosfatos, silicatos y otras sustancias bases si están presentes. Las aguas residuales domésticas tienen generalmente alcalinidad inferior o ligeramente superior a la del suministro y los digestores anaeróbicos que operan adecuadamente suelen tener alcalinidad sobrenadante entre 2000 a 4000 mg/L de carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ). Así mismo, cabe indicar que la alcalinidad en aguas residuales se deben a la presencia de hidróxido, carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco, adquirida del agua de suministro, agua subterránea y de materias añadidas durante el uso doméstico (Metcalf & Eddy, 1995).

### 1.1.2.4. Salinidad

Es una propiedad importante de las aguas naturales, originalmente fue conocida como la medida de sales disueltas en una solución. Para determinar la salinidad, usualmente se emplean métodos indirectos que implican la medición de una propiedad física como la conductividad, la densidad, la velocidad del sonido o el índice de refracción. A partir de una relación empírica de la salinidad y la propiedad física determinada para una solución estándar es posible calcular la salinidad (APHA, 2017).

#### **1.1.2.5. Dureza**

La dureza total es la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, expresadas como carbonato de calcio (en mg/L), sus valores pueden variar desde cero hasta cientos de miligramos por litro, lo que dependerá de la fuente del recurso hídrico y del tratamiento al que se haya sometido el agua analizada (APHA, 2017).

#### **1.1.2.6. Turbidez**

Refiere la transparencia de un cuerpo de agua y revela su estado trófico y productividad. La turbidez es ocasionada por el material coloidal y en suspensión, tales como la arcilla, el limo, la materia orgánica e inorgánica finamente fragmentada, el plancton y muchos otros organismos microscópicos. Constituye una expresión óptica que permite verificar si la luz se dispersa y se absorba o caso contrario transmitirse sin que cambie la dirección a través de la muestra; así, si hay una mayor cantidad de partículas en la columna de agua, la turbidez también será mayor (APHA, 2017).

#### **1.1.2.7. Temperatura**

Este parámetro es muy importante debido a que interactúa con otros parámetros del agua como el pH, oxígeno con la solubilidad e ionización de las sustancias coagulantes (Fundación Nacional de Salud, 2013; Metcalf & Eddy, 1995). La temperatura influye en el desarrollo de la vida acuática, dado que modifica los niveles de oxígeno disuelto, las reacciones químicas y de la actividad bacteriana. La temperatura idónea para la actividad bacteriana es 25 -35°C, pero a valores extremos de temperatura ya sean bajos o elevados la actividad bacteriana se detiene (Romero, 2010).

#### **1.1.2.8. Conductividad eléctrica**

Este parámetro mide la capacidad del agua para transportar la corriente eléctrica, lo cual depende de la presencia de iones; de su concentración, movilidad y valencia, lo que también está determinado por la temperatura durante su medición; de este modo, la mayoría de compuestos inorgánicos son buenos

conductores y opuestamente moléculas de compuestos orgánicos, no conducen muy bien debido a que no se disocian en las soluciones acuosas (APHA, 2017). La conductividad eléctrica se puede expresar en  $\mu\text{mho/cm}$  o en decisiemens por metro ( $\text{dS/m}$ ) o  $\text{uS/cm}$  (Metcalf & Eddy, 1995).

#### 1.1.2.9. Sólidos

- **Sólidos fijos:** son los sólidos totales, suspendidos o disueltos que quedan en una muestra después de la combustión durante un tiempo a una temperatura determinados.
- **Sólidos sedimentables:** el material de una muestra que se sedimenta durante un periodo definido. En el cual se puede incluir material flotante, lo que estará en función de la técnica utilizada.
- **Sólidos disueltos totales (TDS):** la muestra de agua pasa a través de un filtro que tiene un poro de  $2.0 \mu\text{m}$  (o menor) y todos los sólidos que pasan por ese filtro son los sólidos disueltos totales.
- **Sólidos totales:** se refiere al material que queda en un recipiente de muestra después de la evaporación y secado en una estufa a una temperatura definida. Asimismo, los sólidos totales incluyen el total de sólidos suspendidos y el total de sólidos disueltos.
- **Sólidos suspendidos totales (SST):** es la cantidad de sólidos totales en una muestra acuosa retenida en el filtro. NOTA: Ciertas arcillas y coloides pasan a través del filtro de  $2 \mu\text{m}$ .
- **Sólidos volátiles:** referido a todos los sólidos totales, suspendidos o disueltos que se pierden de una muestra durante la ignición en un tiempo y una temperatura determinadas.
- **Oxígeno disuelto:** este parámetro es un gas de baja solubilidad en el agua, lo que limita la capacidad de auto purificación de los cuerpos de agua (Romero, 2010). Asimismo, este parámetro es afectado por la temperatura, la presión barométrica y la altitud (Mendoza et al., 2015; Romero, 2010). La atmosfera tiene un contenido de 21%, por lo que es una fuente



importante de oxígeno para las masas acuáticas (Romero, 2010). Este parámetro es esencial para mantener el desarrollo de la vida acuática (Sremački et al., 2020).

- **Caudal:** Es el volumen de agua que transita en un punto durante un tiempo determinado. Los caudales de las aguas residuales varían en función del tiempo y el lugar, lo que dificulta su medición. De forma general el caudal se expresa en unidades de  $m^3/s$  en los canales de ingreso a la planta, mientras que en el caso de los tanques de sedimentación se expresa en  $m^3/h$  (López et al., 2017).
- **Fósforo total:** se halla en forma de fosfatos, como:
  - Fosforo inorgánico: cuya fuente principal son los detergentes y otros productos químicos domésticos.
  - Fosforo orgánico: de origen fisiológico. Los ortofosfatos están disponibles para el metabolismo biológico sin necesidad de convertirse en formas más simples. Las formas de fosforo presentes en el agua, son los ortofosfatos, los que dependen del pH, y que incluyen  $PO_4^{3-}$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $H_3PO_4$ . En las aguas residuales domésticas típicas, la forma predominante es  $HPO_4^{2-}$ . (Von Sperling, 2007).
- **Nitrógeno total:** el nitrógeno en el medio acuático, puede encontrarse en diferentes formas, tales como nitrógeno molecular, nitrógeno orgánico, amoníaco libre, ion amonio, ion nitrito y ion nitrato. El nitrógeno es un componente de gran importancia en términos de generación y control de la contaminación del agua, principalmente por los siguientes aspectos:
  - **Contaminación del agua:** el nitrógeno es un nutriente esencial para las algas que, en condiciones específica, favorece el fenómeno de la eutrofización de los lagos y embalses. Asimismo, el nitrógeno puede incrementar el consumo de oxígeno disuelto en la masa de agua receptora debido a los procesos de conversión del amoníaco en nitrito y de éste en nitrato. El nitrógeno en forma de amoníaco libre es directamente tóxico

para los peces, además está relacionado a la presencia de enfermedades como la metahemoglobinemia (Von Sperling, 2007).

- **Tratamiento de aguas residuales:** un nutriente esencial para los microorganismos responsables del tratamiento de las aguas residuales es el nitrógeno. Asimismo, el nitrógeno provoca el consumo de oxígeno y alcalinidad, en los procesos de conversión de amoníaco en nitrito y de nitrito en nitrato (nitrificación), procesos que pueden ocurrir en una planta de tratamiento. Adicionalmente, el nitrógeno en la desnitrificación, conduce a la economía de oxígeno y alcalinidad (cuando se produce de forma controlada) o por el contrario generar el deterioro de la capacidad de sedimentación de los fangos (cuando no se controla) (Von Sperling, 2007).
- **DBO<sub>5</sub>:** es la medida de la materia orgánica, de forma general es lenta y compleja debido a la necesidad de realizar diluciones en serie (López et al., 2017).
- **DQO:** tradicionalmente, la materia orgánica ha sido medida como DQO, este análisis; la determinación de la DQO es “rápida y sucia” (debido al uso de mercurio). La determinación de la DBO<sub>5</sub> se realiza a través de la oxidación química, con bicromato, de la materia orgánica contenida en la muestra de agua (López et al., 2017).

Tabla 3

Clasificación de las aguas residuales en función a los parámetros físico - químicos en mg/l.

Parámetro	Fuerte	Media	Débil
Sólidos, en total	1200	700	350
Disueltos, en total	850	500	250
Suspendidos, en total	350	250	100
Demanda			
Bioquímica de	300	200	100
Oxígeno			
Nitrógeno	85	40	20
Amoniaco Libre	50	25	12
Fósforo	20	10	6
Alcalinidad	200	100	50
Grasa	150	100	50

Fuente: Tomado de (Ramalho, 1999)

### 1.1.3. Parámetros Microbiológicos

Desde un inicio, la gestión y el tratamiento de las aguas residuales tuvo como objetivo primordial, la eliminación de elementos que puedan ocasionar infecciones en los humanos y buscaban alejarlos de las poblaciones de las urbes, teniendo en cuenta que ya se sabía que muchos microorganismos causaban muchas de las enfermedades en los seres humanos y estos se encontraban principalmente en aguas residuales provenientes de los excrementos de las personas y también de la industria alimenticia (López et al., 2017). En la Tabla 4, se hace referencia de los rangos de concentraciones de diferentes microorganismos patógenos en las heces humanas.

Tabla 4

*Concentración de patógenos entéricos en heces.*

Organismo	Por gramo de heces
Parásitos protozoarios	$10^6-10^7$
Helmintos	
<i>Áscaris</i>	$10^4-10^5$
Virus Entéricos	
<i>Enterovirus</i>	$10^3-10^7$
<i>Rotavirus</i>	$10^{10}$
<i>Adenovirus</i>	$10^{11}$
Bacterias entéricas	
<i>Salmonella</i> sp.	$10^4-10^{10}$
<i>Shigella</i>	$10^5-10^9$
Bacterias indicadoras	
<i>Coliformes</i>	$10^7-10^9$
<i>Coliformes fecales</i>	$10^6-10^9$

Fuente: Información recuperada de López (López et al., 2017).

- **Bacterias:** La función de las bacterias en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, es sumamente importante en ambientes naturales, ambientes artificiales, así como en plantas de tratamiento de aguas residuales, por lo que es altamente relevante conocer sus características, funciones, metabolismos y proceso de síntesis, así como su identificación correcta (Metcalf & Eddy, 1995). Después de un periodo de adaptación, las bacterias son capaces de incrementar su biomasa, con una predominancia de bacterias aerobias dependientes de la oxigenación para sus procesos metabólicos. Las bacterias tienen abundante alimento en forma de materia orgánica contenido en las aguas residuales lo que influencia en su elevado crecimiento (Von Sperling, 2007).
- **Coliformes totales:** son un grupo de bacterias que pertenecen al grupo de bacilos Gram - negativos, pueden ser aerobios o anaerobios facultativos, no formadores de esporas, pero capaces de desarrollarse en presencia de sales biliares o agentes tensoactivos que fermentan la lactosa con producción de ácido, gas y aldehído a

$35.0 \pm 0.5^\circ \text{C}$  en 24-48 horas, en que pueden presentar actividad de la enzima  $\beta$  – galactosa. La mayoría de las bacterias del grupo coliforme pertenece a los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*, entre otros (Fundación Nacional de Salud, 2013).

- **Virus:** agentes microscópicos compuestos sólo de ácido nucleico (que contiene la información genética) rodeado por la cápside o una capa protectora, algunos pueden también poseer una capa lipídica que rodea la capa proteica y su ácido nucleico puede ser ácido ribonucleico (ARN) o bien ácido desoxirribonucleico (ADN). Los virus no pueden desarrollarse fuera del organismo huésped (entre los que incluyen bacterias, plantas o animales), pero no necesitan alimentos para sobrevivir, por lo que son capaces de sobrevivir por largos períodos de tiempo, especialmente ante situaciones de ambientes o climas extremos. Los virus que se desarrollan en el tracto intestinal de los humanos son conocidos como virus entéricos y tienen un huésped específico, por ello sólo infectan a seres humanos. Una ingesta de muy pocos virus (1-10) puede ocasionar una importante infección, comparado con los miles de bacterias entéricas que normalmente se ingieren para que ocurra ello (López et al., 2017).
- **Hongos:** estos organismos constituyen protistas eucariotas aeróbicos, no realizan fotosíntesis, son multicelulares y quimio heterótrofos. Muchos hongos son saprófitos y su alimentación se basa en materia orgánica muerta (plantas o animales). Conjuntamente con las bacterias, son los principales descomponedores del carbono en la biosfera y ecológicamente; los hongos presentan algunas ventajas frente a las bacterias, como por ejemplo crecen y desarrollan en zonas de baja humedad y ambientes con pH bajos y sin su participación en los procesos de descomposición, la materia orgánica se acumularía en inmensas cantidades en todos los tipos de ecosistemas (Metcalf & Eddy, 1995).
- **Protozoarios:** son microorganismos eucarióticos, unicelulares, sin paredes celulares, cuya fuente alimenticia son las bacterias y otros organismos, son principalmente de vida libre y pueden ser hallados en aguas superficiales; sin embargo, existen algunas especies que pueden ser parásitas de animales y del hombre, manifestándose algunos tipos de enfermedades. La respuesta más común

por la presencia de estos organismos son problemas gastrointestinales, de corta duración, aunque individuos sensibles, como niños, ancianos e inmuno comprometidos, suelen tener efectos más graves, crónicos e incluso fatales (Fundación Nacional de Salud, 2013).

- **Algas:** las algas son parte principal de los productores primarios, sin embargo, pueden representar algunos problemas en las aguas superficiales, ya que se reproducen muy rápido cuando las condiciones favorables para ellos, ocurriendo el fenómeno conocido con el nombre bloom algal o crecimiento explosivo, que puede conducir a que los ecosistemas acuáticos se cubran con grandes colonias flotantes. Estos crecimientos explosivos son propios de ecosistemas acuáticos eutróficos y considerando que el efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales es rico en nutrientes, provoca mayor enriquecimiento e incrementa la eutrofización, lo que tiene efectos similares también en los ríos (Metcalf & Eddy, 1995).

#### **1.1.4. Carga contaminante**

Denominado así al caudal y a las características de las aguas residuales que ingresan en una planta de tratamiento, Las cargas contaminantes de los diferentes constituyentes suelen expresarse en kilogramos por día (Metcalf & Eddy, 1995).

#### **1.1.5. El problema de las aguas residuales en Latinoamérica**

Según el Banco Mundial, a menos del 5% de las aguas residuales en las ciudades se brinda tratamiento. Con este tratamiento precario e inexistente en algunos casos, las aguas de forma general residuales son vertidas en los ecosistemas acuáticos, representando un gran riesgo para el ambiente y la salud humana (Reynolds, 2002).

Es ampliamente conocido que existen microorganismos patógenos contenidas en las aguas residuales, lo cual incluyen virus, protozoos y bacterias. Estos organismos provienen de individuos enfermos, y en muchos casos no siempre presentan síntoma alguno. La diarrea y la gastroenteritis se encuentran entre las tres principales causas de muerte en el mundo y en la región latinoamericana. El consumo de agua insalubre o contaminada con aguas residuales es responsable, en la gran mayoría de casos, de muertes en la población. Los más afectados son los niños dado que, de acuerdo a la

OMS en Brasil, 20 niños mueren cada día debido al manejo inadecuado de las aguas residuales. Este problema se da debido a que se relaciona directamente con enfermedades infecciosas como el cólera, hepatitis, disentería, gastroenteritis y muchas otras (Reynolds, 2002).

### **1.1.6. Eutrofización y contaminación**

Wetzel (1981), indica que la eutrofización es un efecto del impacto del hombre sobre los ecosistemas de agua dulce, la cual está asociada a un aumento de la productividad y simplificación estructural de los componentes biológicos y a una disminución de la capacidad del metabolismo de los organismos de adaptación a los cambios impuestos a la elevada cantidad de nutrientes como el fósforo y nitrógeno en el agua (López et al., 2017; Metcalf & Eddy, 1995).

En relación a esto Margalef (1983), lo denomina *eutrofización civilizada*, e indica que los factores más importantes son las aguas residuales, domésticas e industriales, las aguas sobrantes de riego en la agricultura que han sido enriquecidas con abonos, el agua de escorrentía después de talas, incendios o el uso de herbicidas, operaciones que movilizan una elevada proporción de los nutrientes contenidos en el suelo.

### **1.1.7. Características de la contaminación**

Según (Northcote, 1991) en zonas contaminadas las temperaturas son más altas, la transparencia más baja y la concentración de nutrientes (fósforo y nitrógeno) más altos, la sobresaturación de oxígeno disuelto en capas de aguas superficiales indica alta producción de fitoplancton. La demanda biológica de oxígeno es más elevada, ya que indica una gran entrada de materia orgánica. Los niveles de oxígeno son más bajos debido a las altas tasas de descomposición bacteriana, dado que el oxígeno es el principal aceptor de electrones en el proceso de degradación. Adicionalmente, las zonas costeras son propensas a la contaminación debido principalmente a la ubicación geográfica (González-Dávila et al., 2019), pues en sus orillas suelen asentarse centros poblados como en el caso de la orilla circunlacustre del lago Titicaca.

### **1.1.8. Contaminación del lago Titicaca**

Northcote (1991) manifiesta que la calidad del lago Titicaca es muy buena y la contaminación sólo se da en algunas zonas, siendo estas la orilla occidental a la ciudad de Puno y el muelle.

En estos lugares (Kistritz, 1988) el problema de la contaminación es causa de lo siguiente:

- Alta tasa de crecimiento de la población de Puno, aproximadamente esta doblará cada 12,5 años.
- Inmigrantes rurales compone una proporción significativa de los habitantes de Puno, ellos practican costumbres tradicionales de saneamiento rural.
- Sólo una población pequeña esta provista de facilidades de saneamiento adecuadas.
- La red de colección de aguas servidas es inadecuada y permanentemente deteriorada.
- La red de alcantarillado no es la adecuada, y sólo parte de ella llega a la laguna de estabilización, además que su eficiencia es dudosa.

### **1.2. Antecedentes**

En una investigación realizada en los sedimentos del lago Titicaca hallaron metales pesados como Cu, Fe, Ni, Co, Mn, Cd, Pb y Zn cuya fuente se atribuyó a fuentes naturales en el caso de Co, el Ni y el Cd; mientras que el Cu, Fe Pb, Zn y Mn proviene de actividades mineras. Estos datos evidenciaron que existe un riesgo de moderado a alto relacionado con la movilización y/o re-movilización de metales pesados desde el sedimento del fondo a la columna de agua. Además, los resultados sugieren que los efluentes de varios sitios de residuos mineros tradicionales en ambos países son la principal fuente de contaminación por metales pesados en los sedimentos del lago Titicaca (Cáceres et al., 2013).

En otro estudio se propuso evaluar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua del lago Tonga (noreste de Argelia). Para lo cual se tomaron muestras de agua



mensualmente, desde enero hasta junio. Los parámetros considerados fueron pH, conductividad eléctrica, turbidez, dureza, demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), materiales sólidos en suspensión, residuos secos, oxígeno disuelto, fosfato, nitritos, nitratos, amonio, calcio, magnesio, cloruro, potasio y dióxido de azufre) y la densidad de grupos bacterianos (bacterias heterótrofas totales, coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales). Los resultados evidenciaron que varios parámetros analizados sobrepasaron los límites establecidos por la OMS, evidenciando así que este lago está impactado por las actividades humanas, lo que a la vez genera eutrofización (Loucif et al., 2020).

El estudio “Evaluación de los parámetros físicoquímicos de la bahía interior de Puno”, corrobora el problema de contaminación en este ecosistema, reportando, que existe una gran diferencia entre zonas de muestreo o puntos, así como entre profundidades, en el parámetro de nitratos, obteniendo en la superficie del agua valores que promediaron 58.5 mg/L y para zonas más profundas de 70.01 mg/L; además, indica que respecto a los fosfatos, también se evidencia diferencias entre puntos de muestreo y profundidades en la bahía interior de Puno, llegando a valores promedio en la superficie de 1.01 mg/L y en profundidad promediaron valores de 1.47 mg/L (Angles, 2007).

En el trabajo “Contaminación en el lago Titicaca-Perú, capacitación, investigación y manejo” se reportan los primeros análisis referidos a nutrientes en la bahía interior de Puno; así, muestreos regulares con intervalos de unas dos semanas comenzaron en marzo de 1982 hasta el mes de setiembre, con un punto de muestreo principal ubicado al frente de la orilla occidental (400 m al sur del muelle) y a dos profundidades (2 m y 5 m). La segunda serie de muestreos regulares con el mismo intervalo de tiempo inició en octubre en 1982 hasta julio de 1983 y tomándose, además, una serie adicional de muestras en setiembre de 1983. En esta evaluación se reporta los primeros indicios de contaminación y un proceso acelerado de eutrofización cultural; sin embargo, en esas épocas las concentraciones superficiales y cercanas al fondo eran aún similares, al igual que todas las concentraciones tomadas en Ojerani (testigo, fuera de la bahía interior) en cualquier fecha, por lo que se concluyó que las actividades humanas si estaban afectando la calidad de agua (Northcote, 1991).

En otro estudio se evaluó los parámetros fisicoquímicos del agua, dentro de ellos se consideraron el pH, conductividad eléctrica, sólidos totales, temperatura, cloruros, dureza, alcalinidad, sulfatos, DQO y oxígeno disuelto en la laguna La vega Escondida (México). Los resultados mostraron que la calidad de agua para consumo humano cumple con los estándares requeridos, por lo que se indica que evidenció que el impacto de las actividades humanas sobre este ecosistema es leve (González-Dávila et al., 2019).

Pretus (1989) realizó un estudio en la laguna costera denominada Albufera de Menorca (España), durante los años 1983-84, en el cual analizó los parámetros físico-químicos y de plancton. En el que halló que la concentración de fosfato, los resultados del disco de Secchi y la clorofila mostraron un marcado periodo hipereutrófico. Se identificó algunos factores que influenciaron en este proceso, tales como la intervención humana y la descomposición repentina de *Chaetomorpha*, y una mínima renovación del agua. Adicionalmente se halló una especie de alga (*Nannochloris*) que se desarrolla en condiciones eutróficas, lo que corrobora el estado de este ecosistema.

En un estudio realizado en el lago Zobnatica - Serbia, y los humedales de Tompojevci - Croacia, en los que se tomaron muestras de aguas superficiales, subterráneas y de escorrentía agrícola. En ellos se analizaron los principales parámetros fisicoquímicos cuyos resultados evidenciaron elevados valores de nutrientes, principalmente en las aguas subterráneas y la escorrentía agrícola, un valor de pH superior a 8,5 y valores de oxígeno disuelto menores a 5 mg/L en la mayoría de las muestras de agua analizadas. Lo que indicaría que los humedales pertenecen a la clase V de calidad del agua, con un estado trófico alto y un mal estado ecológico según las leyes y reglamentos nacionales de Croacia y Serbia. Asimismo, los valores elevados de pH (>8.5) en las aguas subterráneas de los humedales de Tompojevci evidencia que se trata de aguas subterráneas alcalinas. Las elevadas concentraciones de ortofosfatos en las muestras de aguas subterráneas y en la escorrentía agrícola (10.875 y 10.886 mg/L, respectivamente) muestran un alto nivel de contaminación a partir de fuentes agrícolas (Sremački et al., 2020).

En otro estudio en el que se propuso evaluar la influencia antrópica sobre la calidad del agua del lago. Para ello se aplicó un método mejorado del índice de calidad del agua (ICA) y técnicas estadísticas multivariadas para evaluar las variaciones temporales y espaciales de la calidad del agua del lago y explorar los parámetros dominantes de estas

variaciones. A fin de lograr ese objetivo se emplearon conjuntos de datos de 11 parámetros relacionadas a la calidad del agua provenientes de seis estaciones de monitorización para evaluar el período entre 2006 y 2016. La evaluación del ICA anual evidenció que mejoró la calidad del agua del lago en estudio durante la última década. El análisis de conglomerados dividió los 12 meses en períodos secos y húmedos y las seis estaciones de monitoreo en las ubicadas en las partes occidental y oriental del lago. Los resultados evidenciaron que el análisis de correlación entre el nivel de agua del lago y la calidad del agua indicó que la asignación de agua ambiental al lago suele mejorar la calidad del agua. Adicionalmente, estos resultados pueden ser de gran ayuda a los gestores de los recursos hídricos (Han et al., 2020).

Se llevó a cabo otro estudio en el lago Tana (Etiopía), con el objetivo de evaluar el impacto de actividades antrópicas como el uso de agrotóxicos en la cuenca cercana, así como efluentes industriales. Para ello se investigó las variaciones espacio-temporales de los parámetros de calidad del agua considerados y el estado trófico del lago Tana para tener alternativas de solución que permitan mejorar la gestión sostenible de los recursos hídricos. Se recogieron diferentes muestras ambientales, de agua y sedimentos, distribuidos en catorce puntos de muestreo representativos del lago, a fin medir los parámetros fisicoquímicos y los nutrientes en los periodos de estiaje y húmedos. Con este propósito se usó un multímetro portátil para medir los parámetros fisicoquímicos, en relación a los nutrientes y la clorofila a se midieron siguiendo los procedimientos estándar indicados por la Asociación Americana de Salud Pública (APHA) usando un espectrofotómetro UV/Visible. También se evaluó el nivel de calidad del agua del lago mediante el modelo de índice de evaluación global. Se tuvo variaciones espacio-temporales en los parámetros físico-químicos y los nutrientes en el ecosistema del lago durante el período de estudio. Se registraron elevadas concentraciones de nutrientes, conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos totales (TDS) en los lugares de muestreo de los efluentes de algunos centros turísticos y de los principales ríos de alimentación en todas las estaciones. Los valores del índice global de contaminación oscilaron entre 0,68 y 1,01 y entre 0,91 y 1,69 durante las estaciones secas y húmedas, respectivamente. Según los valores del índice global de contaminación, el lago está moderada y ligeramente contaminado en las estaciones seca y húmeda, respectivamente. El modelo de estado trófico de Carlson evidenció que los valores medios del Índice de Estado Trófico de

Carlson del lago Tana fueron de 69,77 e indicaron claramente que este valor del lago Tana se encuentra muy por arriba del valor mínimo para la condición eutrófica. (Tibebe et al., 2019).

En el lago Beira (Sri Lanka), que es un lago urbano se realizó un estudio en el que se evaluó la variabilidad espacial y temporal de los parámetros de calidad del agua del lago. Con este propósito se midieron algunos parámetros de calidad del agua, como la temperatura, el pH, el total de sólidos disueltos, la conductividad, la salinidad, la visibilidad del disco de Secchi, la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, el oxígeno disuelto, el nitrato-nitrógeno y el fósforo total, en ocho puntos de muestreo considerando el criterio del investigador. El periodo de estudio fue de seis meses, con una frecuencia de muestreo de 06 semanas. Los resultados evidenciaron que el régimen de lluvias influye en parámetros como la variación de la temperatura del agua superficial, el pH, sólidos disueltos totales, conductividad, salinidad, visibilidad, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y el fosfato total. Para lo cual, se proponen estrategias de gestión a fin de reducir la contaminación principalmente en las fuentes puntuales que crean un patrón de agrupación de la contaminación, con la finalidad de mejorar el ecosistema del lago Beira Este (Weerasinghe & Handapangoda, 2019).

Con el objetivo de identificar las relaciones del  $DBO_5$ , el DQO con el COT, se realizaron diversos análisis de los datos nacionales de control de la calidad del agua de ríos y lagos durante 5 años. Se obtuvieron altos coeficientes de correlación ( $r$ ) de 0.87 y 0.66 entre la  $DBO_5$  y el COT ( $p < 0.05$ ) para ríos y lagos, respectivamente, y se observaron fuertes coeficientes de correlación ( $r$ ) de 0.93 y 0.75 entre la DQO y el COT ( $p < 0.05$ ) para ríos y lagos, respectivamente. El coeficiente de correlación ( $r$ ) entre los NBOP y el COT fue de 0.93 para los ríos y de 0.72 para los lagos. Los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) fueron de 0.75 y 0.44 entre la  $DBO_5$  y el COT para ríos y lagos, así como de 0.87 y 0.57 entre la DQO y el COT para ríos y lagos, respectivamente. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) entre los NBOP y el COT fue de 0,73 para los ríos y de 0,52 para los lagos. Estos resultados evidencian que el uso del COT para análisis de la materia orgánica presente en las aguas residuales es confiable, al igual que la DQO y la  $DBO_5$  (Lee et al., 2016).

En el lago Zirahuén (México), se realizó un estudio de calidad de aguas debido a las presiones antrópicas que sufre. Este estudio consideró 32 muestras de agua provenientes de 8 sitios definidos del lago en diferentes meses del año, siguiendo el protocolo establecido por las normas mexicanas. Los resultados evidenciaron que el agua del lago tiene cualidades fisicoquímicas y microbiológicas aceptables para la protección de la vida acuática. Asimismo, se observa que la distribución de las variables es diferente en la época lluviosa y en la época de estiaje. Similarmente, se halló que el patrón de clústeres refleja la dirección dominante de las corrientes del lago, lo que permite identificar fácilmente las zonas en las que los cambios en la calidad del agua son mayores. Asimismo, se lograron identificar las presiones a las que se enfrenta el lago aplicando un marco de presión-estado-respuesta. Los resultados evidenciaron que las presiones sobre el lago son causadas por las actividades antropogénicas y que si bien la calidad del agua está dentro del rango "bueno a excelente", es importante establecer criterios más estrictos, que sean más cercanos a los estándares internacionales, a fin de mantener la calidad hallada (Mendoza et al., 2015).

Se realizó un estudio en el que se diseñó un sistema de tratamiento natural de aguas residuales para reducir la contaminación del arroyo Kızılca (Nigde, Turquía). El sistema combinado consistió en una cuenca de asentamiento, un humedal construido con superficie de agua libre plantado con *Phragmites communis*, y un sistema de flujo superficial plantado con ryegrass italiano, respectivamente. El sistema se instaló en el borde del arroyo en 2014. El agua contaminada del arroyo se trató pasando por el sistema, y el agua tratada se descargó en el arroyo. A fin de evaluar la calidad del agua, se analizaron los parámetros de sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y fósforo total en muestras tomadas de las entradas y salidas de todas las etapas del sistema. Durante un periodo de funcionamiento (18 meses), se halló que los contaminantes se redujeron en gran cantidad. A pesar de la elevada carga orgánica, se comprobó que el sistema de tratamiento era capaz de eliminar los sólidos suspendidos totales y la reducir la demanda biológica de oxígeno hasta un 85%, y el fosforo total hasta un 49%. Estos porcentajes fueron mejores a mayores valores de temperatura, en el que el humedal funcionaba mejor (Tunçsiper, 2019).

Se evaluó la calidad del lago Nasser (Egipto), que es uno de los lagos artificiales más grandes del mundo. Tiene una gran importancia para Egipto debido al suministro de agua

segura del país. Con este objetivo se describió el estado actual de los parámetros fisicoquímicos (nitrato-nitrógeno, nitrito-nitrógeno, ortofosfato, contenido total de fosfato, contenido de oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno) del agua del lago Nasser en Egipto en nueve puntos de muestreo. Los resultados de los índices ambientales acuáticos referidos al lago Nasser indican que tiene una categoría de calidad de agua "buena" en siete sitios de muestreo y exhibieron una calidad de agua "excelente" en dos sitios de muestreo de acuerdo con el Decreto Gubernamental de Egipto. En este sentido, el protocolo para la evaluación de la calidad del agua podría contribuir en gran manera al suministro de agua de alta calidad en Egipto. En definitiva, se puede afirmar que los parámetros considerados en la investigación, se encuentran dentro de los rangos permisibles y el agua del lago Nasser tiene buena calidad para consumo humano, riego, y piscicultura según las normas egipcias (Rizk et al., 2020).

En un estudio realizado por Jameel et al. (Jameel et al., 2018) examinaron las características físicas y químicas de la columna de ingreso del río St. Joseph en el sur del lago Michigan (Canadá), entre mayo y octubre de 2011, octubre de 2012, junio de 2013 y abril de 2014. Con este propósito, se consideraron parámetros como la conductividad eléctrica específica y los isótopos estables del agua para cuantificar la fracción de agua fluvial (FAF) en los sitios de muestreo del lago Michigan. Ambos trazadores predijeron patrones similares de FAF entre los sitios; sin embargo, hubo una compensación sistemática entre los dos métodos, y el método de conductividad eléctrica específica de la FAF en ~5%. Se observa que la columna fluvial varía estacionalmente, con un tamaño de la columna correlacionado con el caudal del río St. Joseph. Las características y la heterogeneidad espacio-temporal de la columna del río documentadas en el estudio pueden tener importantes implicaciones para la biogeoquímica de la costa de los Grandes Lagos y para entender el papel de estas características en los procesos ecológicos en las zonas cercanas a la confluencia.

Regina, (2012) evaluó la calidad ecológica del río Mukuvisi (África), en el que se evaluó el funcionamiento del sistema fluvial natural, utilizando el monitoreo biológico. El estudio abarcó un periodo de cinco semanas, del 15 de septiembre al 12 de octubre de 2005, periodo en el cual se realizó una rutina de muestreo semanal y se investigaron los efectos de la contaminación en el río. Para ello se midieron el pH, concentración de

oxígeno disuelto, temperatura y conductividad eléctrica, así como los dos principales nutrientes del agua (fósforo y nitrógeno) en cuatro puntos del río Mukuvisi. También se identificaron y cuantificaron las especies de macroinvertebrados en cada lugar, utilizando el Sistema de Puntuación Sudafricano versión 4 (SASS4) para evaluar la diversidad biológica y los niveles de contaminación en cada lugar. El punto dos de nuestro fue el más contaminado, mientras que el punto cuatro fue el más limpio. Se concluyó que a pesar de que el río recibe contaminantes a lo largo de su recorrido, también tiene una capacidad de autodepuración el cual puede mejorar si se toman medidas correctoras en relación a la contaminación de este ecosistema.

En un estudio se determinó el impacto de hábitat hiporreico y el hiporreico, analizamos ocho arroyos mediterráneos tanto aguas arriba como aguas abajo de un efluente de aguas residuales. Los resultados evidenciaron que los factores ambientales asociados al continuo vertimiento de aguas residuales, como la cantidad de partículas finas y de materia orgánica en los sedimentos, se magnificaron aguas abajo de las entradas de aguas residuales. De manera similar, los nutrientes disueltos también se incrementaron, pero dependían en mayor medida de la presencia de una planta de tratamiento de aguas residuales y de los tratamientos de eliminación de nitrógeno y fósforo. Los invertebrados hiporreicos se vieron más afectados por la colmatación que por la eutrofización. Tanto los parámetros de riqueza como de diversidad se correlacionaron negativamente con las características de la colmatación, pero no con la eutrofización. Las taxas más afectadas fueron los macrocrustáceos, los hidracnidios y varias especies de insectos, que disminuyeron o no se detectaron aguas abajo de los efluentes. Sin embargo, otros taxones como Naididae (Oligochaeta), Orthocladinae (Chironomidae) y *Potamopyrgus antipodarum* (Gastropoda) se vieron favorecidas por los aportes de aguas residuales (Sánchez-Morales et al., 2018).

Adicionalmente en otro estudio se examinaron las concentraciones de metales pesados en las aguas superficiales, aguas residuales y los sedimentos recogidos en el lago Mighan, en la provincia de Markazi (Irán), y se evaluó el impacto de la contaminación de acuerdo con las directrices de calidad del agua y los sedimentos. Los resultados evidenciaron que las concentraciones medias de metales en las muestras de agua se clasificaron como: Ni > Cr > Pb > Fe > Cu > Zn. En comparación con los resultados de los valores de fondo, el lago Mighan estaba contaminado por Ni, Cr, Pb, Fe. Se asoció a la presencia de los metales



pesados al ingreso de efluentes industriales, aguas residuales alrededor del lago. En los sedimentos del lago Mighan, el Fe, el Ni, el Pb y el Cr mostraron una tendencia descendiente, mientras que el Cu y el Zn presentan una tendencia creciente. El aumento de Cu y Zn podría deberse a la actividad industrial en los alrededores del lago Mighan. El análisis de la evaluación de la contaminación basado en las directrices de calidad indicó que los metales pesados en la mayoría de las aguas y sedimentos del lago Mighan tenían una elevada toxicidad, con Ni, Cr, Pb en el agua, una toxicidad moderada, siendo el Zn, Cu en los sedimentos el principal contaminante (Ghadimi & Ghomi, 2013).

En otro estudio se investigó el impacto del cambio estacional en la calidad del agua del río y los metales disueltos en áreas agrícolas montañosas y el riesgo para la salud y el bienestar humanos. Se recolectaron muestras de agua en 28 estaciones de muestreo a lo largo del río Bertam, Cameron Highlands (Malasia), durante la estación húmeda (septiembre de 2017) y la estación seca (marzo de 2018) en las que se midieron los parámetros fisicoquímicos (temperatura, conductividad, pH, turbidez, OD, salinidad, TDS y TSS). Las concentraciones de Al, Cd, Cu, Fe, Pb, y Zn se analizaron mediante espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Los resultados mostraron que la concentración media general de todos los metales estudiados fue significativamente mayor durante la estación húmeda en contraste con la estación seca y las concentraciones medias de metales disueltos fueron más altas en el área aguas abajo en comparación con el área aguas arriba. Por lo tanto, en este estudio se confirmó que las fuentes potenciales de contaminación en el agua de los ríos se originan en actividades agrícolas relacionadas con deslizamientos de tierra, desmonte y erosión del suelo. Se encontró que el riesgo para la salud de los metales no cancerígenos en adultos y niños estaba dentro de un nivel aceptable. Aunque, el riesgo carcinogénico fue significativo para Cd. (Razali et al., 2020a).

En otro trabajo de investigación se evaluó la relación de parámetros como la turbidez con la temperatura, el tiempo, la concentración de sólidos en suspensión, el pH, el color y la velocidad. En la primera fase, se usó agua sintética para estudiar la relación de la turbidez con los sólidos en suspensión, la velocidad, la temperatura y el tiempo. Los resultados mostraron que la turbidez aumenta con el incremento de la temperatura, la concentración de sólidos en suspensión y la velocidad, pero se reduce con el tiempo. En la segunda fase, había cuatro conjuntos de muestras de agua modificadas por los parámetros y cuatro





conjuntos de muestras de agua de control respectivas. Los resultados mostraron que la relación de estos parámetros era entre probablemente positiva y negativa. Además, el modelo actual propuesto ofrece un elevado  $R^2$  ( $> 0,969$ ), un bajo error cuadrático medio y un valor p inferior a 0.05 (Tan et al., 2017).

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1. Identificación del problema

La deficiente gestión del ambiente, de forma general, constituye una de las principales problemáticas que vienen afectando la calidad de vida de poblaciones humanas de muchas ciudades. Cuando los productos de desecho de las diferentes actividades humanas no son adecuadamente tratados, traen como consecuencia alteraciones en la salud pública, disminuyen la calidad del paisaje y también afectan la vida silvestre y los recursos naturales; principalmente los ecosistemas acuáticos, los que son receptores de diverso tipos de contaminación (Von Sperling, 2007).

En la ciudad de Puno, el mayor problema lo constituye la evacuación de sus aguas residuales, inadecuadamente tratadas, las que son vertidas directamente hacia el lago Titicaca, siendo este el principal receptor de todas las emanaciones contaminantes que se generan no sólo en la ciudad de Puno, sino también de diferentes localidades circunlacustres (Dejoux & Iltis, 1987).

Esta misma situación se da también en el centro poblado de Salcedo, considerado inicialmente como zona industrial de Puno, en la actualidad por el aumento poblacional, se ha convertido en un distrito industrial, comercial, urbano y recreacional, que continúa en un progresivo incremento de población humana y de instalaciones domiciliarias, inclusive en dicho lugar se encuentra un centro hospitalario perteneciente a EsSALUD (seguro social), instituciones educativas, sedes industriales y diversas empresas comerciales. Es fácil de constatar que las aguas residuales de numerosas viviendas aledañas, de manera clandestina, se evacuan directamente al Arroyo de la quebrada

Ranchopunko. Estas finalmente desembocan en la Bahía Interior de Puno sin ningún tratamiento previo, lo cual constituye un riesgo para la salud pública pudiendo transmitir diversas enfermedades infecciosas, además de atentar contra la calidad de vida y contra un ecosistema vitalmente importante desde todo punto de vista, que es el lago Titicaca.

Estos niveles de contaminación o la problemática que ocasionan estas aguas residuales de esta quebrada aún no se conocen con certidumbre técnica y científica; por lo que es necesario iniciar evaluaciones que impliquen la descripción de los diferentes factores físicos, químicos y biológicos. Esta información permitirá identificar la calidad de aguas que se viene produciendo en el Centro Poblado de Salcedo. Simultáneamente, plantear algunas alternativas de solución, así como poner en conocimiento de las autoridades pertinentes para que puedan tomar las medidas pertinentes a fin de salvaguardar la salud del ambiente y la salud humana.

## **2.2. Enunciados del problema**

- ¿Cuáles son las características de los parámetros fisicoquímicos (fósforo total, nitrógeno total, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH, temperatura, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, DBO<sub>5</sub>, DQO) de las aguas provenientes de la quebrada Ranchopunko, a su paso por el Centro Poblado de Salcedo, según diferentes puntos de muestreo?
- ¿Cuáles son las características de los niveles de coliformes fecales y totales de las aguas provenientes de la quebrada Ranchopunko a su paso por el Centro Poblado de Salcedo?
- ¿Cuánta carga contaminante ingresa a la Bahía Interior de Puno a través del Arroyo Ranchopunko?

## **2.3. Justificación**

El estudio planteado permite conocer la situación ambiental actual de las aguas del Arroyo Ranchopunko en el Centro Poblado de Salcedo ya que, de manera clandestina, aguas residuales son vertidas en el trayecto del Arroyo y se desconoce cuáles son las condiciones de dichas aguas y cuál es el impacto que ocasiona a las zonas aledañas y al lago Titicaca. Además, el trabajo se constituirá en un documento que permitirá poner en

conocimiento de las autoridades municipales, de salud y ambiental, sobre la calidad de las aguas y el potencial efecto sobre la salud humana y los ecosistemas circundantes. Finalmente, este estudio ampliará el mejor conocimiento del panorama ambiental de la ciudad de Puno en general.

Bajo estos lineamientos es que se plantea la realización del estudio de las aguas provenientes de la quebrada Ranchopunko, que en su recorrido por el centro Poblado Salcedo son contaminados con diferentes factores fisicoquímicos, bacteriológicos y en cantidades no cuantificadas, así mismo con la visión de plantear alternativas de solución a esta problemática que se suma ahora como una potencial amenaza para perjuicio de la Bahía Interior de Puno y sus colaterales efectos en la salud, el medio ambiente y los aspectos socioeconómicos de la población que frecuenta el lago dentro de sus actividades cotidianas

## **2.4. Objetivos**

### **2.4.1. Objetivo general**

- Evaluar las características fisicoquímicas y bacteriológicas de las aguas provenientes de la quebrada Ranchopunko influenciada por el ingreso de carga contaminante a su paso por el Centro Poblado de Salcedo.

### **2.4.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos (fósforo total, nitrógeno total, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH, temperatura, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, DBO5, DQO) de las aguas provenientes de la quebrada Ranchopunko, a su paso por el Centro Poblado de Salcedo, según diferentes puntos de muestreo.
- Caracterizar los niveles de coliformes fecales y totales de las aguas provenientes de la quebrada Ranchopunko a su paso por el Centro Poblado de Salcedo.
- Cuantificar la carga contaminante que ingresa a la Bahía Interior de Puno a través del Arroyo Ranchopunko.

## 2.5. Hipótesis

### 2.5.1. Hipótesis general

- Las características fisicoquímicas y bacteriológicas de las aguas provenientes de la quebrada Ranchopunko se verá afectada a su paso por el Centro Poblado de Salcedo por el ingreso de carga contaminante.

### 2.5.2. Hipótesis específicas

- Las características de los parámetros fisicoquímicos (fósforo total, nitrógeno total, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH, temperatura, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, DBO5, DQO) de las aguas provenientes de la quebrada Ranchopunko, se verán alteradas a su paso por el Centro Poblado de Salcedo, según diferentes puntos de muestreo.
- La carga bacteriológica referido a los coliformes fecales y totales de las aguas provenientes de la quebrada Ranchopunko se incrementará a su paso por el Centro Poblado de Salcedo.
- La carga contaminante que ingresa a la Bahía Interior de Puno a través del Arroyo Ranchopunko se incrementará a su paso por el Centro Poblado de Salcedo.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de estudio

El estudio se realizó en la quebrada Ranchopunko, donde se halla asentado el Centro Poblado Salcedo, ubicado a 7 km de la ciudad de Puno, en dirección sur, perteneciente al distrito de Puno, provincia de Puno y región Puno, está ubicado entre los 3,812 y 3900 m.s.n.m. (Tabla 5). Sus coordenadas geográficas son:

Tabla 5

*Ubicación: (Referencia: Municipalidad C.P. Salcedo) y Puntos de Muestreo*

Centro Poblado	Coordenadas UTM 19 L		
	Este	Norte	Altitud m.s.n.m.
Salcedo	393249	8245376	3827
Punto de Muestreo 1	393339	8242297	3940
Punto de Muestreo 2	393018	8245331	3823
Punto de Muestreo 3	393148	8245852	3812

Gran parte de la población de Salcedo cuenta con servicios básicos como luz, agua y desagüe, aunque en esta última, gran parte de su evacuación no dispone de tratamiento adecuado. El centro poblado cuenta con servicios de mercado los días de feria (domingos), escuelas, colegios, Comisaría, Instituciones educativas superiores como el

Pedagógico y Tecnológico Público, SENATI, empresas industriales como talleres mecánicos, soldaduras, aserraderos, entre otros. También se encuentran instituciones importantes como el INIA y Hospital ESSALUD.

Según la Municipalidad de Salcedo, la zona de estudio está constituida por aproximadamente 7216 predios urbanos, de las cuales, el 50% se encuentra construido o en proceso de construcción; ello incluye una población aproximada de entre 23 a 25 mil habitantes. De esta población más del 60% cuenta con servicios de agua y desagüe.

El centro poblado Salcedo está dividido en dos sectores: uno denominado zona Urbana constituido todo el margen izquierdo al ingresar a esta localidad por su principal avenida de acceso (Aziruni); en esta zona se encuentra la sede del Municipio, Planta de Tratamiento de agua potable de EMSA Puno, la comisaría, el Pedagógico y el Tecnológico Público José Antonio Encinas. El otro sector es denominado como Parque Industrial, que abarca todo el margen derecho al ingresar al centro poblado, incluye el Hospital del Seguro ESSALUD, la Posta Médica del Ministerio de Salud, la sede del IPEN, colegio del Hogar de Menores y Rinconada. (Ver Anexo Imagen Satelital C:P: Salcedo).

### **3.2. Población**

La población estudiada es el agua total que ingresa por la quebrada Ranchopunko y el aporte de los habitantes del C. P. Salcedo que se sospecha se hallan inmiscuidos en la descarga de manera clandestina de aguas residuales o con contenidos contaminantes a las aguas del Arroyo Ranchopunko.

### **3.3. Muestra**

Son las aguas muestreadas provenientes de la quebrada Ranchopunko que pasan por el Centro Poblado Salcedo y que llegan a desembocar en la Bahía Interior de Puno para caracterizar sus condiciones físico químicas, bacteriológicas y carga contaminante.

### **3.4. Método de investigación**

En esta investigación se aplicó el método descriptivo y explicativo. Debido a que se caracterizaron los parámetros fisicoquímicos, luego se explicaron su relación con el incremento de la carga contaminante de diferente naturaleza, en los tres puntos de

muestreo determinados a lo largo de su recorrido, aguas arriba, altura del Centro Poblado de Salcedo y al ingreso a la Bahía Interior del Lago Titicaca.

### **3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos**

#### **3.5.1. Caracterizar los parámetros fisicoquímicos de las aguas provenientes de la quebrada Ranchopunko, a su paso por el Centro Poblado de Salcedo, según diferentes puntos de muestreo.**

##### **3.5.1.1. Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos.**

Las variables dependientes consideradas fueron: fósforo total, nitrógeno total, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH, temperatura, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, DBO<sub>5</sub>, DQO, caudal, coliformes totales, coliformes termotolerantes y como variable independiente los puntos de muestreo.

##### **a) Diseño de muestreo**

Para la colecta de muestras se identificaron los puntos de muestreo (Tabla 5), estos fueron, como primer punto de muestreo aguas arriba en la quebrada Ranchopunko, el segundo punto de monitoreo fue aguas abajo, a la altura del C.P. Salcedo y el tercer punto de muestreo fue en la desembocadura a la bahía interior de Puno (Anexos 4, 5 y 6).



Tabla 6

*Descripción de las variables consideradas en el estudio*

Variables	Dimensión	Indicadores	Índices	Instrumentos
Puntos de muestreo	Cauce del río	Punto geográfico de muestreo.		Fichas de campo
<b>Dependiente</b>				
Características de las aguas del Arroyo Ranchopunko	-Parámetros fisicoquímicos	-pH	Hydrogeniones	- Potenciómetro
		Temperatura	- °C	- Termómetro
		Conductividad	- uS/cm	- Conductímetro
		-Sólidos disueltos	- mg/L	-Multiparámetro
		-Fósforo	- m/L	Espectrofotómetro
		-Nitrógeno	- m/L	Espectrofotómetro
	-Parámetros microbiológicos	-Oxígeno disuelto	- mg/L	- Electrométrico
		-DBO <sub>5</sub>	- mg/L	- Winkler
		-DQO	- mg/L	- Colorímetro
		-Caudal	- m/seg	- Flotador
		- Coliformes totales	- UFC	-NMP
		- Coliformes fecales	- UFC	-NMP

En los puntos de muestreo se tomaron 2 muestras (uno para análisis fisicoquímico y otro para análisis microbiológicos), en botellas de vidrio de 1 litro de capacidad, por la mañana y por la tarde en horas denominadas punta o de mayor actividad (total 6 muestras por día) y cada 15 días durante 3 meses.

Estas muestras fueron llevadas al Laboratorio Especializado del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) para los análisis Fisicoquímicos y otra parte al Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNA Puno para los análisis microbiológicos.

### 3.5.1.2. Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros.

Muestreo: En cada punto de muestreo se tomaron los datos in situ o de campo (Temperatura, pH, Conductividad, Sólidos disueltos, Oxígeno y caudal) y se

tomaron muestras para el análisis en el laboratorio de los otros parámetros, (Sólidos suspendidos totales, Fósforo total, Nitrógeno total, DBO<sub>5</sub>, DQO, Coliformes totales y Coliformes fecales).

### 3.5.1.3. Caracterización de Parámetros Fisicoquímicos

Una vez tomadas las muestras de aguas correspondientes en los tres puntos de monitoreo, los análisis a realizar fueron:

#### a) In situ:

- **pH:** mediante el uso de un pH metro o potenciómetro digital.
- **Temperatura:** mediante un termómetro digital, en grados Celsius (°C).
- **Conductividad:** mediante el uso de un conductímetro digital (uS/cm).
- **Sólidos totales disueltos:** mediante el uso de un multiparámetro (mg/l).
- **Oxígeno disuelto:** mediante el uso de un oxímetro digital, (mg/l).
- **Caudal:** mediante el método del flotador. Para esto se anota el tiempo que tarda el flotador en ir de un punto a otro, la fórmula aplicada es:

$$Q = \frac{APL(0,9)}{T}$$

Donde:

Q = Caudal en litros por segundo (l/seg).

A = Anchura media del canal

P = Profundidad media del canal

L = longitud de la sección del canal.

T = tiempo en segundos que tarda el corcho en recorrer la distancia escogida.

**b) En laboratorio:**

- **Sólidos suspendidos totales:** mediante el método gravimétrico, evaporación de un volumen conocido de muestra a 180°, se calcula en miligramos por litro (mg/l).
- **Fósforo total:** mediante el método de calibración en espectrofotómetro, en miligramos por litro (mg/l).
- **Nitrógeno total:** mediante el método de calibración en espectrofotómetro, en miligramos por litro (mg/l).
- **DBO5:** medido mediante el método de incubación en estufa de la muestra de agua, durante 5 días a 20°C.
- **DQO:** mediante la demanda química de oxígeno por reflujo cerrado y volumetría

**3.5.1.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para la obtención de valores de parámetros de campo (pH, O<sub>2</sub>, T °C y conductividad), se utilizó un multiparámetro (Anexo 2), mientras que, para los demás parámetros fisicoquímicos, las muestras se tomaron en frascos de 500 ml. estériles y de boca ancha. Para la toma de muestra del agua en los puntos de monitoreo, se quitaron las envolturas de papel kraft, y la tapa de frasco estéril, luego se sumergió y se procedió a realizar arrastre en contra de la corriente, se recogió el frasco con el líquido en su interior para ser cerrado y etiquetado.

Cada una de las muestras fue rotulada incluyendo la información siguiente: número de muestra, fecha y hora de muestreo, nombre de la provincia y distrito, nombre y referencia del lugar de donde se tomó la muestra; además el nombre del recolector. Las muestras se colocaron en una caja de Tecnopor con refrigerante y se trasladó a los Laboratorios de IMARPE y de la UNA Puno para su respectivo análisis.

### 3.5.1.5. Técnicas de análisis

Las técnicas de análisis físico-químicos, se realizaron de acuerdo a los protocolos del laboratorio de IMARPE, los mismos que se detallan en la Tabla 7:

Tabla 7

*Descripción de las técnicas de análisis físico-químicos.*

Parámetro	Método	Referencia
Fósforo Total (PT)	Digestión con resultado de sodio	Standard Methods, 2017. Parte 4500-P J, Pag 4-170. Persulfate Method for Simultaneous Determination of Total Nitrogen and Total Phosphorus
Nitrógeno Total (NT)	Digestión con resultado de sodio	Standard Methods, 2017. Parte 4500-P J, Pag 4-170. Persulfate Method for Simultaneous Determination of Total Nitrogen and Total Phosphorus
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Gravimetría	Standard Methods, 2017. Parte 2540-D, Pag 2-71
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Dilución simple	Standard Methods, 2017. Parte 5210-B, Pag 5-6. Indecopi (2015)
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Por reflujo cerrado-método colorímetro	Standard Methods, 2017. Parte 5220-B, Pag 5-21.

### 3.5.1.6. Aplicación de prueba estadística inferencial.

Con el propósito de comparar los valores de las diferentes variables (parámetros físico-químicos del agua y cargas bacterianas) entre los lugares de estudio, se calcularon las medias  $\pm$  desviaciones estándar a partir de los datos brutos obtenidos, los cuales se colectaron con repeticiones por cada punto de muestreo.

Los parámetros físico-químicos (pH, oxígeno y fósforo total) entre los sitios se analizaron a través de un ANOVA con un nivel de significación  $p < 0.05$ .

Cuando la prueba ANOVA resultó ser significativa ( $p \leq 0.05$ ), se aplicó la prueba de contraste de TukeyHSD para distinguir los grupos de sitios heterogéneos. Para los parámetros que cuyos valores no cumplieron con los supuestos de los análisis paramétricos se aplicó la prueba de Kruskal Wallis junto a las pruebas de contraste de DunnTest para los que resultaron significativos, en el software libre R Studio versión 4.0.0.

### **3.5.2. Caracterizar los niveles de coliformes totales y termo tolerantes de las aguas provenientes de la quebrada Ranchopunko a su paso por el Centro Poblado de Salcedo.**

#### **3.5.2.1. Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos.**

Las variables dependientes consideradas fueron: los coliformes totales y termo tolerantes. Y como variable independiente los puntos de muestreo.

#### **3.5.2.2. Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros.**

##### **3.5.2.2.1. Técnicas de análisis**

Con otra parte de las muestras de aguas se realizaron análisis bacteriológicos, que incluyeron básicamente el recuento de coliformes, como indicadores de calidad de las aguas. El análisis incluyó lo siguiente:

Para la determinación de los niveles de coliformes totales y fecales se aplicó el método del Número más Probable (NMP) o tubos múltiples de fermentación, con una serie de 5 tubos, de acuerdo a las instrucciones de APHA-AWWA (1998) y FUNASA (2013) considerando diluciones de  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ , y  $10^{-5}$ . Para esto se consideraron dos fases: presuntiva y confirmativa.

##### **3.5.2.2.2. Fase presuntiva**

Las muestras de agua obtenidas del arroyo Ranchopunko se inocularon en alícuotas de 0.001 ml, 0.0001 ml y 0.00001 ml en tubos de ensayo, respectivamente con campanas Durham invertidos en su interior, conformando una serie de cinco tubos de fermentación con 10 ml del medio

de cultivo caldo Lauril sulfato, enseguida se procedieron a incubar en incubadora a temperatura de 37°C durante 24 a 48 horas; al cabo de dicho tiempo se examinaron los tubos de las series, observando la presencia de gas en la campana Durham para considerarla como prueba positiva si se confirmó la presencia de gas, en cuyo caso se procedió a desarrollar la fase confirmativa.

#### **3.5.2.2.3.Fase confirmativa**

En esta siguiente fase solo fueron analizados los tubos positivos de la fase presuntiva que conlleva a determinar la presencia de Coliformes Totales (CT) y Coliformes Termo tolerantes (CTT). Así, para cada grupo de coliformes se procedió de la siguiente manera:

##### **a) Confirmación de coliformes totales**

Para confirmar la presencia de coliformes totales, se inoculó una azada desde tubos positivos en series de cinco tubos de fermentación, también contenidas en su interior las campanas de Durham invertidas y 10 ml de caldo bilis verde brillante, luego se pasaron a incubar a 37°C durante 24 a 48 horas, luego de ese tiempo se registró el número de tubos de las series que presentaron formación de gas en el medio de cultivo y se calculó el número de coliformes totales en NMP/100 ml con ayuda de la tabla 8 de NMP.

##### **b) Confirmación de coliformes termo tolerantes**

En esta fase se inoculó también una azada desde los tubos positivos, en series de 5 tubos de fermentación incluyendo en su interior campanas Durham y 10 ml de caldo *Escherichia coli*, luego se llevó a incubadora a 44.5°C por 24 a 48 horas en baño maría; pasado este tiempo se examinaron los tubos de las series, considerándose la presencia de gas como muestra positiva. Desde los tubos que resultaron positivos, se procedió a determinar el número de coliformes termo tolerantes por 100 ml, utilizando la tabla 8.

Tabla 8

*Índice del NMP con 95% de límite de confianza para combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se usan 5 tubos en 20 ml. de muestra de agua o hielo.*

N° de Tubos positivos	NMP/100 ML	95% de Límite de Confianza (Aproximado)	
		Inferior	Superior
0	<1.1	0.0	3.0
1	1.1	0.05	6.3
2	2.6	0.3	9.6
3	4.6	0.8	14.7
4	8.0	1.7	26.4
5	>8.0	4.0	Infinito

Todos los resultados se compararán con la Norma de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua ECAs (MINAM, 2017) y los LMP para aguas residuales (MINAM, 2010).

### **3.5.2.3. Aplicación de prueba estadística inferencial.**

Con el propósito de comparar los valores de las diferentes variables bacteriológicas (Coliformes totales y termo tolerantes) entre los lugares de estudio, se calcularon las medias  $\pm$  desviaciones estándar a partir de los datos brutos obtenidos, los cuales se colectaron con repeticiones por cada punto de muestreo.

Debido a que no cumplió con los supuestos requeridos por los análisis paramétricos, se aplicó el test de Kruskal walis y como prueba de contraste se aplicó el DunnTest. Los análisis se realizaron en el software libre R studio versión 4.0.0.

### **3.5.3. Cuantificar la carga contaminante que ingresa a la Bahía Interior de Puno a través del Arroyo Ranchopunko.**

#### **3.5.3.1. Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos.**

Como variable independiente se tiene al caudal de ingreso del arroyo Ranchopunko. Y como variable dependiente la carga contaminante representado por la DBO<sub>5</sub> y DQO.

#### **3.5.3.2. Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros.**

##### **3.5.3.2.1. Método de estimación de la carga contaminante**

###### **a) Descripción detallada del método de muestreo**

Para este objetivo se utilizaron los resultados de los dos métodos detallados anteriormente, es decir de los parámetros fisicoquímicos y de las concentraciones de coliformes, las cuales se muestrearon quincenalmente y las mediciones se realizaron entre las 8 y 10 a.m. para determinar la carga contaminante que ingresa a la Bahía Interior de Puno, por un período determinado (día, mes y año), siguiendo la metodología establecida por Reutelshofer & Guzman, (Reutelshofer & Guzman, 2015).

En este caso los parámetros a determinar fueron:

- Coliformes totales y fecales, DBO<sub>5</sub>, DQO, Conductividad, Sólidos suspendidos totales, Sólidos sedimentables, Fósforo total y Nitrógeno total.

La metodología de determinación de esta variable, fue la suma de estos dos objetivos. También en este caso fue necesario calcular el caudal, mediante el método del flotador, detallado por (Chamorro, 2011) el cual consiste en fijar el largo de un tramo determinado del afluente, así como el ancho y la profundidad, incluyendo el tiempo que demora en recorrer un flotador dicho tramo, para ello se aplicó la siguiente expresión matemática:

$$Q = Fc * A * (L/T).$$



Donde:

Q = es el caudal en  $m^3/s$ ,

L = es la longitud entre el punto A y B en metros,

A = es el área en  $m^2$ ,

T = es el tiempo promedio recorrido en segundos por el flotador,

Fc = es el factor de corrección, seleccionado de acuerdo al tipo de canal y a la profundidad del mismo; así: si el canal es de concreto y profundidad mayor a 15 cm = 0.8; si el canal es de tierra y profundidad mayor a 15 cm = 0.7; como riachuelo y profundidad mayor a 15 cm = 0.5; si el canal es de tierra y profundidad menor a 15 cm = 0.25 – 0.5.

La carga contaminante se estimó a través de la siguiente fórmula (Von Sperling, 2007):

CC = Concentración contaminante ( $kg/m^3$ ) \* caudal ( $m^3/ día$ )

Donde:

CC = carga del contaminante en  $kg/día$ . Luego, estos resultados se convertirán en carga contaminante por mes y por año.

## **b) Aplicación de prueba estadística inferencial**

Descripción estadística básica.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Parámetros fisicoquímicos de las aguas provenientes de la quebrada Ranchopunko, a su paso por el Centro Poblado de Salcedo, según diferentes puntos de muestreo.

Los resultados evidenciaron que las variables fueron alteradas durante su recorrido por el centro poblado de salcedo, algunas más que otras. Referente a la variación temporal (Mañana y tarde) no se aprecia diferencias en las variables consideradas (Figura 1) por lo que se consideró con mayor atención la variabilidad espacial.

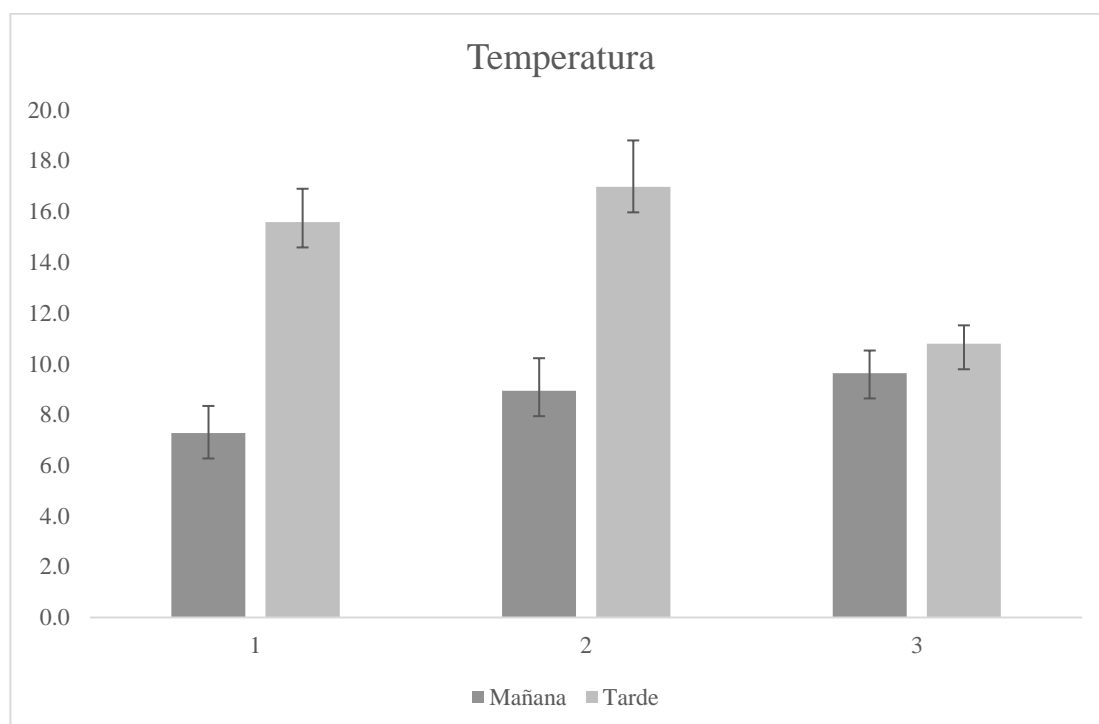


Figura 1. Temperatura

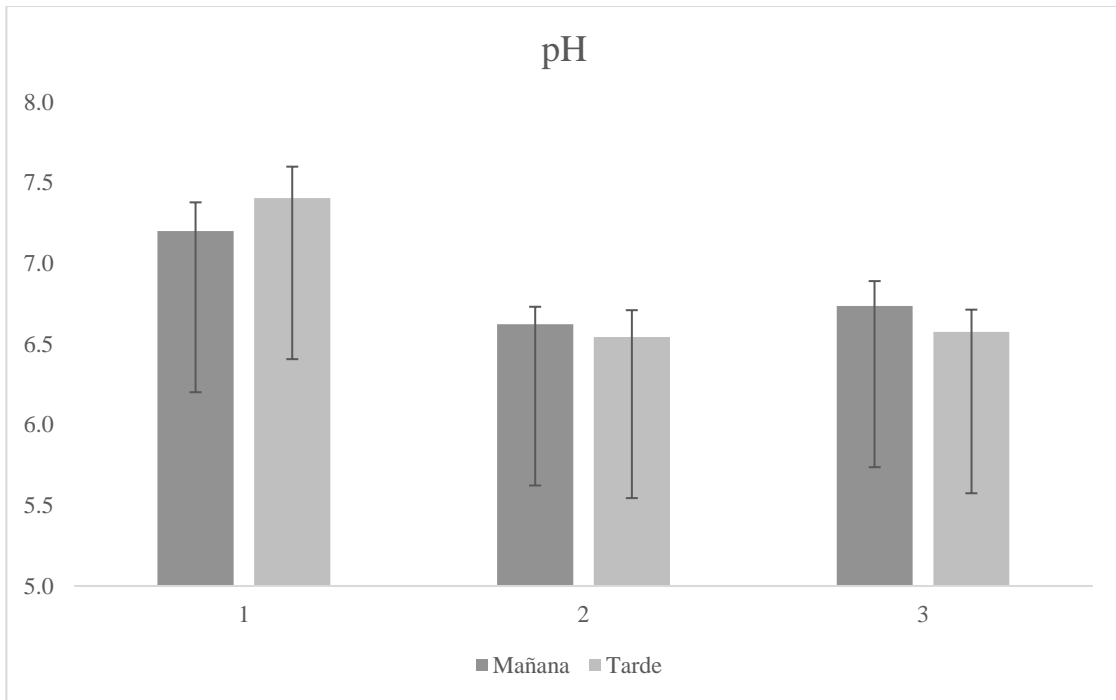


Figura 2. pH

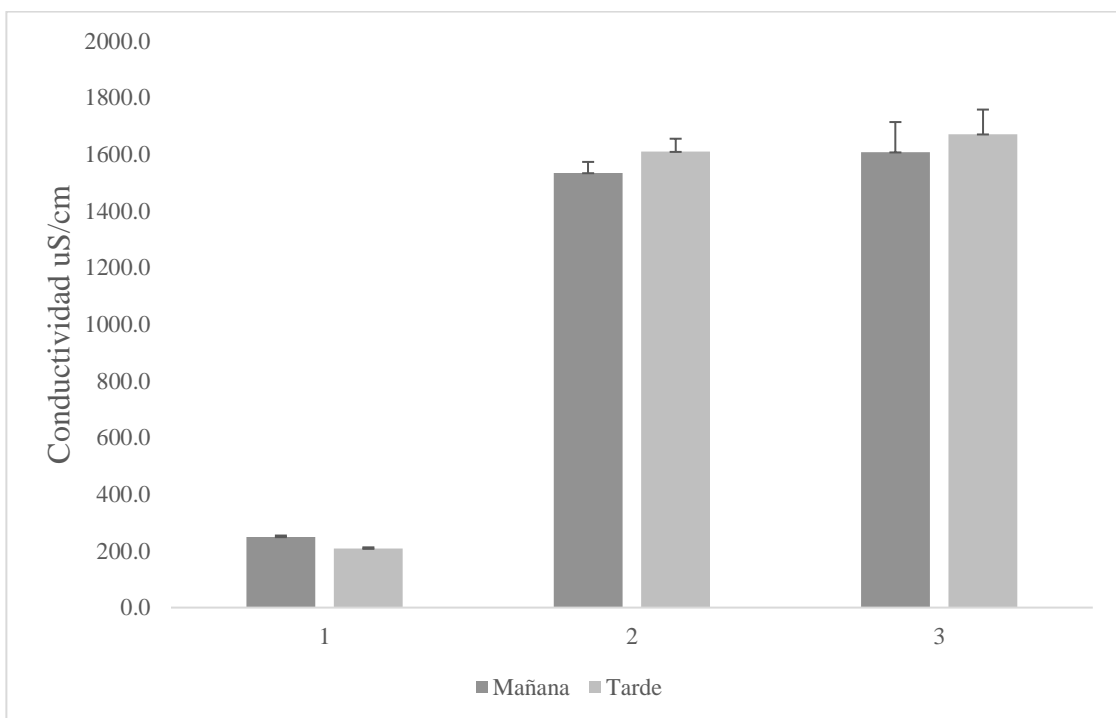


Figura 3. Conductividad Us/cm

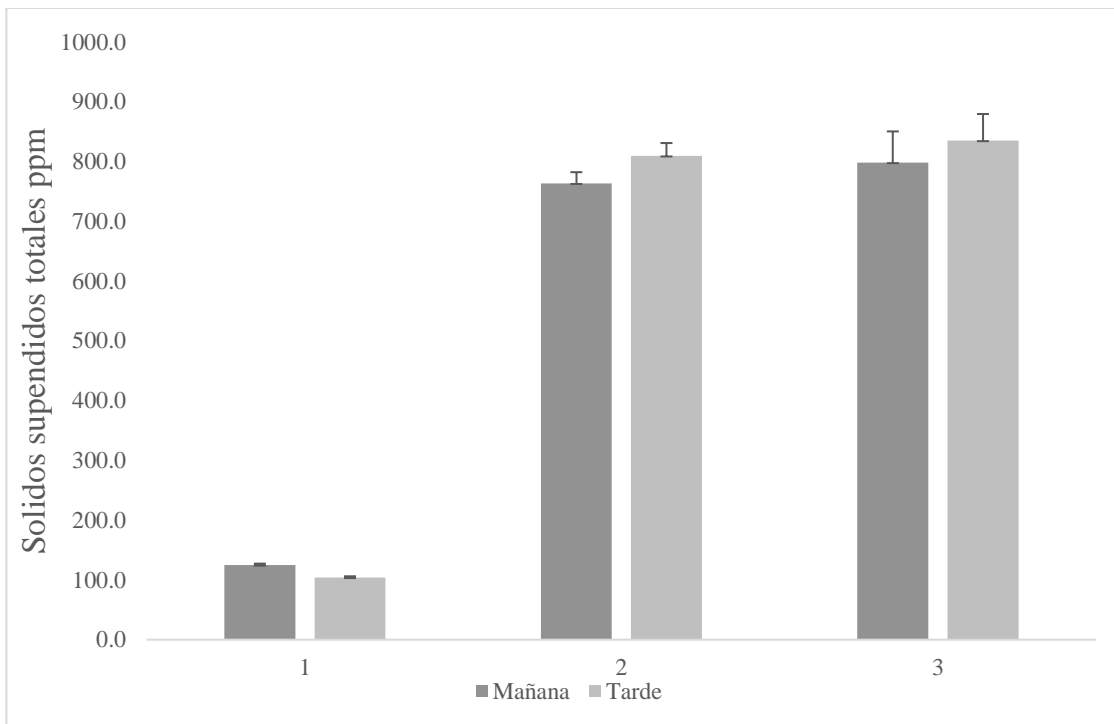


Figura 4. Solidos suspendidos totales ppm

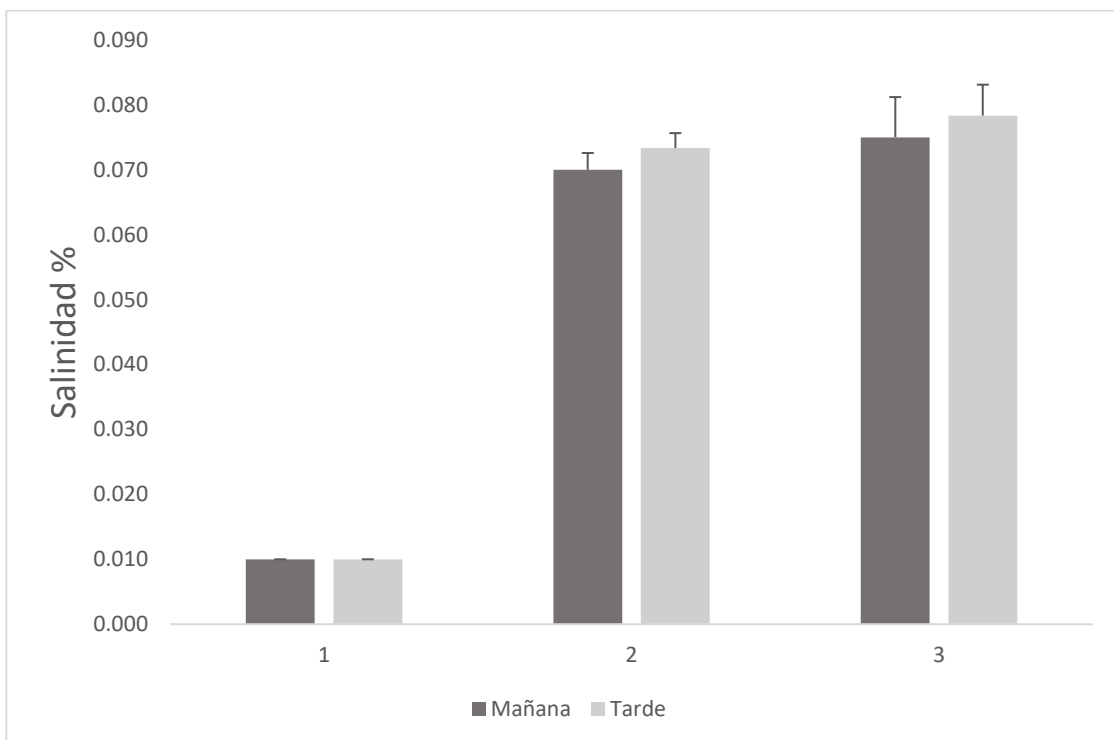


Figura 5. Salinidad %

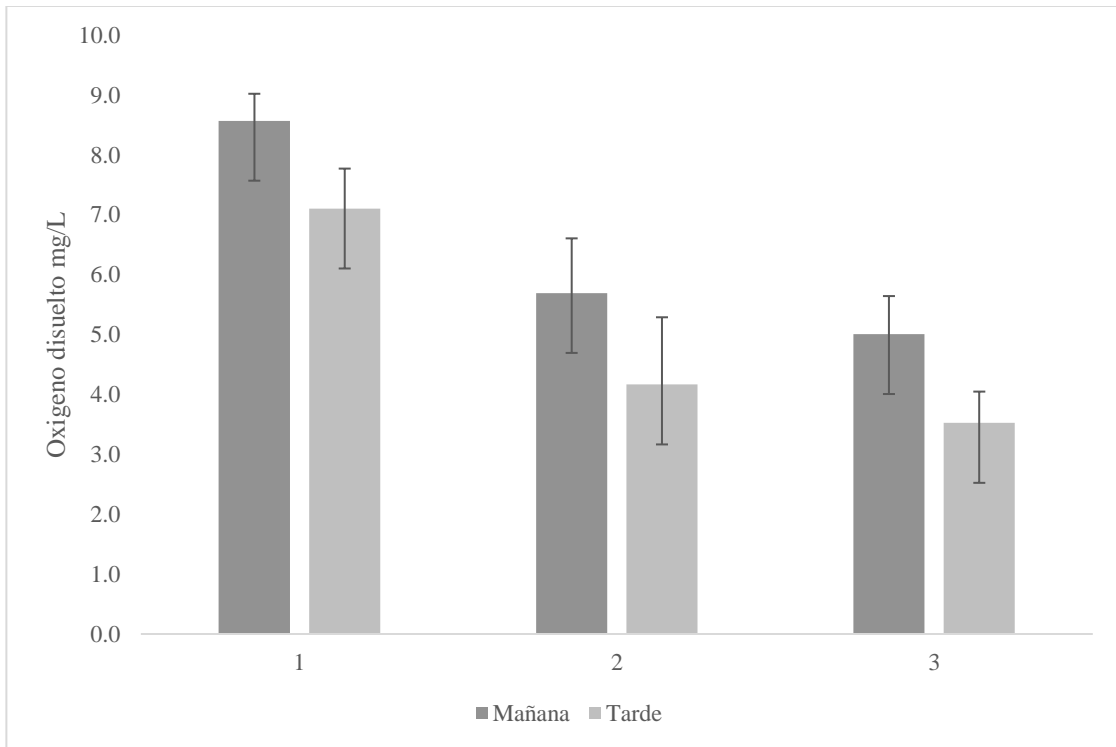


Figura 6. Oxígeno disuelto mg/L

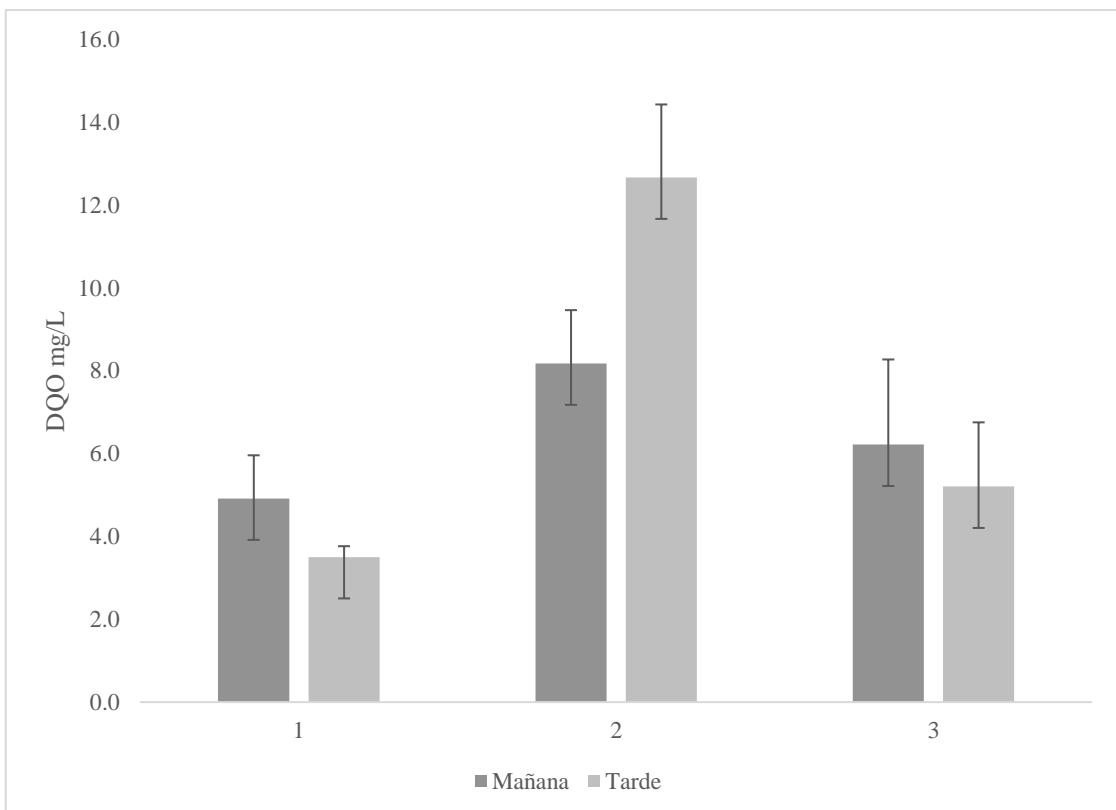


Figura 7. DQO mg/L

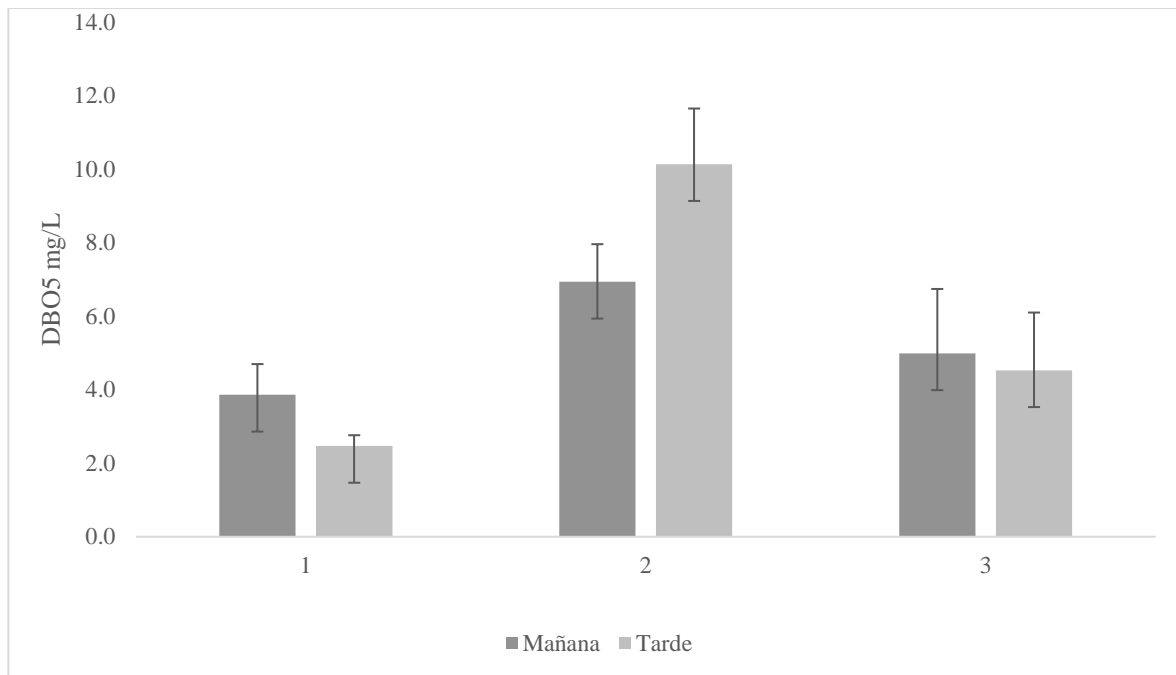


Figura 8. DBO5 mg/L

#### 4.1.1. Temperatura

La distribución espacial determinó que los valores hallados para la temperatura no fueron diferentes desde el punto de vista estadístico ( $p$  valor= 0.5365 > 0.05), lo que evidencia que este valor no fue influenciado por las actividades antrópicas ocurridas en el recorrido del arroyo Ranchopunko teniendo como valor máximo y mínimo 19.5 y 5 respectivamente en el punto 1, de 20.5 y 6.6 en el punto 2 y 13.4 y 7.8 para el punto 3. Adicionalmente, las mediciones realizadas en dos horarios también muestran que los valores son similares (Figura 1).

Estos resultados son razonables debido a que en el recorrido no existe contaminación física que pudiera alterar estos resultados, y la leve variación.

#### 4.1.2. pH

En relación a este parámetro existe diferencia estadística significativa ( $p$  valor= 5.29E-05 < 0.05), y el análisis de comparación de Tukey evidencia que hay diferencia significativa entre el punto 1 con el punto 2 ( $p$  valor = 0.0001251 < 0.05) y 3 ( $p$  valor = 0.0004834 < 0.05); mientras que los puntos 2 y 3 no hay diferencias entre si (Tabla 10). Esta información es corroborada con los promedios para el pH en los tres puntos

de muestreo de la Tabla 9, en la que se evidencia un descenso de valores en los puntos 2 y 3.

Estos resultados evidencian un claro impacto de la actividad antrópica en el cauce de este arroyo, debido a que en tramos más bajos desciende los valores de pH en comparación con el primer punto (Tabla 8). Demostrando así que existe ingreso de vertidos contaminantes (González-Dávila et al., 2019) lo que genera que las aguas tiendan a acidificarse (Mendoza et al., 2015; Razali et al., 2020b; Sremački et al., 2020). Sin embargo, estos valores no están fuera de los valores aceptados en la legislación nacional (LMP= 6.5-8.5 unidad y ECA=6.5-9.0 unidad ) (MINAM, 2010, 2017). A pesar de que estos valores aún son aceptados para el desarrollo de la vida acuática, dado que el valor mínimo para la biota acuática es 6.5 (Tibebe et al., 2019), es necesario resaltar que estos resultados deben servir a los tomadores de decisiones a fin de conservar la buena calidad de los recursos hídricos.

#### **4.1.3. Conductividad**

Los valores de conductividad evidencian diferencias significativas en relación a los puntos de muestreo ( $p$  valor =  $6.55E-06 < 0.05$ ) (Tabla 10), y el resultado de DunnTest evidenció que existe significancia para el punto 1 respecto a los puntos 2 ( $p$  valor =  $0.000259453 < 0.05$ ) y 3 ( $p$  valor =  $1.65645E-05 < 0.05$ ), mientras que no hay diferencia significativa entre los puntos 2 y 3. Estos valores son corroborados por los datos mostrados en la Tabla 9, en el que se muestra los promedios de conductividad en los 3 puntos de muestreo, observándose valores bajos en el primer punto 229 de promedio en relación a 1571.6 y 1639.1 en los puntos 2 y 3 respectivamente (Tabla 9).

Estos resultados son similares a los hallados en otros estudios en los que hallaron que la eutrofización incrementaba los valores de conductividad (Sánchez-Morales et al., 2018), por el incremento de sales en su contenido (González-Dávila et al., 2019; Razali et al., 2020b), y es lo que ocurre cuando un cuerpo de agua es contaminado con nutrientes y otros elementos (Sremački et al., 2020) por ello los resultados se correlacionan con la salinidad del agua (Weerasinghe & Handapangoda, 2019).

#### 4.1.4. Sólidos suspendidos totales

En relación a este parámetro los resultados demuestran diferencias significativas en relación a los puntos de muestreo ( $p$  valor =  $6.76E-06 < 0.05$ ) (Tabla 10), y el resultado de DunnTest evidenció que existe significancia para el punto 1 respecto a los puntos 2 ( $p$  valor =  $2.29E-04 < 0.05$ ) y 3 ( $p$  valor =  $1.89E-05 < 0.05$ ), mientras que no hay diferencia significativa entre los puntos 2 y 3. Estos valores son corroborados por los datos mostrados en la Tabla 8, en el que se muestra los promedios de sólidos suspendidos totales en los 3 puntos de muestreo, observándose valores bajos en el primer punto 114 de promedio en relación a 786.5 y 816.8 en los puntos 2 y 3 respectivamente (Tabla 9).

Con respecto a estos resultados otros estudios hallaron datos similares, en los que describen que el ingreso de carga contaminante en el agua incrementa la presencia de SST (Loucif et al., 2020; Mendoza et al., 2015), pudiendo ser esta de origen orgánico o mineral (González-Dávila et al., 2019), por lo que esta variable también se ve afectada por las actividades que se realizan en la zona evaluada.

Tabla 9

*Promedios de parámetros hallados en los tres puntos de muestreo.*

Parámetro	Puntos de muestreo			LMP para aguas residuales	ECA categoría 4
	1	2	3		
Temperatura	11.4	13.0	10.2	<35 °C	Δ 3 °C
pH	7.3	6.6	6.7	6.5-8.5	6.5-9
Conductividad	229.0	1571.6	1639.1		1000 μS/cm
SST	114.4	786.5	816.8	150 mg/L	≤ 100 mg/L
Oxígeno D.	7.8	4.9	4.3		≥ 5 mg/L
Salinidad	0.0	0.1	0.1		
DBO <sub>5</sub>	3.2	8.5	4.8	100 mg/L	10 mg/L
DQO	4.2	10.4	5.7	200 mg/L	
NT	0.5	1.5	1.2		
PT	0.3	0.3	0.2		0.05 mg/L



#### 4.1.5. Salinidad

La salinidad se vio mínimamente influenciada en su recorrido por este centro poblado de Salcedo, los resultados demuestran diferencias nada significativas en relación a los puntos de muestreo ( $p$  valor =  $2.55E-06 < 0.05$ ) (Tabla 10), y el resultado de DunnTest evidenció que existe significancia para el punto 1 respecto a los puntos 2 ( $p$  valor =  $2.25E-04 < 0.05$ ) y 3 ( $p$  valor =  $5.19E-06 < 0.05$ ), mientras que no hay diferencia significativa entre los puntos 2 y 3. Estos valores son corroborados por los datos mostrados en la Tabla 9, en el que se muestra los promedios de salinidad disuelto en los 3 puntos de muestreo, observándose valores bajos en el primer punto 0.0 de promedio en relación a 0.1 y 0.1 en los puntos 2 y 3 respectivamente.

Es ampliamente conocido que las perturbaciones humanas generan o contribuyen con la alteración de los parámetros fisicoquímicos del agua (Pretus, 1989), dentro de ellos con el incremento de la salinidad (Metcalf & Eddy, 1995; Romero, 2010). Lo que degrada la calidad del agua del arroyo, por ende, a la vida acuática (Loucif et al., 2020).

#### 4.1.6. Oxígeno disuelto

En relación al oxígeno disuelto los resultados demuestran diferencias significativas en relación a los puntos de muestreo ( $p$  valor =  $0.000104 < 0.05$ ) (Tabla 10), y el resultado de Tukey evidenció que existe significancia para el punto 1 respecto a los puntos 2 ( $p$  valor =  $0.0017163 < 0.05$ ) y 3 ( $p$  valor =  $0.0001467 < 0.05$ ), mientras que no hay diferencia significativa entre los puntos 2 y 3. Estos valores son corroborados por los datos mostrados en la Tabla 8, en el que se muestra los promedios de oxígeno disuelto en los 3 puntos de muestreo, observándose valores bajos en el primer punto 7.8 de promedio en relación a 4.9 y 4.3 en los puntos 2 y 3 respectivamente.

Estos resultados evidencian el ingreso de carga orgánica contaminante proveniente de las diversas actividades antrópicas que ocurre en su cauce e indican que esos cuerpos de agua están en condiciones de eutrofización (Han et al., 2020; Loucif et al., 2020). Lo preocupante de esto es que esos bajos valores limitan el desarrollo de la vida acuática, pues este parámetro es uno de los más importantes en estudios acuáticos debido al rol que cumple en el desarrollo de la vida acuática (Sremački et al., 2020).

En relación a ello, los valores aceptados para el desarrollo de la vida oscilan entre 5 y 9 mg/L (Tibebe et al., 2019). Sin embargo, también cabe resaltar que los niveles de oxígeno no solo dependen de la carga contaminante, sino también de otros factores como la presión atmosférica, temperatura del agua, salinidad, luz, agitación del agua, disponibilidad de nutrientes, así como otras variables fisicoquímicas y microbiológica (González-Dávila et al., 2019; Loucif et al., 2020).

#### **4.1.7. DBO<sub>5</sub>**

La demanda Biológica de oxígeno también se vio influenciada en su recorrido por este centro poblado de Salcedo, los resultados demuestran diferencias significativas en relación a los puntos de muestreo ( $p$  valor =  $2.55E-06 < 0.05$ ) (Tabla 10), y el resultado de DunnTest evidenció que existe significancia para el punto 1 respecto al punto 2 ( $p$  valor =  $0.00181539 < 0.05$ ) y del punto 2 en relación al punto 3 ( $p$  valor =  $0.02927706 < 0.05$ ), mientras que no hay diferencia significativa entre los puntos 1 y 3 ( $p$  valor =  $0.32310126 > 0.05$ ). Estos valores son corroborados por los datos mostrados en la Tabla 8, en el que se muestra los promedios de DBO<sub>5</sub> en los 3 puntos de muestreo, observándose valores bajos en el primer punto 3.2 de promedio en relación a 8.5 y 4.8 en los puntos 2 y 3 respectivamente. En relación a la variabilidad temporal se aprecia una ligera diferencia entre la mañana y la tarde (Figura 1), lo cual pudiera ser debido a la temperatura, dado que los microorganismos suelen reproducirse mejor en mayores temperaturas, por lo que su consumo de materia orgánica será mayor en esos momentos.

En comparación con la normativa nacional estos valores no sobrepasan los valores establecidos en estas normativas (ECA=10 mg/L y LMP=100 mg/L) (MINAM, 2010, 2017). Lo que evidencia de que, a pesar del incremento de los valores en los dos últimos puntos en contraste con el primero, la calidad de agua según este parámetro sería aceptable. Es llamativo el hecho de que este valor se incremente en el punto 2 para luego disminuir en el punto 3, lo que pudiera indicar que el río está ejerciendo su función de autodepuración (Von Sperling, 2007). Dado que la DBO<sub>5</sub> refleja la materia biodegradable en el agua (Han et al., 2020; Loucif et al., 2020), pues su determinación está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos (Metcalf & Eddy, 1995).

#### 4.1.8. DQO

Este parámetro también se vio influenciada por las actividades antrópicas aunque en menor proporción, los resultados demuestran diferencias significativas en relación a los puntos de muestreo ( $p$  valor =  $0.002257 < 0.05$ ) (Tabla 10), y el resultado de DunnTest evidenció que existe significancia para el punto 1 respecto al punto 2 ( $p$  valor =  $0.00224363 < 0.05$ ) y del punto 2 en relación al punto 3 ( $p$  valor =  $0.0269908 < 0.05$ ), mientras que no hay diferencia significativa entre los puntos 1 y 3 ( $p$  valor =  $0.36760045 > 0.05$ ). Estos valores son corroborados por los datos mostrados en la Tabla 9, en el que se muestra los promedios de DQO en los 3 puntos de muestreo, observándose valores bajos en el primer punto 4.2 de promedio en relación a 10.4 y 5.7 en los puntos 2 y 3 respectivamente.

En comparación con la normativa nacional estos valores no sobrepasan los valores establecidos en estas normativas (LMP=100 mg/L) (MINAM, 2010). Lo que evidencia de que, a pesar del incremento de los valores en los dos últimos puntos en contraste con el primero, la calidad de agua según este parámetro indicaría que mantiene una buena calidad de aguas. Asimismo, es interesante el hecho de que este valor se incremente en el punto 2 para luego disminuir casi en un 50% en el punto 3, lo que pudiera indicar que existe una baja contaminación por carga orgánica (Han et al., 2020; Sremački et al., 2020). En contraste con la  $DBO_5$  que se cuantifica en mayor proporción la materia biodegradable, en la DQO, también se cuantifica la materia que no es fácilmente biodegradable (Lee et al., 2016).

Tabla 10

*Análisis de la variación de los parámetros entre los tres puntos evaluados.*

Parámetro	Estadístico	p-valor	Significancia
Temperatura (°C)	1.24	0.5365	ns
pH	13.47	5.29E-05	***
Conductividad (mS/cm)	23.87	6.55E-06	***
Sól. Susp. Tot. (ppm)	23.81	6.76E-06	***
Oxígeno disuelto	12.26	0.000104	***
Salinidad %	25.76	2.55E-06	***
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	12.47	0.001964	**
DQO (mg/L)	12.19	0.002257	**
NT (mg/L)	14.49	0.000712	***
PT (mg/L)	2.45	0.102	ns
SST (mg/L)	3.84	0.1466	ns

#### 4.1.9. Nitrógeno total (NT)

Este parámetro también se vio afectada por las actividades antrópicas aunque en menor proporción, los resultados demuestran diferencias significativas en relación a los puntos de muestreo (p valor = 0.000712 < 0.05) (Tabla 10), y el resultado del Test de contraste DunnTest evidenció que existe significancia para el punto 1 respecto al punto 2 (p valor = 0.000421383 < 0.05) y del punto 1 en relación al punto 3 (p valor = 0.058872308 < 0.05), mientras que no hay diferencia significativa entre los puntos 2 y 3 (p valor = 0.110168909 > 0.05). Estos valores son corroborados por los datos mostrados en la Tabla 9, en el que se muestra los promedios de Nitrógeno total en los 3 puntos de muestreo, observándose valores bajos en el primer punto 0.5 de promedio en relación a 1.5 y 1.2 en los puntos 2 y 3 respectivamente.

El nitrógeno es un elemento que se halla de forma natural en el ambiente; sin embargo, su incremento desmedido podría deberse a actividades humanas que alteran los ecosistemas (Camargo & Alonso, 2006; Dejoux & Iltis, 1987; Sremački et al., 2020). Pues el nitrógeno se halla en los cuerpos de agua en sus diversas formas, ya sea nitrógeno, orgánico, inorgánico, amoniacal, entre otros (Metcalf & Eddy, 1995; Pretus, 1989). Lo cual es evidente en este estudio, dado que en el primer punto la

concentración de nitrógeno es menor en comparación a los puntos ubicados en el centro poblado, por lo que se aprecia una clara alteración, aunque considerando las concentraciones este impacto es de menor grado.

#### **4.1.10. Fósforo total (PT)**

Este parámetro también no se vio afectada por las actividades antrópicas, los resultados estadísticos demuestran que no hubo diferencia significativa en relación a los puntos de muestreo ( $p$  valor =  $0.102 > 0.05$ ) (Tabla 10). Estos valores son corroborados por los datos mostrados en la Tabla 8, en el que se muestra los promedios de fósforo total en los 3 puntos de muestreo, observándose valores bajos en el primer punto 0.3 de promedio en relación a 0.3 y 0.2 en los puntos 2 y 3 respectivamente.

Si se contrasta los resultados con los estándares nacionales se aprecia que se hallan por encima de los ECAs para aguas ( $0.05$  mg/L) (MINAM, 2017). Lo que indicaría que existe contaminación por fuentes naturales o por el contrario este arroyo estaría siendo contaminado por actividades humanas desde su nacimiento. Dado que, el fosforo se halla en las masas acuáticas no solo por las actividades humanas sino también por eventos naturales, pues el fósforo tiene diversas formas de presentación, tales como el de ortofosfato, polifosfato y otras formas orgánicas de fosforo (Metcalf & Eddy, 1995).

## **4.2. Caracterizar los niveles de coliformes totales y termo tolerantes de las aguas provenientes de la quebrada Ranchopunko a su paso por el Centro Poblado de Salcedo.**

### **4.2.1. Coliformes totales**

Las muestras de agua en los diferentes puntos de muestreo evidenciaron la presencia de coliformes totales, para ello se aplicó el test de Kruskal-Wallis, por lo que, según el resultado obtenido, se puede afirmar que existe una diferencia significativa ( $p=0.0000915 < 0.05$ ) entre los puntos evaluados (Punto 1, Punto 2 y Punto 3). Posteriormente se procedió a realizar la prueba de contraste DunnTest, a fin de hallar diferencias entre los puntos (Tabla 11), en el cual resultaron significativos el punto 1 en comparación al punto 2 ( $p=0.00002 < 0.05$ ) y 3 ( $p=0.00944 < 0.05$ ).

Tabla 11

*Prueba de contraste (Dunn test) por puntos de muestreo de Coliformes Totales.*

Comparación de Puntos	Valor de p
Punto 1 – Punto 2	0.00002
Punto 1 – Punto 3	0.00944
Punto 2 – Punto 3	0.09204

Las diferencias halladas evidencian que efectivamente existe impacto de las actividades humanas sobre el arroyo Ranchopunko. Asimismo, cabe mencionar que se aprecia la existencia de coliformes totales desde el primer punto de muestreo, lo que demuestra que este arroyo viene siendo impactado desde su cabecera. Dado que la fuente principal de estos microorganismos son las heces fecales (Metcalf & Eddy, 1995), por ello a la vez es frecuentemente usado como un indicador de contaminación antrópica (Dejoux & Iltis, 1987; Mendoza et al., 2015). Sin embargo, este hecho representa un riesgo para la salud humana y ambiental, debido a que su ingreso al lago Titicaca se da sin tratamiento alguno. De la importancia de estudios como este, ya que ponen a disposición de las autoridades información primaria que contribuirán a los tomadores de decisiones en la mejora de gestión de estas entradas al lago Titicaca. Adicionalmente, cabe mencionar que este arroyo aún conserva su capacidad de autodepuración, dado que en el 2do punto se tiene mayores valores (Figura 12) y en el 3er punto disminuye las concentraciones de coliformes totales (Tabla 12).

Tabla 12

*Estadística descriptiva de Coliformes Totales evaluados en los puntos de muestreo.*

Puntos	n	Media	SD	Mediana	Mínimo	Máximo
Punto 1	12	4638.3	5038.2	3300	720	15000
Punto 2	12	77727.5	41697.8	110000	730	110000
Punto 3	12	33566.7	38377.8	15000	2300	110000

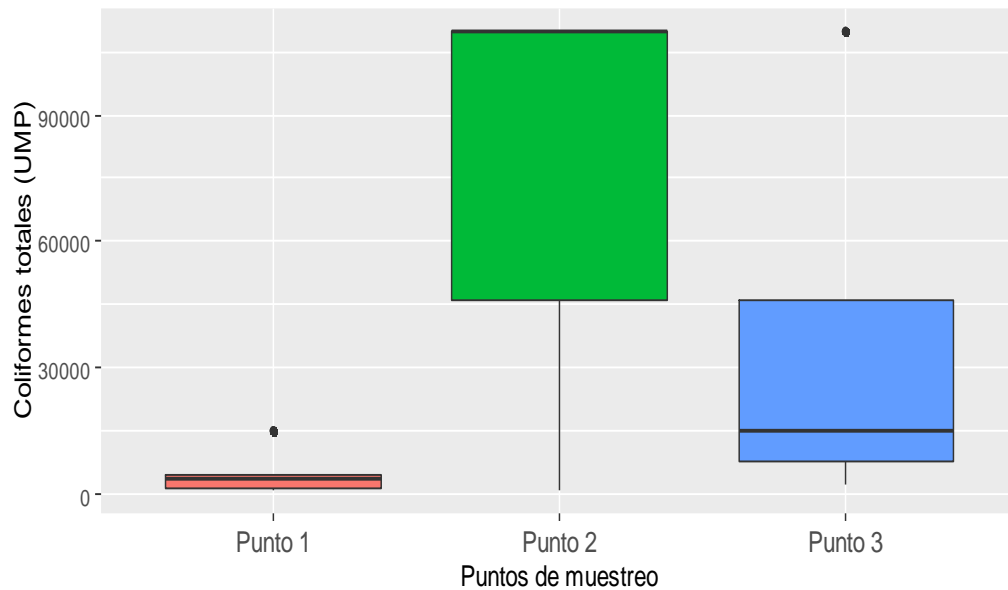


Figura 9. En este gráfico se observa que el punto 2, es el que presenta mayor cantidad de Coliformes Totales.

#### 4.2.2. Coliformes termo tolerantes

Las muestras de agua en los diferentes puntos de muestreo evidenciaron la presencia de coliformes termo tolerantes, para ello se aplicó el test de Kruskal-Wallis, por lo que, según el resultado obtenido, se puede afirmar que existe una diferencia significativa ( $p=0.00736 < 0.05$ ) entre los puntos evaluados (Punto 1, Punto 2 y Punto 3). Posteriormente se procedió a realizar la prueba de contraste Dunntest, a fin de hallar diferencias entre los puntos (Tabla 13), en el cual resultaron significativos el punto 1 en comparación al punto 2 ( $p=0.00002 < 0.05$ ) y 3 ( $p=0.00944 < 0.05$ ).

Tabla 13

*Prueba de contraste (Dunntest) por puntos de muestreo de Coliformes Termo tolerantes*

Comparación de Puntos	Valor de p
Punto 1 – Punto 2	0.00695
Punto 1 – Punto 3	0.00635
Punto 2 – Punto 3	0.97633

La presencia de coliformes termo tolerantes evidencia que existe contaminación por vertimientos clandestinos de aguas residuales; los cuales sobrepasan por mucho los estándares de calidad de agua del estado peruano (ECA=1000 NMP/100 ml) (MINAM, 2017); dado que, estos organismos provienen principalmente de esas fuentes, por ello se le conoce como indicador de contaminación con heces humanas (Mendoza et al., 2015; Von Sperling, 2007). Por lo tanto, considerando estas concentraciones (Tabla 14), las aguas de este arroyo ni siquiera sería recomendadas para su uso en el regadío de campos agrícola ni mucho menos para consumo animal (Amare et al., 2018).

Tabla 14

*Estadística descriptiva de Coliformes Termo tolerantes evaluados en los puntos de muestreo NMP/100ml.*

Puntos	n	Media	SD	Mediana	Mínimo	Máximo
Punto 1	12	477.5	374.5	300	300	1500
Punto 2	12	2691.7	3860.1	1005	300	12000
Punto 3	12	1315.8	1313.8	815	360	4300

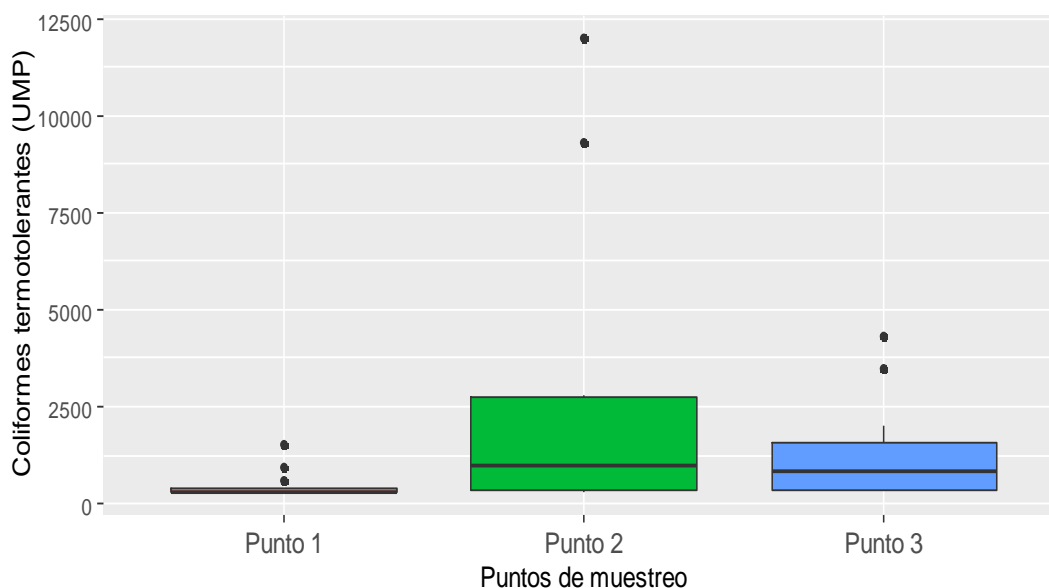


Figura 10. Coliformes termo tolerantes (UMP)



#### 4.3. Cuantificar la carga contaminante que ingresa a la Bahía Interior de Puno a través del Arroyo Ranchopunko

Se usó los parámetros de DBO<sub>5</sub>, DQO, NT, PT, SST, Coliformes totales y termo tolerantes, a fin de hallar la carga contaminante que ingresa al lago Titicaca. Dentro de ellos el parámetro que más carga contaminante aporta es la SST con un valor total de 80.80 Kg/día, seguido de la DQO con 34.14 Kg/día, y la DBO<sub>5</sub> con 28.26 Kg/día, mientras que el fosforo total es el parámetro con menos carga con 1.20 Kg/día (Tabla 15). En relación a los microorganismos, los coliformes totales tienen mayor carga de ingreso que los coliformes termo tolerantes, representando estos valores un riesgo para la salud humana y ambiental.

Tabla 15

*Reporte de la carga contaminante que ingresa al lago Titicaca en el caudal del Arroyo Ranchopunko.*

Parámetro	Total	Promedio/ día	Promedio/ Mes	Promedio/ año	DS	SE
DBO <sub>5</sub> (Kg/día)	28.26	0.784985366	23.55	286.52	0.82	0.14
DQO (Kg/día)	34.14	0.948345188	28.45	346.15	0.97	0.16
NT (Kg/día)	5.60	0.155434457	4.66	56.73	0.18	0.03
PT (Kg/día)	1.20	0.033325136	1.00	12.16	0.03	0.01
SST (Kg/día)	80.80	2.2444756	67.33	819.23	2.60	0.43
C. Totales	2380605.8		1983838.1	24136697.7	83179.1	13863.1
(NMP/día)	1	66127.93908	7	6	0	8
C. Fecales						
(NMP/día)	83067.18	2307.42168	69222.65	842208.91	4380.54	730.09

El arroyo considerado en este estudio es de pequeño cauce, sin embargo, la contaminación de sus aguas es elevado (Tabla 14), lo cual es demostrado en este estudio, evidenciando elevada carga contaminante con el que ingresa directamente al lago Titicaca, y esto genera el proceso de eutrofización por el continuo ingreso de carga contaminante, no solo de este arroyo, sino también de otros arroyos que afluyen al lago Titicaca (PCM, 2014). Esto es usual en fuentes acuáticas que atraviesan centros urbanos (PNUMA, 2017), dado que se



tienen elevados valores en relación a las variables consideradas, por lo que esto influenciará directamente en la carga contaminante (Von Sperling, 2007).

## CONCLUSIONES

- El ingreso de carga contaminante afecta las características fisicoquímicas y bacteriológicas del arroyo Ranchopunko en su recorrido por el centro poblado de Salcedo.
- Los parámetros relacionados al pH, conductividad eléctrica, sólidos totales suspendidos, oxígeno disuelto, salinidad, DBO<sub>5</sub>, DQO, NT, son las más alteradas por las actividades antrópicas en el centro poblado de Salcedo.
- En relación a los microorganismos, los coliformes totales evidencian mayores concentraciones que los coliformes termo tolerantes, demostrándose también que la presencia de estos microorganismos se halla desde el primer punto de muestreo, demostrando así que desde ese punto se tiene algún tipo de actividad que afecta la calidad de sus aguas.
- Finalmente, existe elevada carga contaminante que ingresa al lago Titicaca, en el cual el parámetro que mayor influencia son los SSTs, seguido de DQO y DBO<sub>5</sub>.



## RECOMENDACIONES

- Establecer el ingreso de este arroyo, como un punto de monitoreo a fin de conocer la calidad del agua de los afluentes al lago Titicaca.
- Identificar todos los afluentes al lago Titicaca a fin de evaluar su calidad, de tal manera que se cuide el ingreso de contaminantes fisicoquímicos y biológicos al lago.
- Identificar y clausurar las entradas clandestinas de aguas residuales al arroyo Ranchopunko.

## BIBLIOGRAFÍA

- Amare, E., Kebede, F., & Mulat, W. (2018). Wastewater treatment by *Lemna minor* and *Azolla filiculoides* in tropical semi-arid regions of Ethiopia. *Ecological Engineering*, 120(May), 464–473. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.07.005>
- APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd edition* (23rd ed.). <https://www.scribd.com/document/525941845/421982315-Standard-Methods-for-the-Examination-of-23-Edition-Unlocked-1-en-Es>
- Cáceres Choque, L. F., Ramos Ramos, O. E., Valdez Castro, S. N., Choque Aspiazú, R. R., Choque Mamani, R. G., Fernández Alcazar, S. G., Sracek, O., & Bhattacharya, P. (2013). Fractionation of heavy metals and assessment of contamination of the sediments of Lake Titicaca. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(12), 9979–9994. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3306-0>
- Camargo, J. A., & Alonso, Á. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment International*, 32(6), 831–849. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.05.002>
- Chamorro, G.I. (2011). *Guía de Hidrometría: Estimación del caudal por el método de flotadores*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, SENAMHI/DR-LIMA N° 01–2011. Lima, Perú. [https://www.senamhi.gob.pe/usr/cdc/AFORO\\_X\\_FLOTADORES.pdf?fbclid=IwAR14oXNtNxN0q7\\_7VMARKzdfDDSyG80ihooFVTW9AKS6z44UdVtUMx56ACw](https://www.senamhi.gob.pe/usr/cdc/AFORO_X_FLOTADORES.pdf?fbclid=IwAR14oXNtNxN0q7_7VMARKzdfDDSyG80ihooFVTW9AKS6z44UdVtUMx56ACw)
- Dejoux, C., & Iltis, A. (1987). *El lago Titicaca Sintesis del conocimiento actual*. ORSTOM e HISBOL. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers08-10/36603.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-10/36603.pdf)
- Fundación Nacional de Salud. (2013). *Manual Practico De Análisis De Agua*. 1–150. <http://saude.gov.br/editora>
- Ghadimi, F., & Ghomi, M. (2013). Assessment of the effects of municipal wastewater on the heavy metal pollution of water, sediment in Arak Mighan Lake, Iran. *Journal of Tethys*, 1(3), 205–214.

- González-Dávila, R. P., Ventura-Houle, R., De-la-Garza-Requena, F. R., & Heyer-Rodríguez, L. (2019). Caracterización fisicoquímica del agua de la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas-México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(1), 01–29. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-01-01>
- Han, Q., Tong, R., Sun, W., Zhao, Y., Yu, J., Wang, G., Shrestha, S., & Jin, Y. (2020). Anthropogenic influences on the water quality of the Baiyangdian Lake in North China over the last decade. *Science of The Total Environment*, 701, 134929. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134929>
- Jameel, Y., Stein, S., Grimm, E., Roswell, C., Wilson, A. E., Troy, C., Höök, T. O., & Bowen, G. J. (2018). Physicochemical characteristics of a southern Lake Michigan river plume. *Journal of Great Lakes Research*, 44(2), 209–218. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jglr.2018.01.003>
- Kistritz, T. et al. 1988. *Taller sobre el uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales*. Westwater Research Center. Segunda Fase de: proyecto UNA/UBC/ACDIRU. Puno, Perú. 53 p. <https://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/71-humedales.pdf>
- Lee, J., Lee, S., Yu, S., & Rhew, D. (2016). Relationships between water quality parameters in rivers and lakes: BOD5, COD, NBOPs, and TOC. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(4), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5251-1>
- López, C., Buitrón, G., García, H., & Cervantes, F. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. In IWA (Ed.), *Ingeniería Química* (Vol. 33, Issue 377). IWA. <https://doi.org/10.2166/9781780409146>
- Loucif, K., Neffar, S., Menasria, T., Maazi, M. C., Houhamdi, M., & Chenchouni, H. (2020). Physico-chemical and bacteriological quality assessment of surface water at Lake Tonga in Algeria. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 13(October 2019), 100284. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100284>
- Mendoza, R., Silva, R., Jiménez, A., Rodríguez, K., & Sol, A. (2015). Lake Zirahuen,

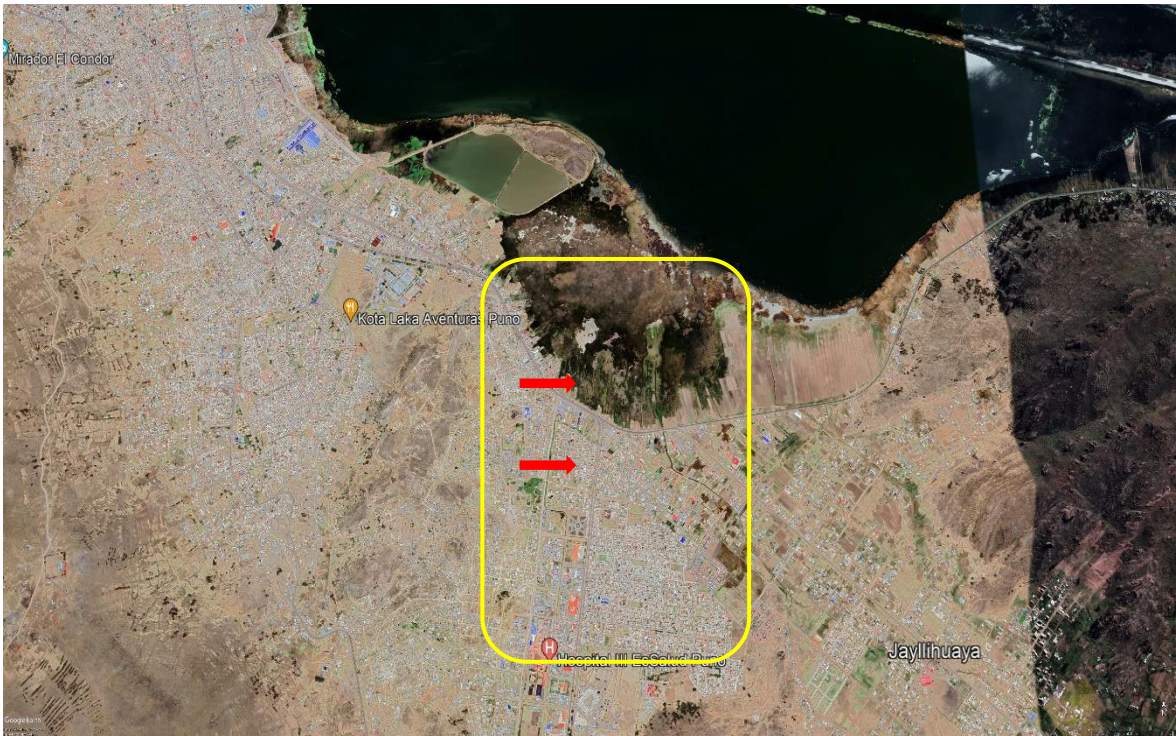
- Michoacan, Mexico: An approach to sustainable water resource management based on the chemical and bacterial assessment of its water body. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 2, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2015.10.001>
- Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingenieria de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilizacion* (Mc Graw Hill (ed.); Third). [https://www.academia.edu/45529169/INGENIERIA\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_TRATAMIENTO\\_VERTIDO\\_Y\\_REUTILIZACION\\_Volumen\\_II\\_Metcalf\\_y\\_Eddy](https://www.academia.edu/45529169/INGENIERIA_DE_AGUAS_RESIDUALES_TRATAMIENTO_VERTIDO_Y_REUTILIZACION_Volumen_II_Metcalf_y_Eddy)
- MINAM. (2010). Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. *El Peruano*, 11. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2010-minam/>
- MINAM. (2017). Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. In *El Peruano* (pp. 6–9). <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Northcote, T. P. Morales, D. Levy, et al. 1991. Contaminación en el Lago Titicaca, Perú: Capacitación, investigación y manejo. Westwater research centre, University of British Columbia, Vancouver. Canada. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers08-10/36651.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-10/36651.pdf)
- PCM. (2014). Estado de la calidad Ambiental de la Cuenca del lago Titicaca ambito Peruano. *D.S.N° 075-2013-Pcm*, 162.
- PNUMA. (2017). *Metodologia Para La Evaluacion Aproximada De La Carga Contaminante*. 1–30. [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021117/Carga\\_Organica.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021117/Carga_Organica.pdf)
- Perea, A. 2003. *Tratamiento de aguas residuales domésticas*. Universidad Católica de Chile, Facultad de Ciencias Ambientales. Documento Técnico. 17 p.
- Pretus, J. L. (1989). Limnología de la albufera de Menorca (Menorca, España). *Limnetica*, 5(1), 69–82. <https://doi.org/10.23818/limn.05.06>

- Ramalho, R. 1999. *Tratamiento de Aguas Residuales*. Edic. Trillas S.A. México. 223 p.
- Razali, A., Syed Ismail, S. N., Awang, S., & Praveena, Sarva Mangala Zainal Abidin, E. (2020a). mountainous agricultural areas and risk to human health The impact of seasonal change on river water quality and dissolved metals in mountainous Azlini Razali , Sharifah Norkhadijah Syed Ismail , Suriyani Awang , Sarva. *Environmental Forensics* ISSN:, 195–211. <https://doi.org/10.1080/15275922.2020.1728434>
- Razali, A., Syed Ismail, S. N., Awang, S., & Praveena, Sarva Mangala Zainal Abidin, E. (2020b). The impact of seasonal change on river water quality and dissolved metals in mountainous Azlini Razali , Sharifah Norkhadijah Syed Ismail , Suriyani Awang , Sarva. *Environmental Forensics* ISSN:, 195–211. <https://doi.org/10.1080/15275922.2020.1728434>
- Regina, N.-M. (2012). Biological monitoring and pollution assessment of the Mukuvisi River, Harare, Zimbabwe. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 17(1), 73–80. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1770.2012.00497.x>
- Reutelshofer, T., & Guzman, L. (2015). Guía para la toma de muestras de agua residual. In *Senasba* (Vol. 1). [https://www.bivica.org/files/5376\\_aguas-residuales-muestra.pdf](https://www.bivica.org/files/5376_aguas-residuales-muestra.pdf)
- Reynolds, K. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales en latinoamérica. *Agua Latinoamerica, septiembre/octubre*, 1–4.
- Rizk, R., Juzsakova, T., Cretescu, I., Rawash, M., Sebestyén, V., Le Phuoc, C., Kovács, Z., Domokos, E., Rédey, Á., & Shafik, H. (2020). Environmental assessment of physical-chemical features of Lake Nasser, Egypt. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 20136–20148. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08366-3>
- Romero, J. (2010). *Tratamiento de aguas residuales teoria y principios de diseño. Teoría y principios de diseño* (Escuela Colombiana de Ingeniería (ed.)). <http://www.bibvirtual.ucb.edu.bo/opac/Cover/Show?author=ROMERO+ROJAS%2C+JAIRO+ALBERTO.&callnumber=&size=large&title=TRATAMIENTO+DE+AGUAS+RESIDUALES%3B+TEORIA+Y+PRINCIPIOS+DE+DISE%C3%91O.&recordid=104720&source=Solr&isbn=9588060133>

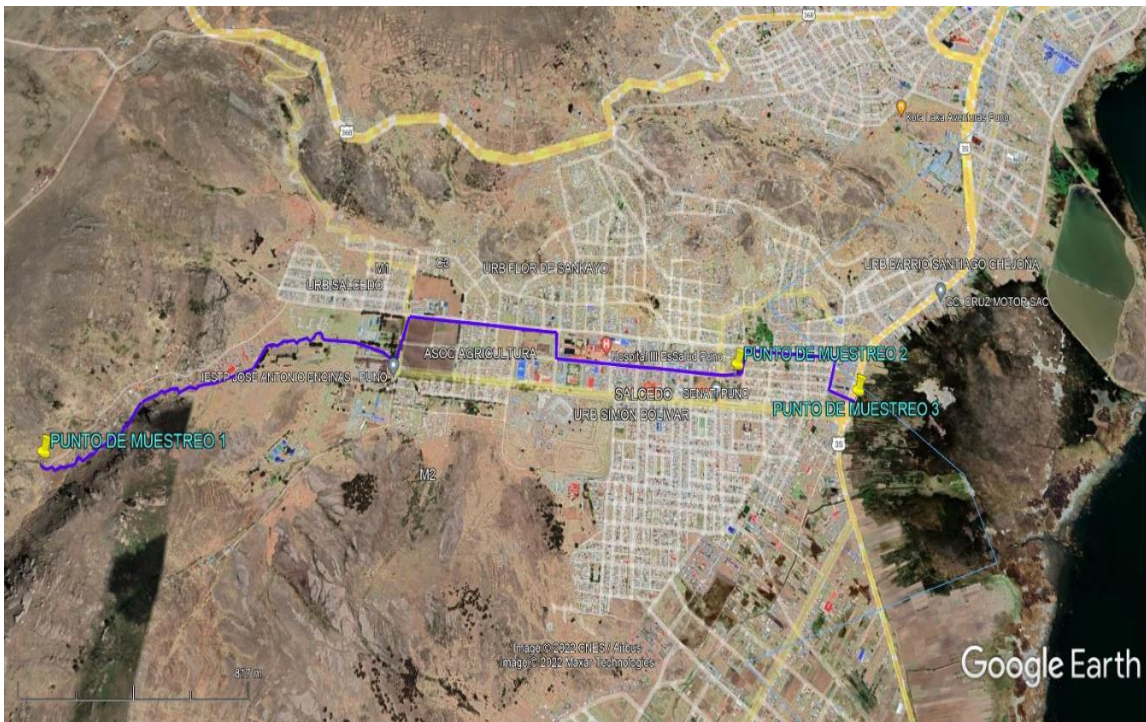


- Sánchez-Morales, M., Sabater, F., & Muñoz, I. (2018). Effects of urban wastewater on hyporheic habitat and invertebrates in Mediterranean streams. *Science of the Total Environment*, 642, 937–945. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.132>
- Sremački, M., Obrovski, B., Petrović, M., Mihajlović, I., Dragičević, P., Radić, J., & Vojinović Miloradov, M. (2020). Comprehensive environmental monitoring and assessment of protected wetland and lake water quality in Croatia and Serbia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(3). <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8141-5>
- SUNASS. (2008). *Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución*. [http://www.proagua.org.pe/files/de62b65581b727d66847f48aa52fbbfd/Libro\\_PTA\\_R.pdf](http://www.proagua.org.pe/files/de62b65581b727d66847f48aa52fbbfd/Libro_PTA_R.pdf)
- Tan, C. W., Thishalini, A., Goh, E. G., & Edlic, S. (2017). Studies on turbidity in relation to suspended solid, velocity, temperature, pH, conductivity, colour and time. *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(19), 5626–5635.
- Tibebe, D., Kassa, Y., Melaku, A., & Lakew, S. (2019). Investigation of spatio-temporal variations of selected water quality parameters and trophic status of Lake Tana for sustainable management, Ethiopia. *Microchemical Journal*, 148(February), 374–384. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.04.085>
- Tunçsiper, B. (2019). Combined natural wastewater treatment systems for removal of organic matter and phosphorus from polluted streams. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1368–1376. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.211>
- Von Sperling, M. (2007). Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal. In *Water Intelligence Online* (Vol. 1). IWA. <https://doi.org/10.2166/9781780402086>
- Weerasinghe, V., & Handapangoda, K. (2019). Surface water quality analysis of an urban lake; East Beira, Colombo, Sri Lanka. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 12, 100249. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100249>

## ANEXOS



**Anexo 1.** Lugar de estudio: quebrada Ranchopunko, Centro Poblado Salcedo, ubicado a 7 km de la ciudad de Puno.



**Anexo 2.** Detalle del lugar de estudio: se observan los 3 puntos de muestreo en el Arroyo Ranchopunko, en el Centro Poblado Salcedo.





**Anexo 3.** Equipos de muestreo utilizados en campo, oxímetro y multiparámetro.



**Anexo 4.** Muestreo de parámetros fisicoquímicos. Punto de monitoreo 1, aguas arriba de la quebrada Ranchopunko





**Anexo 5.** Muestreo de parámetros fisicoquímicos. Punto de monitoreo 2, altura del Centro Poblado Salcedo.



**Anexo 6.** Muestreo de parámetros fisicoquímicos. Punto de monitoreo 3, desembocadura a la Bahía Interior del Lago Titicaca





**Anexo 7.** Medición del ancho del cauce del Arroyo Ranchopunko



**Anexo 8.** Equipos de muestreo utilizados en campo (Correntómetro).





Anexo 9. Medición del caudal del Arroyo con el método del corcho.



Anexo 10. Muestras rotuladas en el Laboratorio del IMARPE.





**Anexo 11.** Equipos del Laboratorio Físicoquímico del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) utilizados para los análisis de los parámetros de las muestras de agua del Arroyo Ranchopunko.