



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y
ZOOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA Y
ZOOTECNIA



EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS DEL
AGUA DEL RÍO RAMIS, REGIÓN PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

JUAN JESUS MAMANI MATAMET

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO
QUÍMICOS DEL AGUA DEL RÍO RAMIS, R
EGIÓN PUNO**

AUTOR

JUAN JESUS MAMANI MATAMET

RECuento de palabras

20962 Words

RECuento de caracteres

115302 Characters

RECuento de páginas

108 Pages

Tamaño del archivo

1.5MB

Fecha de entrega

Nov 20, 2024 6:29 PM GMT-5

Fecha del informe

Nov 20, 2024 6:31 PM GMT-5

● **3% de similitud general**

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

- 2% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)

Universidad
Nacional
del Altiplano



Firmado digitalmente por AYMA
FLORES Vilour Rubén FAU
20145496170 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 25.11.2024 08:19:46 -05:00

Universidad
Nacional
del Altiplano



Firmado digitalmente por RUELAS
CALLOPÁZA Domingo Alberto FAU
20145496170 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 20.11.2024 18:47:46 -05:00



DEDICATORIA

A DIOS, mi roca eterna, por guiarme en cada paso de este viaje académico y darme la fuerza para perseverar. Gracias por ser mi fuente de fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida rica en aprendizajes, experiencias y lo más importante, felicidad ¡sin Él nada sería posible!

A mis queridos padres, Elsa e Isidro Juan por este logro académico que refleja el esfuerzo, la dedicación y la pasión que han puesto en brindarme una educación sólida; que son un regalo que valoro más allá de las palabras. Esta tesis es un testimonio de su sacrificio, amor y me llena de orgullo honrarlos de esta manera. Gracias por ser los faros en mi vida y enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación ¡Dios los bendiga siempre!

Juan Jesus Mamani Matamet



AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo ha requerido la colaboración de diversas personas y entidades, a las que expreso mi más sincero agradecimiento:

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi director de tesis, el M.Sc. Wilbur Rubén Ayma Flores, por su dirección, apoyo y confianza al guiarme en este estudio.

A los profesores D.Sc. Faustino Adolfo Jahuirá Huarcaya, M.Sc. Mario Rubén Zavaleta Gibaja y Dr. Renan Dilton Hañari Quispe, miembros del jurado. Gracias desde el fondo de mi corazón por su paciencia y participación en la corrección de este estudio, catedráticos ejemplos de profesionalismo y dedicación a la profesión que llevaré conmigo para siempre.

A mi querida hermana Fanny Roxana, por todo su apoyo en todas las fases de este estudio, por siempre animarme y ayudarme cuando lo necesité.

Gracias a la Universidad Nacional del Altiplano, al que tengo mucho cariño. Gracias a todos los que formamos parte de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por los recuerdos, experiencias, enseñanzas y conversaciones que siempre fueron bienvenidas durante mi paso por la universidad ¡Gracias!

Juan Jesus Mamani Matamet



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PRESENTACIÓN	17
1.2. JUSTIFICACIÓN	19
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTGACIÓN	20
1.3.1. Objetivo general	20
1.3.2. Objetivos específicos	20
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES	21
2.2. MARCO TEÓRICO	23
2.2.1. Medio Ambiente.....	23
2.2.2. Agua.....	23
2.2.3. Ciclo hidrológico.....	23



2.2.4. Contaminación de recursos hídricos	24
2.2.5. Intoxicación por metales	26
2.2.6. Calidad del agua	28
2.2.7. Parámetros físico químicos	30
2.2.7.1. Temperatura (T)	30
2.2.7.2. Turbidez (NTU).....	31
2.2.7.3. Conductividad eléctrica (CE)	31
2.2.7.4. Potencial de hidrógeno (pH)	32
2.2.7.5. Potencial redox (Eh).....	32
2.2.7.6. Oxígeno disuelto (OD).....	33
2.2.7.7. Calcio (Ca^{2+})	33
2.2.7.8. Magnesio (Mg^{2+})	34
2.2.7.9. Potasio (K^{+})	34
2.2.7.10. Sodio (Na^{+}).....	35
2.2.7.11. Cloruro (Cl^{-})	35
2.2.7.12. Nitrato (NO_3^{-}).....	36
2.2.7.13. Sulfato (SO_4^{2-})	37
2.2.7.14. Bicarbonato (HCO_3^{-})	37

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN Y ALGUNOS ASPECTOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO	40
3.1.1. Área de estudio	40
3.1.2. Geología del área.....	40
3.1.3. Características del relieve.....	41



3.1.4.	Hidrografía.....	41
3.1.5.	Clima	42
3.1.6.	Vegetación y fauna.....	42
3.2.	METODOLOGÍA	43
3.2.1.	Ámbito de investigación.....	43
3.2.2.	Muestreo de agua	45
3.2.3.	Equipos y materiales de trabajo.....	45
3.2.4.	Identificación, conservación y transporte de las muestras de agua	48
3.2.5.	Análisis "in situ" y laboratorial.....	48
3.3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	51
3.4.	IDENTIFICACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL	51

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	PARÁMETROS FÍSICOS	55
4.1.1.	Temperatura (T)	55
4.1.2.	Turbidez (NTU).....	57
4.1.3.	Conductividad eléctrica (CE).....	58
4.2.	PARÁMETROS QUÍMICOS	60
4.2.1.	Potencial de hidrógeno (pH)	61
4.2.2.	Potencial redox (Eh)	63
4.2.3.	Oxígeno disuelto (OD)	64
4.2.4.	Calcio (Ca ²⁺).....	65
4.2.5.	Magnesio (Mg ²⁺).....	66
4.2.6.	Potasio (K ⁺).....	68
4.2.7.	Sodio (Na ⁺)	69



4.2.8. Cloruro (Cl^-).....	71
4.2.9. Nitrato (NO_3^-)	72
4.2.10. Sulfato (SO_4^{2-})	73
4.2.11. Bicarbonato (HCO_3^-).....	75
V. CONCLUSIONES.....	78
VI. RECOMENDACIONES	79
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
ANEXOS.....	89

Área: Salud Pública

Tema: Evaluación de parámetros físico químicos del agua del río Ramis

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20 de diciembre de 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Recursos hídricos superficiales, distribución a nivel mundial.....	26
Tabla 2 Relaciones entre los parámetros químicos y sus efectos en el organismo humano y medio ambiente (WHO, 2005).....	38
Tabla 3 Puntos de muestreo en el río Ramis, georreferenciados con GPS	45
Tabla 4 Resumen de los Estándares de Calidad Ambiental-ECA de las aguas, normas establecidas por la legislación peruana del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017).....	52
Tabla 5 Resumen de la clasificación de las aguas según el CONAMA, normas establecidas por la legislación brasilera del Ministerio de Salud (BRASIL, 2005)	53
Tabla 6 Resultados de los parámetros físicos del agua en los puntos de muestreo RAM-1 RAM-2, RAM-3 y RAM-4 del río Ramis, Región Puno	55
Tabla 7 Resultados de los parámetros químicos del agua en los puntos de muestreo RAM-1 RAM-2, RAM-3 y RAM-4 del río Ramis, Región Puno	60



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Parámetros físico químicos analizados en este estudio	43



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Ciclo hidrológico	89
ANEXO 2. Distribución del agua.....	89
ANEXO 3. Localización del área de estudio.....	90
ANEXO 4. Puntos de muestreo de agua RAM-1, RAM-2, RAM-3 y RAM-4 a lo largo del río Ramis, región Puno. La imagen de satélite del área de estudio fue adquirida del Google Earth	91
ANEXO 5. RAM-1, punto próximo a la naciente del río Ramis.....	92
ANEXO 6. RAM-2, punto próximo al distrito de Crucero	92
ANEXO 7. RAM-3, punto próximo al distrito de Azángaro.....	93
ANEXO 8. RAM-4, punto próximo a la desembocadura del Lago Titicaca.....	93
ANEXO 9. Toma de muestra de agua para los análisis químicos de los puntos RAM-1, RAM-2, RAM-3 y RAM-4 en el río Ramis, región Puno	94
ANEXO 10. Medida “ <i>in situ</i> ” del pH, Eh y temperatura en las muestras de agua utilizando DIGIMED DM-2	94
ANEXO 11. Ejemplo del método Hach utilizado en el laboratorio, Hach Company NY, 2013	95
ANEXO 12. Valores medios, mediana, desviación estándar, máximos y mínimos de los parámetros físicos analizados en las aguas de los puntos de muestreo RAM-1 RAM-2, RAM-3 y RAM-4 del río Ramis, Región Puno.....	97
ANEXO 13. Valores medios, mediana, desviación estándar, máximos y mínimos de los parámetros químicos analizados en las aguas de los puntos de muestreo RAM-1 RAM-2, RAM-3 y RAM-4 del río Ramis, Región Puno	98



ANEXO 14. Estándares y criterios de calidad del agua, establecidos según la norma peruana ECA (MINAM, 2017) y brasileña del CONAMA (BRASIL, 2005)	99
ANEXO 15. Valores obtenidos para la temperatura medidos “ <i>in situ</i> ” en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno, utilizando DIGIMED DM-2	100
ANEXO 16. Valores obtenidos para la turbidez en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno	100
ANEXO 17. Valores obtenidos para la conductividad eléctrica en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno	101
ANEXO 18. Valores obtenidos para el pH medidos “ <i>in situ</i> ” en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno, utilizando DIGIMED DM-2	101
ANEXO 19. Valores obtenidos para el Eh medidos “ <i>in situ</i> ” en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno	102
ANEXO 20. Valores obtenidos para el oxígeno disuelto en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno	102
ANEXO 21. Valores obtenidos para el calcio en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno	103
ANEXO 22. Valores obtenidos para el magnesio en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno	103
ANEXO 23. Valores obtenidos para el potasio en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno	104
ANEXO 24. Valores obtenidos para el sodio en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno	104



ANEXO 25. Valores obtenidos para el cloruro en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno	105
ANEXO 26. Valores obtenidos para el nitrato en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno	105
ANEXO 27. Valores obtenidos para el sulfato en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno	106
ANEXO 28. Valores obtenidos para el bicarbonato en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno	106
ANEXO 29. Declaración jurada de autenticidad de tesis	107
ANEXO 30. Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional....	108



ACRÓNIMOS

BCWQI:	British Columbia Water Quality Index
CETESB:	Conpanhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA:	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ECA:	Estándares de Calidad Ambiental
MINAM:	Ministerio del Ambiente
OMS:	Organización Mundial da la Salud
CE:	Conductividad Eléctrica
OD:	Oxígeno Disuelto
pH:	Potencial de Hidrogeno
Eh:	Potencial Redox
FUNASA:	Fundação Nacional de Saude
DAM:	Drenaje Acido de las Minas
LMP:	Límite máximo permisible
VMP:	Valor máximo permisible
WHO:	World Health Organization



RESUMEN

La contaminación del agua es un problema ambiental ocasionado por las actividades mineras, ya que las aguas se encuentran contaminadas por químicos obtenidos de las operaciones mineras y desechos mineros, los cuales se depositan en los ríos cercanos a las operaciones mineras y ocasionan problemas de salud pública. El objetivo de esta investigación fue evaluar los parámetros físico químicos del agua del río Ramis en la región Puno. La metodología del estudio permitió evaluar la temperatura, turbidez, conductividad eléctrica, pH, Eh, oxígeno disuelto, calcio, magnesio, potasio, sodio, cloruros, nitratos, sulfatos y bicarbonatos en aguas de ríos. Estos estudios se realizaron en el laboratorio de la UNESP-SP/Brasil utilizando el Espectrofotómetro tipo Hach, modelo DR2000, y Espectrometría de Absorción Atómica (AAS). Los resultados de los parámetros físicos de las aguas en los puntos de muestreo RAM-1, RAM-2, RAM-3 y RAM-4 muestran que la temperatura, la turbidez y la conductividad eléctrica se encontraban dentro de los límites establecidos por la ECA (Estándares de Calidad Ambiental) y CONAMA (*Conselho Nacional do Meio Ambiente*), con excepción del RAM-1, donde la turbidez excedió el valor máximo de dichas leyes ambientales. Se encontró que las características químicas de las aguas en los cuatro puntos de muestreo revelaron que el cloruro y el pH se encuentran dentro de los límites definidos por la ECA y CONAMA con excepción del punto RAM-3, donde el potencial de hidrógeno supera el valor máximo de dicha legislación ambiental.

Palabras clave: Agua, Parámetros físico-químicos, Recurso hídrico, Río Ramis.



ABSTRACT

Water pollution is an environmental issue caused by mining activities, since the waters are contaminated by chemicals obtained from mining operations and mining waste, which are deposited in rivers near mining operations and cause public health problems. The goal of this research was to assess the physical-chemical parameters of the waters of the Ramis River in the Puno region. The methodology of the study allowed us to assess temperature, turbidity, electrical conductivity, pH, Eh, dissolved oxygen, calcium, magnesium, potassium, sodium, chloride, nitrate, sulfate, and bicarbonate levels in river waters. These studies were performed in the laboratory of UNESP-SP/Brazil using the Hach type Spectrophotometer, model DR2000, and Atomic Absorption Spectrometry (AAS). The results for the physical parameters of the waters at the sampling points RAM-1, RAM-2, RAM-3, and RAM-4 show that the temperature, turbidity, and electrical conductivity were all within the limits set by the ECA (Environmental Quality Standards) and CONAMA (National Environmental Council), with the exception of RAM-1, where the turbidity exceeded the maximum value of said environmental laws. It is found that the chemical characteristics of the waters at the four sample locations revealed that chloride and pH are within the limits defined by the ECA and CONAMA with the exception of point RAM-3, where the hydrogen potential exceeds the maximum value of said environmental legislation.

Keywords: Hidric resources, Physical-chemical parameters, Ramis River, Water.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PRESENTACIÓN

Históricamente se pensaba que los recursos hídricos eran ilimitados. Hoy en día, estos han sido alterados por la intervención humana como resultado de causas como el aumento de la población, la urbanización y la industrialización, lo que ha provocado daños en la calidad y disponibilidad del agua (Nanahan, 2015). El rápido crecimiento de las ciudades pequeñas y grandes, en la mayoría de los casos, se produce sin suficiente planificación y trae como consecuencia un aumento de las emisiones contaminantes al medio ambiente, siendo la más preocupante el envenenamiento de los recursos hídricos (OMS, 2005).

Los ríos son hábitats naturales que han sufrido importantes alteraciones como resultado de una variedad de eventos que alteran y contaminan las cualidades físicas, químicas y biológicas del agua (Braga *et al.*, 2015). Varios elementos químicos se encuentran de forma natural en el medio acuático; sin embargo, las actividades antropogénicas han incrementado la concentración de algunos de ellos en los cursos de agua, sedimentos, vegetación y fauna, tanto marina como epicontinental (Yamamoto *et al.*, 2016). La exposición a metales pesados, tóxicos en los ecosistemas acuáticos, constituye un grave problema ambiental al que la comunidad científica dedica un importante esfuerzo e interés, ya que no son biodegradables y pueden bioacumularse en organismos inferiores antes de biomagnificarse, planteando riesgos irreversibles para la salud humana (Ibáñez & Gibón, 2012; Mirror, 2015).



La calidad de los ríos de Puno se ha deteriorado durante las últimas décadas. Las principales causas de este deterioro son el aumento de la densidad poblacional provocado por la ausencia de normas de planificación urbana y la falta de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales. La influencia de las actividades antropogénicas en los ríos de la región ha provocado un deterioro en la calidad y disponibilidad de agua potable para humanos y animales (INGEMMET, 2003).

En este contexto, el río Ramis, objeto de este estudio, se posiciona como un punto clave de contaminación, ya que recibe enormes cantidades de efluentes tóxicos provenientes de casi toda la minería de la región (Rinconada y Ananea, cuna de los recursos auríferos de Puno). Esto ocurre porque el agua es un insumo crucial en el proceso de producción minera, junto con los reactivos químicos (mercurio, cianuro, arsénico, etc.) para extraer el metal de la roca y así obtener un mineral de valor económico. Este proceso produce desechos de roca triturada, agua y reactivos químicos residuales conocidos como “relaves mineros”, los cuales, debido a un tratamiento inadecuado, frecuentemente llegan a fuentes de agua (ríos y lagos) adyacentes a las operaciones mineras, ocasionando problemas ambientales (Prast *et al.*, 2018).

Simultáneamente, el río Ramis recibe los desalojos de efluentes residenciales de las ciudades por donde discurre, lo que lo convierte en un “receptor de contaminación”. Esto se debe a la ausencia de educación ambiental por parte de los habitantes de las riberas, quienes arrojan basura abiertamente (botaderos informales) en las orillas, afectando la calidad del agua (Guerrero & Zavala, 2006).

Debido a la variedad de factores que influyen en esta dinámica de contaminación, alrededor del mundo se realizan numerosos estudios sobre la calidad del agua y sus parámetros, con el fin de contar con fuentes confiables de información sobre las



características de cuerpos de agua específicos y los efectos de las acciones naturales y antropogénicas que interactúan con su entorno. Sin embargo, aún faltan estudios sobre la calidad del agua en las zonas rurales, en particular de aquellas destinadas al consumo humano y al abrevadero de animales. El presente estudio tiene como objetivo evaluar las propiedades físicas y químicas del agua del río Ramis. Esta investigación aporta información segura y confiable, sobre cómo se ve afectada el agua del río Ramis debido a la adición directa y/o indirecta de sustancias utilizadas por las mineras ubicada al margen de este río.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La disponibilidad de agua de buena calidad es un desafío actual para la sociedad en todos los ámbitos del mundo, con importantes consecuencias sociales y económicas como resultado de la alteración de las características físico-químicas del agua por diversas fuentes, entre las que se destacan los efluentes de actividades mineras, industriales, agrícolas y domésticas, poniendo en peligro el bienestar de la población (Vásquez *et al.*, 2019). El agua es un componente esencial de la vida, pero también puede servir como vehículo para la transmisión de enfermedades y la propagación de sustancias nocivas (ACSA, 2019).

Estudios recientes han demostrado que hoy en día tenemos entre 400 y 1000 veces más metales pesados en nuestros huesos que hace 400 años. Esto tiene importantes consecuencias para el desarrollo cerebral y mental de los niños, en particular para el desarrollo del intelecto. Se ha demostrado que los metales peligrosos, en particular el Hg y el Pb, pueden transmitirse y suponer un riesgo de intoxicación para la salud pública (Lentech, 2013).



La importancia de este trabajo radica principalmente en la exposición de humanos y animales a metales pesados y sustancias químicas peligrosas en lugares afectados por procesos antropogénicos. Además, el río Ramis, foco del proyecto, es la principal entrada de metales y sustancias tóxicas al lago Titicaca, recibiendo efluentes de casi todo el sector minero de la región (Rinconada y Ananea) y desechos domésticos de distritos como Crucero, San Antón, Azángaro y Calapuja. De igual forma, el río Ramis sirve como principal fuente de abastecimiento y alimentación para diferentes segmentos de la población ribereña de la región Puno, de allí la necesidad de realizar esta investigación con el propósito de evaluar los parámetros físicos y químicos existentes del río Ramis.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar los parámetros físico-químicos del agua del río Ramis, región Puno.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar los parámetros físicos como la temperatura, turbidez, solubilidad y conductividad eléctrica, en los puntos de muestreo RAM-1, RAM-2, RAM-3 y RAM-4 del río Ramis;
- Analizar los parámetros químicos como el pH, Eh, oxígeno disuelto, calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^{2+}), sodio (Na^{+}), cloruro (Cl^{-}), nitrato (NO_3^{-}), sulfato (SO_4^{2-}) y bicarbonato (HCO_3^{-}), en los puntos de muestreo RAM-1, RAM-2, RAM-3 y RAM-4 del río Ramis.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Las actividades humanas afectan tanto la calidad como la cantidad del agua. La contaminación de los recursos hídricos y de los manantiales de abastecimiento público por basura ha sido uno de los riesgos más graves para la salud humana, en particular en lugares con suministro de agua y condiciones sanitarias insuficientes, así como en zonas urbanas y rurales de alta densidad (FUNASA, 2014).

Los pequeños productores de las zonas rurales rara vez utilizan agua tratada, como las fuentes públicas de agua, debido a su elevado costo y a la suposición de que el agua de esta fuente es más saludable. Por ello, los pequeños productores dependen de fuentes naturales como manantiales, pozos, estanques y ríos. La alteración de las propiedades físicas y químicas del agua pone en peligro el bienestar de una población (Vásconez *et al.*, 2019).

Otra consecuencia de los impactos antropogénicos es que los caudales de los ríos drenan en hábitats cada vez más grandes e importantes, como el lago más alto del mundo. El lago Titicaca es la principal fuente de abastecimiento y alimentación de muchos segmentos de la población ribereña, así como de crianza de todo tipo de animales en la ciudad de Puno. Además, modifica activamente el medio ambiente de su entorno al recibir y retener la energía solar durante el día y emitirla por la noche. Como resultado, el clima en la zona que rodea al lago no es tan frío como debería ser a una altitud de 3.800 metros. Esta vertiente del lago Titicaca tiene un impacto positivo en las actividades agrícolas de la región, y como resultado, los sectores que rodean el lago son las zonas económicas más



importantes de los Andes peruanos. En esta región habitan el 49% de las alpacas, el 32% de las ovejas, el 29% de las llamas y el 10% del ganado vacuno del Perú. La población ribereña ha crecido significativamente en las últimas décadas, debido al entorno benigno del lago y a las actividades agrícolas (INGEMMET, 2018).

Con base en lo anterior, el río Ramis es un sitio estratégico de contaminación ambiental, por lo que se realizan estudios para determinar las condiciones ambientales de la región de investigación, es decir, la concentración de metales pesados en sedimentos, agua y biota. Urviola (2015) realizó investigaciones en muestras de agua del río Ananea y descubrió que los niveles de As, Cu, Cr, Pb y Zn excedían los límites permitidos. Ponce (2018), por otro lado, realizó un examen físico-químico de metales tóxicos en el gran río Ananea – Crucero, donde las concentraciones de As y Pb fueron del orden (0,712 mg/L – 0,186 mg/L), lo que superó el límite de calidad del agua. Olarte & Tanaka (2020) realizaron una investigación más reciente en la que evaluaron las concentraciones de As, Pb y Hg en el agua y los sedimentos superficiales de la cuenca de Ramis. Los autores encontraron concentraciones de As de 0,080 mg/L y de Pb de 0,07 mg/L en el agua, así como concentraciones de As de 156 ppm, concentraciones de Hg de 0,140 ppm y concentraciones de Pb de 55 ppm en los sedimentos, todas ellas por encima de los lineamientos de calidad ambiental.

De igual forma, se han desarrollado estudios sobre la calidad del agua en otras zonas del país. Por ejemplo, Gómez (2015) realizó un análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos en aguas superficiales de la Amazonía (Iquitos), determinando que estas aguas estaban contaminadas con nitratos, hidrocarburos, coliformes totales, coliformes fecales y Pb, además, se descubrieron niveles sustanciales de As en la laguna de Rumococha. Cerdeña *et al.* (2018) realizaron una investigación similar en el puerto de Masusa (Iquitos). Los hallazgos de los autores demuestran cambios significativos en



marcadores como pH, aceites y lípidos, DBO5, DQO y la presencia de coliformes totales y termorreguladores. Las aguas presentan cantidades significativamente mayores de aceites y grasas (63,45 mg/L) que las del río Amazonas (10 mg/L). El pH del agua de Puerto Masusa fue de 5,42 ligeramente superior al del río Amazonas con 6,93.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Medio Ambiente

Las condiciones, reglas, influencias e interacciones de orden físico, químico y biológico conforman el medio ambiente, que sustenta y nutre la vida en todas sus manifestaciones. En resumen, el medio ambiente se compone de elementos bióticos (seres vivos) y abióticos (no vivos). Los elementos abióticos incluyen el aire, el agua, el suelo y la radiación solar. Juntos, estos elementos forman la biosfera, la capa de la superficie terrestre que sustenta y alberga la vida (Orrego *et al.*, 2005).

2.2.2. Agua

La forma líquida de la combinación de hidrógeno y oxígeno se conoce comúnmente como agua. En un artículo científico de 1804, el naturalista alemán Alexander Von Humboldt y el científico francés Joseph Louis Gay-Lussac establecieron que el agua estaba formada por dos volúmenes de hidrógeno y un volumen de oxígeno, tal como se representa mediante la fórmula moderna " H_2O " (Mancera, 2010).

2.2.3. Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico describe cómo el agua se mueve constantemente a través de la Tierra. Cuando la radiación solar alcanza la superficie terrestre, el



agua de lagos, ríos, mares y océanos se evapora. Las nubes se forman cuando el vapor de agua asciende. Las condiciones climáticas pueden hacer que las nubes se vuelvan anormalmente húmedas, lo que da lugar a precipitaciones como lluvia, nieve o granizo. Según FUNASA (2014), el agua regresa a la superficie y parte se evapora incluso antes de llegar al suelo; parte regresa a los océanos, mares y otros cursos de agua; parte se filtra en el suelo para abastecer reservorios subterráneos (filtración) y parte sufre una nueva evaporación, dando lugar a un nuevo ciclo, antes de regresar a la atmósfera (**ANEXO 1**).

2.2.4. Contaminación de recursos hídricos

A lo largo de los siglos, a medida que las civilizaciones fueron creciendo mediante la creación de herramientas y tecnologías cada vez más complejas, se fueron descubriendo agentes químicos y biológicos (microbiológicos), lo que indicaba los vínculos entre la presencia de estos agentes y la salud de la población. Al mismo tiempo, el agua se consideraba un recurso ilimitado y se utilizaba ampliamente. Esto dio lugar a actividades generadoras de desechos que dañaban la calidad de los suministros de agua, haciéndolos inadecuados incluso para los fines más nobles (Casan, 2005).

La mayor parte de la corteza terrestre (97,5%) está formada por agua salada, de la que tan solo el 2,5% es agua dulce disponible y el 0,8% apta para el consumo humano (Neto, 1973). Según la Agencia Nacional del Agua (ANA), América es el continente con mayor concentración de agua dulce, con cerca del 39,6%. Le sigue Asia con el 31,8%, mientras que Oceanía es el último con tan solo el 3,9%. África, con el 9,7% del agua dulce del mundo dentro de sus límites,



es uno de los continentes más afectados por la escasez de agua debido a su enorme extensión (**ANEXO 2**).

Según el Ministerio de Salud, el agua potable es “agua que cumple con los estándares de calidad y no representa un riesgo para la salud”. Esto indica que el agua es potable cuando cumple con los estándares físicos, químicos y biológicos que establecen su calidad y garantizan la seguridad del consumidor. La conexión sistemática entre los seres humanos y el medio ambiente genera un grave desafío a nivel mundial: la falta de agua de calidad. El crecimiento acelerado de la población, las actividades productivas y extractivas y los asentamientos humanos cerca de los cuerpos de agua tienen un impacto negativo significativo en la disponibilidad espaciotemporal de los recursos hídricos, deteriorando las condiciones físico-químicas y biológicas del agua (Trimer, 2004).

Los recursos hídricos superficiales del Perú ocupan el octavo lugar en el mundo y el tercero en América Latina, a pesar de la abundancia de reservas de agua del país (**Tabla 1**). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la agricultura es la actividad que más agua consume en el mundo. El sector agrícola consume más del 70% del agua total. Según el MINAM (Ministerio del Ambiente) el sector industrial es el segundo mayor usuario de agua dulce, representando aproximadamente el 22% del consumo, mientras que el abastecimiento doméstico representa aproximadamente el 8%.

Muchas comunidades, en particular las zonas densamente pobladas, sufren una importante escasez de agua potable. La contaminación, la deforestación, la erosión, la reducción de la capacidad de retención y regulación del agua y otras

variables han tenido un impacto en las reservas, ya sea de manera directa o indirecta. Según numerosas investigaciones, las regiones del país con mayores niveles de presión humana presentan cambios considerables en las variedades de flora, así como en el uso y manejo del suelo. Estos cambios alteran ciertas características del perfil del río desde su nacimiento hasta su desembocadura, lo que produce cambios importantes en las secciones medias y bajas de las cuencas fluviales en relación con sus cabeceras (Braga *et al.*, 2010).

Tabla 1

Recursos hídricos superficiales, distribución a nivel mundial

PAÍSES RICOS	Cantidad km³/año	PAÍSES POBRES	Cantidad km³/año/km²
Brasil	8,233	Bahréin	Casi nada
Rusia	4,508	Kuwait	0,02
USA	3,051	Bahamas	0,02
Canadá	2,856	Maldivas	0,03
Indonesia	2,838	Qatar	0,1
China	2,830	Malta	0,1
Colombia	2,132	Barbados	0,1
Perú	1,913	Antigua y bermudas	0,1
India	1,897	EAU	0,2

2.2.5. Intoxicación por metales

Beber agua es esencial para el funcionamiento normal del organismo, ya que favorece la hidratación, aporta nutrientes a las células y elimina desechos. Sin embargo, beber agua contaminada puede provocar diversas enfermedades, muchas de ellas mortales. Beber agua no tratada también aumenta el riesgo de intoxicación con metales como el plomo y el mercurio, que son los más nocivos



para la salud humana y ocupan el primer lugar entre los principales contaminantes ambientales, según la institución norteamericana (ATSDR, 2005).

Los síntomas varían significativamente según el caso y el metal contaminado, pero los más comunes incluyen dolor abdominal, deshidratación, diarrea, debilidad, náuseas y vómitos, y entumecimiento y hormigueo en manos y pies. El diagnóstico suele ser más complejo, pero la intoxicación se detecta mediante análisis de sangre, algunos diagnósticos específicos y medicamentos disponibles para eliminar los metales pesados del cuerpo y al mismo tiempo, reducir los síntomas (WHO, 2005).

Sin embargo, la mayoría de las veces es irreversible, como lo demuestra la historia de intoxicación por mercurio, que es una de las más letales y puede causar trastornos cerebrales catastróficos. Tras los incidentes de Minamata, Japón, en 1953, en los que 52 habitantes consumieron pescado contaminado con cloruro de metilmercurio, la situación se volvió crítica. La encefalopatía aguda provocó sordera neurológica, ataxia, temblores, inhibición motora y restricción del campo visual, entre otros síntomas. Esta dolencia recibió el nombre de "enfermedad de Minamata". No fue hasta 1959 cuando se identificó la causa del envenenamiento: la contaminación por metilmercurio procedente de las empresas químicas cercanas (EPA, 1972).

Los habitantes de Minamata consumían pescado y marisco contaminados con mercurio en cantidades que oscilaban entre 10 y 50 $\mu\text{g/g}$. Los pescadores intoxicados admitieron haber consumido pescado tres veces al día. Según la OMS (1974), la ingesta diaria estimada de mercurio en casos mortales era de 1,64 mg/persona.



Los metales pesados y otros contaminantes peligrosos han contaminado periódicamente la ecología acuática del Brasil, poniéndola en grave peligro. Para demostrar este argumento, considérense los dos ejemplos siguientes: a) la fuga continua de mercurio en la ensenada de *Tainheiros*, Bahía, en 1995, que contaminó los peces y crustáceos locales que consumía la población local (CETESB, 1983); b) el río *Botafogo*, Pernambuco, que fue contaminado por efluentes de las áreas mineras de *Igarassu*, que no sólo comprometieron las aguas y los sedimentos de ese ambiente acuático, sino que también alcanzaron el estuario y el río Santa Cruz. Esta contaminación provocó que el 54% de las especies acuáticas tuvieran niveles superiores a los considerados seguros para el consumo humano. Sin duda, las localidades más afectadas en la actualidad son aquellas en las que se realizan actividades mineras e industriales, que en su mayoría dañan los cursos de agua (CETESB, 1981).

Otro suceso de graves consecuencias ocurrió en Perú, sobre todo en la región de Puno, debido a las operaciones mineras en el que 34 personas, entre adultos y niños, fueron envenenadas tras beber agua del río Coata contaminada con mercurio y arsénico. En su momento, las investigaciones detectaron que las concentraciones de estos metales superaban los límites establecidos por la normativa nacional. La mayoría de los afectados por estos metales residen cerca de la cuenca del río Coata, que sirve como punto de entrada para los vertederos informales sin tratamiento y los efluentes mineros en Juliaca (Sucasaca, 2020).

2.2.6. Calidad del agua

La calidad del agua es una necesidad vital y universal que las instituciones gubernamentales y la sociedad en su conjunto deben abordar, en particular cuando



los manantiales, ríos, lagos y aguas subterráneas se utilizan para diversas funciones humanas. Los seres humanos para satisfacer sus demandas de consumo utilizan el agua de muchas fuentes naturales para diversos fines, entre ellos el riego, la agricultura, la ganadería, la producción industrial, la acuicultura, la generación de energía y la recreación. A medida que los ríos (aguas superficiales) pasan por zonas urbanas (personas), sus índices de calidad disminuyen debido a un aumento de los vertidos domésticos e industriales (agua no tratada), que contaminan los tramos inferiores de los ríos (Morais & Silva, 2012; Sánchez, 2018).

Debido a estas diferentes aplicaciones, se requieren criterios de calidad del agua específicos para cada tipo de actividad, por lo que los análisis físicos, químicos y biológicos estandarizados por la normativa vigente son herramientas fundamentales para evaluar la calidad del agua (Santos, 2006). Las características físicas del agua, como el color, la turbidez, el sabor, el aroma, la temperatura, los componentes flotantes, las partículas, la conductividad eléctrica, etc., se estudian con frecuencia. Aunque son mediciones físicas, proporcionan datos preliminares fundamentales para determinar el estado químico del agua (CETESB, 2002).

Las características químicas incluyen el pH, la materia orgánica, el oxígeno disuelto, el fósforo, los metales, los sulfatos, los fluoruros, los cloruros y los cianuros. Estas cualidades se utilizan con frecuencia para proporcionar información sobre la calidad del agua al evaluar el contenido orgánico, la fuerza iónica, los gases disueltos, los nutrientes y la presencia de sustancias químicas sintéticas en el agua. Los criterios biológicos más utilizados incluyen los coliformes fecales totales, los estreptococos fecales, la salmonela y los enterovirus (CETESB, 2002).



Para determinar si el agua es apta para el uso previsto, es necesario realizar análisis de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Estos estudios, que tienen en cuenta un conjunto de criterios determinados en función de los objetivos de la investigación o del uso del agua, así como de la legislación aplicable, se realizan en laboratorios especializados por expertos en la materia. Como resultado, es evidente que el análisis del agua es fundamental para proteger la salud humana y el medio ambiente, así como para cumplir con los requisitos específicos de cada aplicación. A medida que el agua se convierte en un recurso cada vez más escaso, evita enormes problemas económicos y ambientales y al mismo tiempo, crea oportunidades para que las generaciones futuras gestionen el agua de manera sostenible (Davidson *et al.*, 2014).

2.2.7. Parámetros físico químicos

2.2.7.1. Temperatura (T)

La temperatura es una característica física importante del agua porque afecta el retraso o la aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección, la mezcla, la floculación, la sedimentación y los procesos de filtración. El grado centígrado, a menudo conocido como grado Celsius (°C), es una medida basada en una escala de la intensidad del calor. La temperatura se puede controlar utilizando varios instrumentos, incluidos un termómetro y un sensor de temperatura (WHO, 2005).



2.2.7.2. Turbidez (NTU)

La turbidez es una propiedad física del agua causada por la presencia de objetos en suspensión, que incluyen materiales finamente divididos o coloidales en suspensión, así como organismos microscópicos. El tamaño de las partículas que causan turbidez varía ampliamente, desde partículas gruesas hasta coloidales, dependiendo del nivel de turbulencia en el agua corporal (CONAMA, 2008).

La presencia de estas partículas dispersa y absorbe la luz, lo que da al agua un aspecto turbio que resulta desagradable a la vista y potencialmente perjudicial, ya que puede alterar la fotosíntesis de las algas y las plantas acuáticas sumergidas. Las partículas suspendidas en la superficie pueden absorber calor adicional de la luz solar, lo que eleva la temperatura de la superficie del agua (Vandas *et al.*, 2022).

2.2.7.3. Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es una expresión numérica de la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica. Debido a que el agua pura tiene una conductividad muy baja, su medición se utiliza para determinar indirectamente la concentración de sólidos totales o minerales en el agua. Esta característica cambia según la concentración total de sustancias ionizadas disueltas en el agua, la temperatura, la movilidad de los iones, la valencia de los iones y las concentraciones reales y relativas de cada ion (Boys, 2018).

La conductividad eléctrica se puede expresar en diversas unidades, la mayoría de las cuales son múltiplos. El Sistema Internacional de



Unidades (SI) la expresa en siemens por metro (S/m). Las muestras de agua se deben medir utilizando unidades de micro siemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$) o mili siemens por centímetro (mS/cm). Para expresar las estadísticas de conductividad eléctrica en unidades del SI, utilice la relación de $1 \mu\text{S}/\text{cm} = 10^{-3} \text{ mS}/\text{cm}$ (WHO, 2018).

2.2.7.4. Potencial de hidrógeno (pH)

El potencial de iones de hidrógeno (pH) indica la acidez o alcalinidad de un medio líquido al detectar la presencia de iones de hidrógeno H^+ . El pH se mide por la concentración de iones de hidrógeno en una escala de 0 a 14, asumiendo una neutralidad de 7. Los valores inferiores a 7 indican acidez, mientras que los valores superiores indican alcalinidad (WHO, 2018).

El valor del pH regula la distribución de las formas libres e ionizadas de los distintos compuestos químicos, lo que determina la mayor o menor solubilidad de las sustancias y define el potencial de toxicidad de ciertos elementos. Los cambios de pH pueden ser causados por procesos naturales (desintegración de rocas, fotosíntesis) o por el hombre. La Organización Mundial de la Salud no ha recomendado un valor de referencia basado en el impacto del pH en la salud (OMS, 1993).

2.2.7.5. Potencial redox (Eh)

La condición biogeoquímica de las aguas y sedimentos de los ríos está frecuentemente relacionada con la transferencia de electrones entre especies químicas. Dichos procesos pueden definir circunstancias de déficit de electrones (ambiente reductor) o de transferencia de electrones



(ambiente oxidante) que pueden medirse in situ mediante mediciones del potencial redox (Eh) (WHO, 2005).

2.2.7.6. Oxígeno disuelto (OD)

Entre los gases disueltos en el agua, el oxígeno desempeña un papel fundamental en la dinámica y la caracterización de los ecosistemas acuáticos. Es necesario para la supervivencia de los organismos aeróbicos que viven en los cuerpos de agua y es fundamental para la estabilidad de los ecosistemas acuáticos (WHO, 2005).

La concentración de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua se ve afectada por la temperatura, la presión atmosférica, la salinidad, la actividad biológica, las propiedades hidráulicas y de manera indirecta, por la intervención antropogénica, como la descarga de efluentes en los cursos de agua. La solubilidad del oxígeno atmosférico en agua dulce, en saturación y a nivel del mar, varía entre 15 mg/L a 0 °C y 8 mg/L a 25 °C (WHO, 2018).

2.2.7.7. Calcio (Ca²⁺)

El calcio es un metal alcalinotérreo y uno de los cationes más comunes en las aguas subterráneas y superficiales. Se disuelve rápidamente en rocas ricas en minerales que contienen calcita y dolomita por escorrentía o precipitación. Las sales de calcio, combinadas con sales de magnesio, generan dureza del agua (WHO, 2005).

La presencia de calcio en las aguas naturales varía con la proximidad a la fuente natural, normalmente se encuentra en



concentraciones inferiores a 15 mg/L, aunque en aguas que rodean rocas carbonatadas, las concentraciones pueden variar de 30 mg/L a 100 mg/L. Las aguas residuales aumentan considerablemente las concentraciones de calcio en los cursos de agua superficiales. La lluvia ácida puede acelerar la lixiviación de iones de calcio del suelo (Pinto, 2019).

2.2.7.8. Magnesio (Mg²⁺)

Las aguas naturales contienen iones de magnesio, que se derivan principalmente de minerales de hierro y magnesio y de algunas rocas que contienen carbonato. También se puede encontrar en la clorofila, la materia orgánica y muchos compuestos organometálicos, y es necesario para la vida. Las cantidades naturales varían de 1 a 100 mg/L, según el tipo de roca. Aunque el magnesio se utiliza en procesos industriales, la contribución de las aguas residuales en magnesio a las concentraciones generales en las aguas superficiales es bastante pequeña (CETESB, 2021).

2.2.7.9. Potasio (K⁺)

El potasio está presente en bajas concentraciones en los cursos de agua naturales y las rocas que lo contienen son relativamente resistentes a los efectos del tiempo. Las sales de potasio, por otra parte, se utilizan ampliamente en fertilizantes industriales y agrícolas y llegan al agua dulce a través de vertidos industriales y lixiviación de tierras agrícolas (CETESB, 2021).

El potasio se encuentra generalmente en forma iónica y sus sales son extremadamente solubles. Este elemento está listo para ser incorporado a las estructuras minerales y acumulado por la biota acuática



porque es un componente necesario en la nutrición. Las concentraciones en los cursos de agua naturales son típicamente inferiores a 10 mg/L. Las concentraciones altas varían de 100 a 25,000 mg/L (WHO, 2018).

2.2.7.10. Sodio (Na⁺)

Las concentraciones de sodio en las aguas superficiales naturales fluctúan mucho en función de factores geológicos locales y de la descarga de efluentes. En la salmuera natural, los valores pueden variar de 1 mg/L a 10 mg/L o más. El límite de sal en el agua potable establecido por la OMS es de 200 mg/L. Muchas superficies de agua, en particular las que reciben efluentes, tienen valores muy inferiores a 50 mg/L. Sin embargo, las concentraciones en las aguas subterráneas superan con frecuencia los 50 mg/L (WHO, 2018).

2.2.7.11. Cloruro (Cl⁻)

El ion cloruro es uno de los iones inorgánicos más abundantes presentes en los fluidos residuales naturales, residuales y tratados, y su presencia es necesaria en el agua potable. El sabor salado del agua potable se debe a las concentraciones variables de cloruro. El sabor salado se puede detectar en fluidos que contienen 25 mg/L de sodio; sin embargo, puede estar ausente en aguas que contienen hasta 1 g/L de calcio y magnesio (CETESB, 2021).

El cloruro también se encuentra en las aguas subterráneas, que provienen del agua que se filtra a través del suelo y las rocas. Las concentraciones de cloruro en las aguas superficiales son causadas por las aguas residuales y los vertidos de los inodoros, ya que cada individuo



excreta aproximadamente 4 g de cloruro por día a través de la orina, lo que representa el 90 a 95% de los excrementos humanos, y el resto se expulsa a través de las heces y el sudor. Estas cantidades inducen concentraciones de cloruro en las aguas residuales que alcanzan los 15 mg/L (WHO, 2018).

2.2.7.12. Nitrato (NO_3^-)

El nitrato se encuentra en la serie del nitrógeno, junto con el amoníaco, el nitrato, el nitrito y el nitrógeno orgánico. El nitrógeno presente en los arroyos naturales proviene de diversas fuentes, entre ellas, la escorrentía de precipitaciones a través de suelos fertilizados en zonas agrícolas. El drenaje de aguas pluviales causado por fallas en el sistema de saneamiento público también es una fuente amplia y difícil de caracterizar en los entornos urbanos (CETESB, 2021).

El nitrato es la forma oxidada más estable del nitrógeno. Su contenido en el agua resulta de la descomposición de materiales orgánicos y de la fijación del nitrógeno en la atmósfera. Su elevada concentración en el agua puede ser extremadamente perjudicial para la salud, ya que puede convertirse en nitrito en el intestino de los recién nacidos, provocando intoxicaciones (CETESB, 2021). Una alta concentración de nitrato en sistemas naturales como lagos, ríos y estanques es una señal de eutrofización del agua, ya que este elemento favorece el desarrollo de las plantas acuáticas debido al exceso de nutrientes (López & Madroño, 2017).



2.2.7.13. Sulfato (SO_4^{2-})

El sulfato es uno de los iones más comunes en la naturaleza. El sulfato se crea en corrientes naturales por la desintegración del suelo y las rocas, así como por la oxidación del sulfuro. Los vertidos de aguas residuales domésticas y los efluentes industriales son las fuentes antropogénicas más comunes de sulfato en las vías fluviales superficiales, mientras que los coagulantes se utilizan en el agua tratada. Los niveles de sulfato en el agua tratada deben mantenerse bajo control porque tiene un efecto laxante cuando se consume (WHO,2018).

En el suministro industrial, el sulfato puede producir incrustaciones en calderas e intercambiadores de calor y en la red de alcantarillado, en tramos de baja pendiente donde se deposita materia orgánica, el sulfato puede convertirse en sulfuro, dando lugar a la exhalación de gas de sulfuro de hidrógeno, que es un problema debido a la corrosión en alcantarillas de hormigón, olor y es tóxico (Piveli, 2020).

2.2.7.14. Bicarbonato (HCO_3^-)

La presencia de este ion en las aguas naturales es importante, ya que ayuda a mantener el equilibrio iónico y evita la formación de propiedades corrosivas o incrustantes, en raras veces supera los 500 mg/l. Para conservar la vida acuática, las recomendaciones internacionales establecen que la alcalinidad debe mantenerse en los niveles naturales de la zona, sin cambios extremos (CETESB, 2021).

La alcalinidad es una medida de la capacidad neutralizante del agua que indica la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, así como

cantidades menores de boratos, silicatos, fosfatos y compuestos orgánicos, y se expresa como equivalentes de carbonato de calcio (CaCO_3) (WHO, 2018). En la **Tabla 2** está representado de forma resumida el impacto que produce la carencia o ausencia de algunos parámetros químicos en el cuerpo humano y el medio ambiente.

Tabla 2

Relaciones entre los parámetros químicos y sus efectos en el organismo humano y medio ambiente (WHO, 2005)

ELEMENTO	EFEECTO
Calcio	<ul style="list-style-type: none">- En el organismo es responsable de la salud de los huesos, su carencia provoca raquitismo y osteoporosis y el exceso puede causar dolor muscular, debilidad, sed, deshidratación, náuseas y cálculos renales.- Es útil para la agricultura y necesaria para el crecimiento de las plantas.
Magnesio	<ul style="list-style-type: none">- En el cuerpo humano, convierte el azúcar en energía y favorece el funcionamiento de las neuronas y los músculos. Su carencia produce malestar, temblores, su exceso provoca problemas digestivos.
Potasio	<ul style="list-style-type: none">- En el cuerpo humano, regula el ritmo cardíaco, los impulsos nerviosos y las contracciones musculares. Su carencia provoca fatiga, hipoglucemia e insomnio, su exceso provoca calambres, fatiga, parálisis muscular y diarrea.- Tiene un papel crucial en el desarrollo de las plantas y se utiliza ampliamente como fertilizante.



ELEMENTO	EFEECTO
Sodio	<ul style="list-style-type: none">- Las cantidades elevadas son peligrosas en plantas porque reducen la permeabilidad del suelo.- Cuando los niveles de sal aumentan en ciertos tipos de suelo, la estructura puede desintegrarse debido a la circulación restringida del agua, lo que afecta el crecimiento de las plantas.
Cloruro	<ul style="list-style-type: none">- Las cantidades elevadas son perjudiciales para la mayoría de las plantas y dificultan su crecimiento.
Nitrato	<ul style="list-style-type: none">- En el organismo, cantidades elevadas produce intoxicación que, en circunstancias extremas, puede provocar la muerte por cianosis.
Sulfato	<ul style="list-style-type: none">- En altas concentraciones de SO_2 tienen un impacto directo en la salud humana.- Provocan la lluvia ácida o niebla, que dañan la vegetación y las actividades agrícolas.
Bicarbonato	<ul style="list-style-type: none">- El bicarbonato, junto con el sodio, el potasio y el cloruro, sirve para mantener la carga neutra del cuerpo, o equilibrio ácido-base (pH).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN Y ALGUNOS ASPECTOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1. Área de estudio

El área de estudio se ubica en la Región Puno (**ANEXO 3**), específicamente en el río Ramis, desde su nacimiento hasta su desembocadura, ubicado en el sector norte de la vertiente del Titicaca ($14^{\circ}03'$ - $15^{\circ}24'S$ y $71^{\circ}07'$ - $69^{\circ}34'W$). Tiene una elevación máxima de 5,828 metros, que corresponde al nevado Ananea, y una elevación mínima de 3, 815 metros (PNUM, 2005).

El río Ramis es el más largo del departamento de Puno, nace cerca del Nevado de Ananea Grande y la Laguna Rinconada como río Carabaya, y cerca de la localidad de Progreso recibe aportes del río Quenamari y forma el río Azángaro, que al unirse a las aguas del río Pucará por la margen derecha recibe el nombre de “río Ramis” hasta desembocar en el lago Titicaca (Gobierno Regional Puno, 2012).

En la zona de interés también se encuentran los centros poblados como Crucero, San Antón, Azángaro, Calapuja, Achaya y Caminaca, todos ellos ubicados cerca del río Ramis, que tiene una longitud de aproximadamente 320 kilómetros desde su nacimiento hasta su desembocadura (GRP, 2012).

3.1.2. Geología del área

El sustrato geológico del sector investigado está representado por rocas



intrusivas, subvolcánicas y granitos del Paleozoico Superior (Unidades Colque y Tusini), en el sector sureste-oriental de la cuenca; rocas sedimentarias bien distribuidas en el sector central y superior de la cuenca (Grupo Puno, Formaciones Tinajani, Azángaro y Arco). En los sectores medio y occidental de la cuenca se encuentran rocas metamórficas constituidas por pizarras intercaladas con areniscas y arcillas de tipo franco-pizarras (formaciones Calapuja y Chagrapi al oeste y formaciones Ananea al este). Geomorfológicamente, predominan las planicies y piedemontes donde se diseminan suelos provenientes de ríos aluviales, glaciares y geoformas de colinas con montañas que rodean las áreas de meseta (Zavala & Guerrero, 2005).

3.1.3. Características del relieve

El relieve de la zona de estudio se caracteriza por una zona de valle, cauce pedregoso de la cuenca y una pendiente moderada que produce inundaciones en épocas de lluvias. Debido a la humedad, existe una cobertura vegetal del 80% con predominio de pastos y arbustos (Zavala & Guerrero, 2005).

3.1.4. Hidrografía

Una cuenca hidrográfica es un gran complejo en el que todas las acciones tienen un impacto directo o indirecto sobre sus cauces hídricos. El río Ramis forma parte de la cuenca del lago Titicaca y atraviesa numerosos municipios, entre ellos Ananea, Crucero, San Antón, Calapuja, Achaya, Caminaca, Azángaro y Juliaca. Esta vertiente es una fuente importante de recursos naturales, ya que actualmente aporta más de la mitad del abastecimiento de agua de estas zonas y beneficia a la ganadería de las poblaciones campesinas de Puno. La cuenca del lago Titicaca, en particular en términos de captación y salida de agua, está conformada por una serie



de ríos que desembocan en el lago Titicaca en la meseta del Collao (Puno) y está delimitada por las cordilleras occidental y oriental de los Andes del Sur. Los principales ríos que desembocan en el lago Titicaca se encuentran entre los 4,000 y 6,000 metros sobre el nivel del mar (INRENA, 2007).

3.1.5. Clima

Según el SENAMHI (2015), el clima en la región Puno se clasifica como frío y seco, y su formidable elevación del altiplano, combinada con su condición geográfica única en el mundo, da como resultado dos estaciones climáticas bien definidas y diferenciadas, con el invierno absorbiendo el otoño y las temperaturas más frías que van desde los $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta los $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ en julio. La primavera acompaña al verano con las temperaturas más altas del año, las que se presentan en noviembre con una máxima promedio de $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una mínima de $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Los meses más secos son de abril a agosto, con una precipitación media de 1 mm. Los meses con más precipitaciones son de septiembre a abril, con al menos 13 mm, mientras que enero es el más lluvioso, con un promedio de 64 mm. Es en este momento cuando el paisaje cambia de gris y marrón a verde (SENAMHI, 2015). La experiencia del frío varía drásticamente dependiendo de si uno está a la sombra o al sol, e incluso si pasa una nube y la luz solar se reducen, la nieve y el granizo son frecuentes en las grandes altitudes durante la temporada de lluvias.

3.1.6. Vegetación y fauna

La vegetación de la región varía según la altura, el clima y la topografía. Existen especies arbóreas y arbustivas, pero predomina la vegetación herbácea, formando notables pastizales. Predominan las plantas forrajeras, destacándose los grupos de gramíneas, leguminosas, ciperáceas y juncales, entre otros

(INGEMMET, 2007).

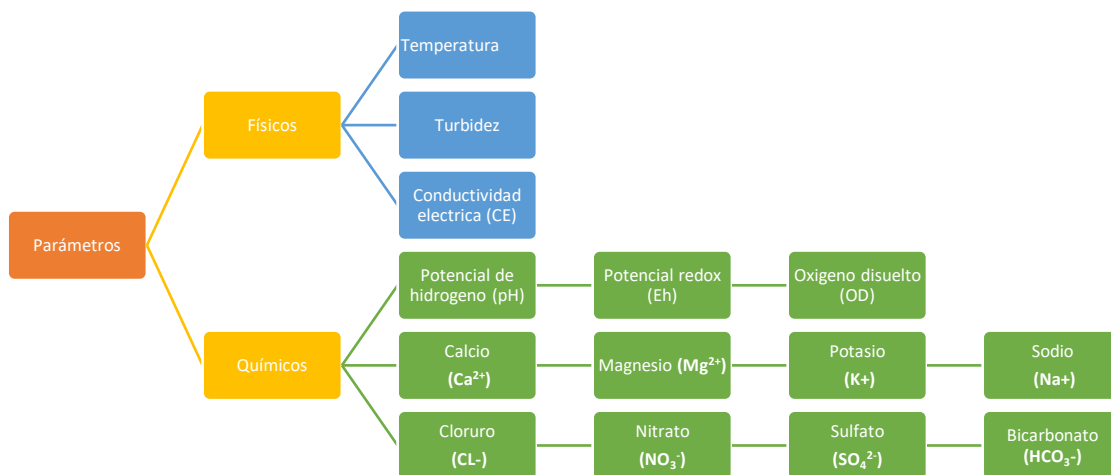
La fauna de la región está dominada por aves residentes y migratorias, con más de 60 especies, entre las que se incluyen el zampullín del Titicaca, el yanavico, el cormorán y el totorero. Entre las aves permanentes se encuentran los patos y los chochos, mientras que entre las aves migratorias se encuentran los chorlitos, los playeros y los flamencos. Entre los peces más representativos se encuentran las orestias las cuales han sido clasificadas en 40 especies. Y las especies nativas más prevalentes son el carachi y el suche (INRENA, 2015).

3.2. METODOLOGÍA

La **Figura 1**, muestra las 14 características físicas y químicas de la calidad del agua investigada en este estudio.

Figura 1

Parámetros físicos químicos analizados en este estudio (Fuente: elaborado por el autor)



3.2.1. Ámbito de investigación

Para establecer las estaciones de muestreo de las aguas del río Ramis se



realizó un recorrido preliminar por la región de estudio para realizar un relevamiento y luego designar las ubicaciones exactas (**ANEXO 4**). En este estudio se investigaron cuatro sectores en función de sus características:

- En primer lugar, fueron seleccionados debido a las anomalías antropogénicas esperadas, es decir, cerca de las fuentes de contaminación.
- En segundo lugar, fueron elegidos en función de su accesibilidad vehicular a los lugares de muestra, con el único objetivo de reducir el peligro de accidentes y aprovechar al máximo el tiempo disponible.
- Tercero, fueron elegidos también por su facilidad de acceso a las zonas de orilla, ubicaciones centrales y lugares relativamente profundas minimizando al mismo tiempo el riesgo de accidentes.

Conforme los criterios antes mencionados se utilizaron para definir los siguientes puntos: RAM-1 - cerca del nacimiento del río Ramis, conocido como Río Grande (**ANEXO 5**), RAM-2 - cerca del distrito de Crucero, conocido como Río Crucero (**ANEXO 6**), RAM-3 - cerca del distrito de Azángaro, conocido como Río Azángaro (**ANEXO 7**), y RAM-4 - cerca de la desembocadura del lago Titicaca (**ANEXO 8**). Los puntos de muestreo fueron georreferenciados utilizando GPS (*Global Positioning System*) y coordenadas UTM (**Tabla 3**).

Tabla 3

Puntos de muestreo en el río Ramis, georreferenciados con GPS

PUNTOS	COORDENADAS UTM	IDENTIFICACIÓN
RAM-1	8 382724N / 450758E	Naciente (Rinconada)
RAM-2	8 388371N / 630427E	Distrito de Crucero
RAM-3	8 352619N / 371981E	Distrito de Azángaro
RAM-4	8 309373N / 389712E	Desembocadura Lago Titicaca

3.2.2. Muestreo de agua

Las muestras de agua se obtuvieron en el río Ramis durante el invierno, sin precipitación pluvial. Las muestras RAM-1, RAM-2, RAM-3 y RAM-4 se recolectaron en áreas con fácil acceso al río (**ANEXO 5 - 8**). Se recolectó un litro de agua en recipientes de PVC que se habían lavado previamente en el laboratorio y en el sitio con agua del río, y se etiquetaron con el nombre y la fecha de la muestra. Las muestras de agua fueron recogidas directamente de la corriente del río, con la boca de la botella siempre orientada hacia el flujo de agua y el recipiente a unos 30 cm por debajo de la superficie. El recipiente fue recuperado evitando la formación de burbujas, tapado y almacenado en un cooler (a 4 °C) para asegurar la calidad de dichas muestras, para luego ser llevado al laboratorio para su posterior análisis, según indicó (Tschopel *et al.*, 1980; Agudo, 1987) (**ANEXO 9**).

3.2.3. Equipos y materiales de trabajo

- **MATERIALES DE CAMPO**
 - Cuaderno de notas
 - Lapicero



- Etiquetas
- Botellas de plástico
- Caja con hielo
- Guantes
- Ropa de campo
- GPS
- Cámara Digital
- PH metro
- Equipo DIGIMED DM-2
- Termómetro
- **MATERIALES DE LABORATORIO**
 - Vasos de precipitación
 - Bureta
 - Probeta graduada 100 - 250 ml
 - Matraz Erlenmeyer 100 - 250 ml
 - Tubos de ensayo
 - Pipeta graduada
 - Papel filtro
 - Termómetro



- Soporte universal
- Aros metálicos
- Papel indicador universal
- Pinzas
- Potenciómetro
- Frasco lavador
- Frascos goteros
- Ácido nítrico (HNO_3)
- Ácido clorhídrico (HCl)
- **MATERIAL DE ESCRITORIO**
 - Papel bond
 - Cámara fotográfica
 - Memoria USB
 - Memoria externa
 - Artículos científicos
 - Material bibliográfico
 - Resultados de análisis
 - Libros
 - Computador



- Impresora

3.2.4. Identificación, conservación y transporte de las muestras de agua

Para evitar confusiones durante la identificación de las muestras, se colocó una etiqueta correspondiente en cada recipiente luego de la recolección de las muestras de agua. Se utilizó un marcador resistente al agua para indicar claramente lo siguiente: número de muestra, origen y punto de muestreo, fecha, hora y lugar, así como el nombre de la persona a cargo del muestreo.

Las muestras recolectadas se conservaron en cajas térmicas con hielo a una temperatura de refrigeración de 4°C. Además, los recipientes se colocaron de manera ordenada para evitar daños, roturas o fugas. Toda la información recopilada durante el trabajo de campo se documentó en un cuaderno, en el que se indica: el objetivo del muestreo, la ubicación del punto de muestreo y si se encontraba cerca de una fuente de efluentes domésticos o industriales.

Para facilitar el transporte y la seguridad, se utilizaron materiales esponjosos entre los matraces para evitar vibraciones y roturas, y mantenerlos en posición vertical dentro del cooler. Las muestras de agua después de ser colectadas fueron enviados al laboratorio en el menor tiempo posible.

3.2.5. Análisis "in situ" y laboratorial

El análisis *in situ* consistió en la determinación del potencial de hidrógeno (pH), el potencial redox (Eh) y la temperatura. El pH y el Eh se determinaron utilizando un medidor de pH digital de campo DIGIMED DM-2. Cada muestra se midió colocando ciertos electrodos directamente en ella para determinar su lectura. El equipo se calibró utilizando soluciones almacenadas a pH 4,0 y 7,0. La



temperatura también se midió *in situ* utilizando un termómetro de mercurio con una escala que oscilaba entre 10 ° C y 60 ° C. El termómetro se insertó en la muestra de agua y se hizo la lectura después de un minuto (**ANEXO 10**).

Todos los procedimientos analíticos de laboratorio se llevaron a cabo en el Laboratorio de Geoquímica LABOGEO; Laboratorio de Isótopos e Hidroquímica LABIDRO del Instituto de Geociencias y Ciencias Exactas (IGCE) de la UNESP - Campus Rio Claro/São Paulo - Brasil. El análisis químico de las muestras de agua en el laboratorio utilizó aproximadamente 1 litro de agua de cada estación de muestreo del río Ramis. Se midieron la turbidez, el oxígeno disuelto (OD), los cationes (calcio Ca^{2+} , sodio Na^{+} , magnesio Mg^{2+} , potasio K^{+}) y los aniones (cloruro Cl^{-} , nitrato NO_3^{-} , sulfato SO_4^{2-} , bicarbonato HCO_3^{-}) en las muestras de agua.

La turbidez (expresada en unidades de turbidez, NTU) se midió utilizando un turbidímetro portátil, modelo TD-300, el cual fue calibrado con soluciones de 0 y 100 NTU. El oxígeno disuelto (OD) en mg/L se determinó por el método del potenciómetro utilizando una sonda de electrodo con una membrana que absorbe preferentemente el oxígeno en función del haz de difusión molecular. El equipo se calibró utilizando una solución de sulfito de sodio para OD cero. Para calibrar el valor de saturación, el agua necesitaba ser aireada y enfriada.

Para determinar el carbonato de calcio, una muestra de 150 ml se trató con 2 ml de amoníaco con un pH de 12, seguido de 1 ml de trietanolamina y una dispersión sólida de murexida en cada matraz. Luego se tituló con solución de EDTA hasta que cambió de color (rojo-lila medio). El magnesio se midió utilizando el método de solución alcalina y ácida, con Ca y Mg como CaCO_3 en



un rango de 0 a $4 \pm 0,9$ mg/L, siguiendo el método 8237. Luego, las muestras se midieron con el espectrofotómetro HACH 2000 (Hach, 1992).

Para determinar el sodio y el potasio, se prepararon soluciones concentradas de K^+ y Na^+ utilizando estándares principales como KNO_3 y $NaNO_3$, respectivamente, y luego se acondicionaron durante la noche a $105^\circ C$. Las soluciones se generaron midiendo la masa de la sal en relación con las concentraciones determinadas en función del volumen de solución: 0,10 mol/L de K^+ y 0,10 mol/L de Na^+ . La solución estándar concentrada de Ca^{2+} se generó con sal de $CaSO_4$ y luego se estandarizó por titulación volumétrica con una solución de EDTA 0,1 mol/L. El volumen de la solución de calcio y magnesio se aumentó con el indicador negro Eriocromo T, que se utiliza comúnmente para titular Na^{2+} y Mg^+ en 4 ml de solución de NaOH y KOH para lograr un pH de 12. La concentración de la solución concentrada de calcio y magnesio se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica (AAE).

El nitrato se midió mediante el método de reducción de cadmio en concentraciones que oscilaron entre 0 y $30 \pm 0,8$ mg/litro. El método turbidimétrico de sulfato de bario se utilizó para determinar los niveles de sulfato en un rango de 0 a $70 \pm 0,9$ mg/l. Después de los ataques químicos, se cuantificaron con el espectrofotómetro HACH 2000 (Hach, 1992) utilizando los procedimientos 8051, 8048, 8153, 8171, 8507 y 8113, respectivamente.

Para determinar los niveles de cloruro y bicarbonato, se utilizó el método del ácido ascórbico (0 a $3 \pm 0,01$ mg/L) y el método del sulfato ferroso (0 a $150 \pm 0,8$ mg/L) inmediatamente después de la cuantificación mediante el espectrofotómetro tipo Hach, modelo DR2000 (Hach, 1992), siguiendo los



métodos 8051, 8048, 8153, 8171, 8507 y 8113. Como se indicó anteriormente, información adicional sobre el enfoque analítico del espectrofotómetro, modelo HACH 2000, se puede encontrar en Hach (1992) (**ANEXO 11**), que se derivó del manual de laboratorio.

3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados también se evaluaron estadísticamente para determinar si existían variaciones significativas entre los puntos de muestreo analizados, con especial atención al primer y último local de muestreo (RAM-1 y RAM-4). Los datos estadísticos descriptivos básicos, que incluyen media, mediana, desviación estándar, máximo y mínimo, se obtuvieron utilizando el software Microsoft Office Excel* 2019 y están detallados en los **ANEXOS 12 y 13**.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL

La calidad del agua del río Ramis se evaluó comparando los parámetros físico-químicos con las Normas Peruanas de Calidad Ambiental-ECA, establecidas por el MINAM (2017). Estas normas establecen valores máximos para elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos o biológicos en el ambiente. Luego, se comparó con la legislación brasileña, como la Resolución CONAMA 357/2005 de Brasil (**ANEXO 14**).

Luego de obtener todos los datos se realizaron las consideraciones, analizando cada parámetro por separado, y luego se realizaron asociaciones entre la influencia de cada parámetro que se encontraba fuera de lo establecido por la legislación. En las **Tablas 4 y 5** se resume la categorización de cada forma de agua según el ECA y la CONAMA para clasificar el tipo o clase de agua en la que se encuentran las aguas del río Ramis.

Tabla 4

Resumen de los Estándares de Calidad Ambiental-ECA de las aguas, normas establecidas por la legislación peruana del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017)

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	AGUA DESTINADA A
I: POBLACIONAL Y RECREACIONAL	A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.	A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.
		A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.
		A3: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.
	B: Aguas superficiales destinadas para recreación.	B1: Contacto primario.
B2: Contacto secundario.		
II: EXTRACCIÓN, CULTIVO Y OTRAS ACTIVIDADES MARINO COSTERAS Y CONTINENTALES		C1: Extracción y cultivo de moluscos equinodermos y tunicados en aguas marino costeras.
		C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras.
		C3: Actividades marino portuarias, Industriales o de saneamiento en aguas marino costeras.
		C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas.

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	AGUA DESTINADA A
III: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDA DE ANIMALES	D1: Riego de vegetales	- Agua para riego no restringido. - Agua para riego restringido.
	D2: Bebida de animales	- Animales mayores (vacunos, equinos y camélidos). - Animales menores (porcinos, ovinos, caprinos, cuyes, aves y conejos).
IV: CONSERVACIÓN DE AMBIENTE ACUÁTICO	E1: Lagunas y lagos	
	E2: Ríos	- Ríos de la costa y sierra. - Ríos de la selva.
	E3: Ecosistemas costeros y marinos	- Estuarios. - Marinos.

Tabla 5

Resumen de la clasificación de las aguas según el CONAMA, normas establecidas por la legislación brasilera del Ministerio de Salud (BRASIL, 2005)

CLASE	SUBCLASE	AGUA DESTINADA PARA
AGUAS DULCES	Especial	- Suministro para consumo humano con desinfección. - Preservación natural de las comunidades acuáticas. - Preservación de los medios acuáticos en protección.
	I	- Consumo humano, previo tratamiento simplificado. - Protección de las comunidades acuáticas. - Riego de verduras y frutas que se consumen crudas. - Protección de las comunidades acuáticas en tierras indígenas. - Recreación de contacto primario, como natación, esquí acuático y buceo.



CLASE	SUBCLASE	AGUA DESTINADA PARA
AGUAS DULCES	II	<ul style="list-style-type: none">- Suministro para consumo humano, previo tratamiento convencional.- Protección de las comunidades acuáticas y pesqueras.- Riego de hortalizas, plantas frutales, parques, jardines.- Recreación de contacto primario.
	III	<ul style="list-style-type: none">- Suministro para consumo humano, previo tratamiento convencional o avanzado.- Pesca amateur, recreación y abrevadero de animales.- Riego de cultivos arbóreos, cereales y forrajes.
	IV	<ul style="list-style-type: none">- Navegación y armonía paisajística.
	Especial	<ul style="list-style-type: none">- Preservación de los ambientes acuáticos- Preservación del equilibrio natural acuático.
AGUAS SALINAS	I	<ul style="list-style-type: none">- Recreación de contacto primario.- Protección de las comunidades acuáticas.- Acuicultura y actividades de pesca.
	II	<ul style="list-style-type: none">- Pesca amateur.- Recreación de contacto secundario.
	III	<ul style="list-style-type: none">- Navegación y armonía paisajística.
	Especial	<ul style="list-style-type: none">- Preservación de los ambientes acuáticos.- Preservación del equilibrio natural acuático.
AGUA S SALOBRES	I	<ul style="list-style-type: none">- Recreación de contacto primario.- Protección de comunidades acuáticas.- Acuicultura y actividades de pesca.- Abastecimiento para consumo humano previo tratamiento convencional o avanzado.- Irrigación de hortalizas que son consumidas crudas.
	II	<ul style="list-style-type: none">- Pesca amateur.- Recreación de contacto secundario.
	III	<ul style="list-style-type: none">- Navegación y armonía paisajística.
	Especial	<ul style="list-style-type: none">- Preservación de los ambientes acuáticos.- Preservación del equilibrio natural acuático.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PARÁMETROS FÍSICOS

En la **Tabla 6** se muestran los resultados del estudio de parámetros físicos en las cuatro estaciones de muestreo a lo largo del río Ramis (RAM-1, RAM-2, RAM-3 y RAM-4).

Tabla 6

Resultados de los parámetros físicos del agua en los puntos de muestreo RAM-1 RAM-2, RAM-3 y RAM-4 del río Ramis, Región Puno

PARÁMETROS FÍSICOS	UNIDAD	PUNTOS DE MUESTREO			
		RAM-1	RAM-2	RAM-3	RAM-4
Temperatura	°C	5,1	8,2	8,7	10,5
Turbidez	UNT*	126,2	49,8	27,3	12,4
Conductividad Eléctrica	mS/cm	35,0	31,6	35,5	26,0

UNT* - Unidades nefelométricas de turbiedad.

4.1.1. Temperatura (T)

En la **Tabla 6** y **ANEXO 15**, están registrados las temperaturas con una variación esperada en cada punto de muestreo para el clima de la región especialmente en los meses de invierno. La temperatura más baja fue observada en el punto RAM-1 (Ananea-naciente del río) y más alta fue observada en el punto RAM-4 (próximo a la desembocadura del Lago Titicaca).

Según Derísio (1992) identificó la temperatura como una característica física fundamental del agua, que afecta las reacciones químicas, los procesos



biológicos y la bioquímica ambiental. La velocidad de transferencia de gases es inversamente proporcional a la solubilidad de los gases; por lo tanto, cuanto más alta sea la temperatura del agua, menor será su capacidad para retener gases. Las temperaturas más altas aceleran los procesos químicos y biológicos (Atkins & Jones, 2005). Pocas plantas y animales acuáticos pueden soportar grandes variaciones de temperatura; la mayoría son sensibles a la temperatura (Vasconcelos *et al.*, 2019). Además, los cambios en este parámetro tienen la capacidad de retener algunos compuestos peligrosos, como metales pesados, en los sedimentos o liberarlos al agua, así como afectar la solubilidad del oxígeno y el dióxido de carbono en el agua (Di Toro, 2010).

Estudios realizados en el punto RAM-1 (Ananea, Rinconada - nacimiento del río Ramis), fueron encontrados temperaturas casi similares a este estudio con valores de 5,9 °C y temperaturas más altas de 13° C fue encontrado por Mamani (2018) en la zona de Ananea. Seguidamente en el punto RAM-2 (próximo al distrito de Crucero) considerado también río Crucero, trabajos como de Quecaño (2018), registraron temperaturas de 6,1°C. En el punto RAM-3 (próximo al distrito de Azángaro), fueron registradas temperaturas superiores a los encontrados en este estudio de 18°C (Martínez, 2017). Ya en el punto RAM-4 (próximo a la desembocadura del Lago Titicaca), temperaturas de 19°C considerados superiores a los encontrados en este estudio fue registrados por Olivares (2018). Por su parte, López (2015) realizó la caracterización de las aguas para consumo humano, en el cual encontró valores de temperaturas como 6,1°C, 13 °C y 18°C que corresponden al río Crucero, río Azángaro y en la zona de desagüe al lago, respectivamente. Estas variaciones de temperatura registradas por cada autor, posiblemente se deba a las diferentes estaciones del año donde varían las temperaturas.



4.1.2. Turbidez (NTU)

En la **Tabla 6** y **ANEXO 16**, se muestra los valores de la turbidez. Estos valores varían de acuerdo a cada punto de muestreo, un valor máximo fue observado en el punto RAM-1, mientras el valor mínimo fue observado en el punto RAM-4. Los resultados de los puntos RAM-2, RAM-3 y RAM-4 se mostraron por debajo de los límites permisibles establecidos por la ECA y CONAMA a diferencia del punto RAM-1 que se mostró fuera de los LMP (**ANEXO 14**).

La turbidez, como lo describe Sperling (1996), es el grado de interferencia de la luz que se produce cuando la luz pasa a través de un líquido. Según Santos (1997), esta interferencia es inducida por sólidos suspendidos como detritos orgánicos, arcilla, limo, microorganismos, partículas microscópicas y otros materiales de grano fino. La principal fuente natural de turbidez en el agua es la presencia de partículas de roca en las fracciones de limo y arcilla liberadas en el agua. Además, Esperpento (1996) cita los vertederos sanitarios, industriales, mineros y de erosión como los principales contribuyentes a la turbidez del agua provocada por el hombre. La precipitación también tiene un impacto en la turbidez del agua porque aumenta la cantidad de material liberado en los ríos a través de la erosión y el movimiento de partículas que causan turbidez. Esto se debe a que el aumento de los niveles de los ríos y los arroyos transporta más sedimentos a los ríos.

La colecta de muestras de agua se realizó en el mes de junio 2023, periodo de ausencia de precipitaciones pluviales en la región y como ya fue citado anteriormente, durante el periodo de lluvias hay mayor material en suspensión lo



que contribuye al aumento de la turbidez. Este aumento de partículas en suspensión en el punto RAM-1 (sector de Ananea) se deba posiblemente por procesos de actividades mineros (relaves químicos), remoción de tierra y por vertimientos del tipo doméstico por parte de la población local del área en gran cantidad. Estudios como de Paz (2010), demuestran que aguas muy turbias afectan directamente a los organismos vivos dificultando su alimentación y reproducción como también impidiendo la entrada de luz solar en el agua disminuyendo la fotosíntesis.

Estudios realizados en el punto RAM-1 (Ananea, Rinconada - nacimiento del río Ramis), mostraron valores de turbidez bien superiores encontrados en esta zona (140,3 UNT) y que superaron los LMP, registrado por Ccancapa (2015). En el punto RAM-2 (próximo al distrito de Crucero), estudios desenvueltos por López (2015) registró valores de turbidez bien similares a este estudio de (50 UNT). Seguidamente, en el punto RAM-3 (próximo al distrito de Azángaro), fueron registradas valores de turbidez de 150 UNT (Condori, 2015), casi 3 veces el valor encontrado en este estudio. Ya en el punto RAM-4 (próximo a la desembocadura del Lago Titicaca), estudios desenvueltos por Chata (2015), mostró valores de turbidez de (100 UNT) que son prácticamente 9 veces superiores a los encontrados en el punto RAM-4 de este estudio.

4.1.3. Conductividad eléctrica (CE)

En la **Tabla 6** y **ANEXO 17**, se muestran los valores de la conductividad eléctrica en los 4 puntos de muestreo de las aguas del río Ramis. Un valor máximo fue observado en el punto RAM-3 y un valor mínimo fue observado en punto



RAM-4, estos valores estuvieron por debajo de los 160 mS/cm, valor indicado como máximo permisible por la normativa peruana (ECA) (**ANEXO 14**).

La conductividad eléctrica (CE) del agua se refiere a su capacidad para conducir electricidad. La temperatura y las partículas disueltas están directamente relacionadas con un aumento de la conductividad eléctrica (Custodio & Lhamas, 1983). La mala conductividad eléctrica del agua la convierte en un aislante eléctrico eficaz cuando está limpia, según CETESB (1993). Las aguas naturales, por otro lado, contienen una gran cantidad de minerales que se han dividido en cationes y aniones, lo que las hace conductoras. Como resultado, cuando aumenta la concentración de iones disociados en el agua, también aumenta su conductividad. La conductividad eléctrica permite distinguir claramente tres tipos de agua: salada (conductividad alta), salobre (conductividad media) y dulce (conductividad baja). Su cuantificación permite una rápida evaluación de los sólidos disueltos totales en el agua (Bernardo, 2008).

Estudios realizados en el punto RAM-1 (Ananea, Rinconada - naciente del río Ramis), mostraron valores más altos de conductividad eléctrica que van de (194 mS/cm - 324 mS/cm) desarrollado por (Mamani, 2018). A su vez, Pari (2017), determino en Ananea valores de CE (22,6 mS/cm - 724 mS/cm). En el punto RAM-2 (próximo al distrito de Crucero), estudios desarrollados por López (2015) registró valores de CE de 100 mS/cm considerados superiores a los encontrados en este punto, por otra parte, Quecaño (2018), también registro valores similares de CE de (21,8 mS/cm - 26,0 mS/cm) que muestran también estar dentro de los LMP. Posteriormente, en el punto RAM-3 (próximo al distrito de Azángaro), fueron registradas valores de CE (21,0 mS/cm) y (47,16 mS/cm) registrados por Martínez (2017) y Contreras (2020), respectivamente. Estos

valores estuvieron próximos a los encontrados en este punto de estudio. Ya en el punto RAM-4 (próximo a la desembocadura del Lago Titicaca), López (2015) encontró valores de CE 65,0 mS/cm, prácticamente duplicando al valor encontrado en este punto y al mismo tiempo encontrándose dentro de los LMP.

4.2. PARÁMETROS QUÍMICOS

En la **Tabla 7** se muestran los resultados del estudio de los parámetros químicos en las cuatro estaciones de muestreo a lo largo del río Ramis (RAM-1, RAM-2, RAM-3 y RAM-4).

Tabla 7

Resultados de los parámetros químicos del agua en los puntos de muestreo RAM-1 RAM-2, RAM-3 y RAM-4 del río Ramis, Región Puno

PARÁMETROS QUÍMICOS	UNIDAD	PUNTOS DE MUESTREO			
		RAM-1	RAM-2	RAM-3	RAM-4
Potencial de Hidrógeno	-	6,5	6,9	9,7	8,4
Potencial Redox	mV	343,0	161,0	186,0	240,0
Oxígeno Disuelto	mg/L	0,9	1,7	2,8	3,5
Calcio	mg/L	96,0	93,0	82,0	92,0
Magnesio	mg/L	32,0	28,0	27,0	18,0
Potasio	mg/L	6,8	8,3	5,1	3,6
Sodio	mg/L	42,3	39,5	24,7	53,9
Cloruro	mg/L	7,0	6,8	6,0	13,0
Nitrato	mg/L	115,0	121,0	130,0	112,0
Sulfato	mg/L	710,0	437,0	53,0	180,0
Bicarbonato	mg/L	0,5	0,2	0,6	1,2



4.2.1. Potencial de hidrógeno (pH)

Los valores del pH para los 4 puntos de muestreo del río Ramis están presentados en la **Tabla 7** y **ANEXO 18**. En los puntos RAM-1 y RAM-2 las aguas de río Ramis se clasifican como ligeramente ácidas, y los puntos de muestreo RAM-3 y RAM-4 poseen, respectivamente, los valores más altos de pH, tornándose levemente alcalinos. Las medidas de pH obtenidas en los puntos RAM-1 RAM-2 y RAM-4 estuvieron por debajo de los límites permisibles establecidos por la normativa peruana ECA y brasilera CONAMA. Solamente el pH del punto RAM-3 estuvo fuera de los LMP (**ANEXO 14**).

Observamos que el pH de los 4 puntos de muestreo se encontró alejado de la neutralidad que es 7 valor por el cual es accesible para el consumo humano. La acidez de las aguas de los puntos RAM-1 y RAM-2 puede estar relacionada con los vertimientos de aguas residuales de las minas, como también por la degradación de la materia orgánica, cuya ocurrencia es normal y a veces abundante en este tipo de ambientes acuáticos (Ponnamperuma, 1972).

Deriso (1992), define el pH como el equilibrio entre los iones H^+ y OH^- . Esta cifra en moles/L representa la concentración de iones H^+ en una escala logarítmica, indicando si el agua es neutra, alcalina o ácida. El agua se caracteriza como ácida si su pH es menor de 7, alcalina si es mayor de 7 y neutra si es igual a 7 (Sperling, 1996).

El pH es influenciado por la cantidad de materia muerta en descomposición siendo que cuanto mayor sea la cantidad de materia orgánica disponible, menor será el pH, ya que, para existir descomposición de ese material, muchos ácidos son producidos (Esteves, 1998). En campo, durante el muestreo



fue posible observar que no había casi nada de materia orgánica existente en el agua de los puntos RAM-1 y RAM-2, eso indica que uno de los motivos para que el valor del pH en estos puntos sea próximo a la neutralidad, sea por la ausencia de MO a ser descompuesta.

El pH también puede afectar la solubilidad de los nutrientes y contribuir indirectamente a la precipitación de sustancias peligrosas como los metales pesados. Los metales se vuelven más solubles y venenosos en el agua cuando el pH es < 5 , mientras que la precipitación ocurre a niveles de pH más altos (Wilson, 1995).

Según Esteves (1998), el pH es una de las variables ambientales más significativas, pero también una de las más difíciles de interpretar debido a los numerosos factores que pueden influir en él. El pH de las aguas naturales está influenciado por la concentración de iones H^+ procedentes de la ionización del ácido carbónico (valores de pH bajos debido al aumento de la concentración de hidrógeno) y las reacciones de los iones carbonato y bicarbonato con el agua (valores de pH altos debido al aumento de la concentración de hidroxiniónicos).

Otros estudios relacionados al potencial de hidrógeno desenvueltos en el punto RAM-1 (Ananea, Rinconada - naciente del río Ramis), mostraron valores de 3,4 en las aguas superficiales (Mamani, 2018) y valores de 3,20 - 3,45 registrados por Ccancapa (2015), considerándolas aguas cada vez más ácidas. En la misma zona de Ananea, por su parte Ayamani (2017), encontró valores de pH de 4,9 - 8,4. En el punto RAM-2 (próximo al distrito de Crucero), estudios desenvueltos por López (2015) que registró valores de pH (3,80) en las aguas, como también fue encontrado en la misma zona valores de pH (8,7 - 9,8)



registrados por Quecano (2018). Paralelamente, en el punto RAM-3 (próximo al distrito de Azángaro), fueron registradas valores de pH para el consumo humano que se mostraron próximos a la neutralidad que fueron registrados por Pacco (2013) y Martínez (2017). Finalmente, para el punto RAM-4 (próximo a la desembocadura del Lago Titicaca), estudios sobre la caracterización del agua para el consumo humano fueron registrados por Manrique (2019), valores de pH en torno a 8,3 consideradas levemente alcalinas y muy similares a los encontrados en este punto de estudio.

4.2.2. Potencial redox (Eh)

El potencial redox de las aguas del río Ramis muestra un comportamiento más oxidante en los 4 puntos de muestreo (Tabla 7 y **ANEXO 19**). En ambientes acuáticos el Eh puede afectar directamente la movilidad de los metales pesados en la columna de agua al alterar el estado de oxidación del metal, o indirectamente al alterar el estado de oxidación de los iones que forman conexiones con ellos (Clark et al., 1998). En condiciones anaeróbicas, con un pH cercano a la neutralidad y valores de Eh inferiores a -120 mV, el sulfato (SO_4^{2-}) puede reducirse a sulfuro (S^2), que puede reaccionar para formar sulfuros metálicos que precipitan en la columna de sedimento, evitando la biodisponibilidad de metales contaminantes en el medio acuático (Di Toro, 2010).

Estudios relacionados con el potencial redox en aguas realizados en el punto RAM-1 (Ananea, Rinconada - nacimiento del río Ramis), fueron encontrados valores de ambientes más oxidantes como de (245 mV - 214,9 mV) en aguas intersticiales próximos a las zonas urbanas (Mamani, 2018). En el punto RAM-2 (próximo al distrito de Crucero), Apaza (2013) realizó una caracterización de las



aguas superficiales mostrando valores de Eh (185 mV - 274 mV). En los puntos RAM-3 y RAM-4 no se encontraron registros actuales relacionas al potencial redox.

4.2.3. Oxígeno disuelto (OD)

En la **Tabla 7** y **ANEXO 20**, se muestran los valores del OD en los 4 puntos de muestreo del rio Ramis. Fue observado un valor máximo en el punto RAM-4, como también fue observado un valor mínimo en el punto RAM-1. Los valores obtenidos para el OD están fuera de los límites máximos permisibles de las normas de calidad del agua ECA y CONAMA, que instan que el oxígeno disuelto en el agua para el consumo humano y conservación de la vida acuática debe estar en una concentración igual o superior a 4 mg/L en agua dulce (**ANEXO 14**).

Se esperaba que los valores del oxígeno disuelto del río Ramis fueran mucho más bajos debido a la contaminación de minas, desechos domésticos y sustancias biodegradables en las alcantarillas domésticas que recorren largas distancias, afectando todo el sistema acuático, como mencionó Pereira *et al.* (2012). Este es uno de los factores más importantes que se utilizan para describir la escala de un entorno acuático. Se entiende comúnmente que varios factores ambientales, como la temperatura, la presión y la salinidad, pueden influir en la rapidez con la que los gases se disuelven en el agua. Las variaciones en las concentraciones de oxígeno disuelto están asociadas con la actividad física, química y biológica que ocurre en los ríos (Santos, 1997).

El Oxígeno disuelto evalúa la cantidad de oxígeno necesaria para el desarrollo normal de peces, invertebrados y algas en cuerpos de agua como ríos,

lagos y estanques. La gran mayoría de las plantas acuáticas requieren oxígeno para sobrevivir. Según las investigaciones, cuando la concentración de OD es inferior a 2,0 mg/L, la supervivencia de los peces es difícil y una baja cantidad de oxígeno en el agua indica contaminación ambiental (Vasconcelos *et al.*, 2009).

Estudios relacionados al oxígeno disuelto desenvueltos en el punto RAM-1 (Ananea, Rinconada - naciente del río Ramis), indican que fueron registrados concentraciones de 1,5 mg/L (Ayamamani, 2019), casi doblando a la concentración encontrada en este punto. Seguidamente, en el punto RAM-2 (próximo al distrito de Crucero), López (2015), encontró valores de OD (2,5 mg/L). Continuando con el punto RAM-3 (próximo al distrito de Azángaro), fueron registradas valores de OD (4,1 mg/L) (Martínez, 2017), que fueron superiores a los de este estudio. Ya para el punto RAM-4 (próximo a la desembocadura del Lago Titicaca), Chura (2017), registró concentraciones de OD de 4,5 mg/L, el autor menciona que los resultados estuvieron dentro de los LMP en los periodos 2017-2018.

4.2.4. Calcio (Ca^{2+})

Para el calcio los valores encontrados en los 4 puntos de muestreo están presentados en la **Tabla 7** y **ANEXO 21**. El valor máximo para calcio fue observado en el punto RAM-1 y un valor mínimo fue observado en el punto de muestreo RAM-3. Se observa que las normas tanto peruana como brasilera: ECA y CONAMA respectivamente no establecen un valor máximo permisible para el calcio para las aguas de río (**ANEXO 14**). Según Nery (2009), los niveles de calcio en los fluidos meteóricos varían entre 0,1 mg/L y 10 mg/L, mientras que en las aguas del océano Atlántico rondan los 480 mg/L. Los iones de calcio se



encuentran entre los iones más comunes en los cursos de agua naturales.

La solubilidad de las sales de calcio varía de baja a alta y, por lo general, precipitan como carbonato de calcio (CaCO_3), que es lo que le da dureza al agua. Según Santos (1997), el bicarbonato de calcio es más frecuente que el carbonato, que es menos común. Los principales beneficios del calcio para la agricultura incluyen el desarrollo de las plantas, y su abundancia en el agua de riego ayuda a mitigar los riesgos asociados con las altas concentraciones de sodio en el suelo (Santos, 1997; CETESB, 2006).

No se identificaron datos de concentración de calcio en las aguas del área de investigación. Sin embargo, se han realizado estudios en otras zonas de la región Puno, como en los manantiales del área Jiscullaya del Collao-Puno, desarrollado por Contreras (2021), donde se registraron concentraciones de calcio de (16,9 mg/L), las cuales son inferiores a las encontradas en los puntos de muestreo de este estudio.

4.2.5. Magnesio (Mg^{2+})

En la **Tabla 7** y **ANEXO 22**, están presentados las concentraciones de magnesio en los 4 puntos de muestreo del río Ramis. El magnesio presentó pequeñas diferencias de concentración en los primeros tres puntos de muestreo, con una concentración máxima en el punto RAM-1 (Ananea), mientras que la concentración mínima fue observada en el punto RAM-4 (desembocadura del Lago Titicaca). Las concentraciones de magnesio obtenidos en los 4 puntos de muestreo estuvieron por encima de los 0,5 mg/L, valores indicados como máximos permisibles por la normativa peruana ECA para el consumo humano (**ANEXO 14**). Según Santos (1997) y CETESB (2006), la presencia de magnesio



en aguas meteóricas oscila entre 0,4 y 1,6 mg/L y en las aguas del Océano Atlántico presentan un valor promedio de 1,410 mg/L.

Aunque las propiedades del ion magnesio y del calcio son similares, la precipitación del magnesio es más complicada debido a su mayor solubilidad. El magnesio se puede encontrar en rocas ígneas y metamórficas en los minerales olivino, piroxeno, hornblenda y biotita; en rocas sedimentarias, especialmente rocas carbonatadas como las dolomitas, estos minerales son las principales fuentes de magnesio.

En el punto de muestreo RAM-1, donde se ubica el distrito minero Ananea, Rinconada las concentraciones de calcio y magnesio son las más altas como era de esperarse ya que en este punto predominan las rocas carbonaticos que son ricos en calcio y magnesio. El segundo punto de muestreo RAM-2 presenta el segundo en concentración de calcio y magnesio, posiblemente por sufrir la influencia de las aguas ricas trasportadas del punto RAM-1. En los puntos RAM-3 y RAM-4 el calcio y magnesio presentan concentraciones semejantes, evidenciando también que son afloramientos de la cabecera del rio (Costa *et al.*, 2002).

Según Costa *et al.* (2002), los factores ambientales como el pH y la temperatura cambian en el medio acuático, provocando que los solutos precipiten. Además, algunos cationes pueden ser absorbidos por los minerales arcillosos, que luego son removidos o eliminados del medio acuático a través del proceso de sedimentación.

Otros estudios relacionados con la concentración de magnesio en aguas superficiales desenvueltos en otras zonas de la región Puno como, por ejemplo, en los manantiales de la Parcialidad de Jiscullaya del Collao-Puno, desenvuelto por



Contreras (2021), donde se registra concentraciones de Mg de 2,95 mg/L, que son inferiores a los encontrados en los puntos de muestreo de este estudio.

4.2.6. Potasio (K^+)

Las concentraciones de potasio en los 4 puntos de muestreo están presentadas en la **Tabla 7 y ANEXO 23**. Las concentraciones de potasio en las aguas también tuvieron variaciones, con concentraciones máximas observados en el punto RAM-2 y concentraciones mínimas observados en el punto RAM-4 en comparación a los demás puntos de muestreo. Se observa que las normas tanto peruana como brasilera: ECA y CONAMA respectivamente no establecen un valor máximo permisible para el potasio en las aguas de río (**ANEXO 14**).

El potasio se encuentra en las aguas naturales en cantidades menores que el sodio debido a su importante participación en los procesos de intercambio iónico y a su fácil absorción por las partículas de arcilla. Según Greenberg (1992) y Santos (1997) el potasio es uno de los nutrientes más importantes para las plantas y, cuando se combina con el sodio y el fósforo, genera sales que las plantas utilizan con frecuencia. El origen del potasio en las aguas de los puntos de estudio del río Ramis se remonta a la erosión de los feldespatos potásicos y otros minerales que se encuentran en las rocas del río. La gran resistencia del potasio a la meteorización y su rápida absorción por las plantas explican su baja concentración en todos los sitios.

Por otra parte, las sales de potasio se emplean ampliamente en fertilizantes industriales y agrícolas, y llegan al agua dulce a través de vertidos industriales y lixiviación de tierras agrícolas. El potasio suele estar presente en forma iónica y sus sales son extremadamente solubles (CETESB, 2004). La concentración típica



en aguas subterráneas es inferior a 10 mg/L, siendo más comunes las cantidades entre 1 y 5 mg/L (Pedro & Caetano, 2002).

Estudios relacionados con la concentración de potasio en aguas superficiales no fueron encontrados registros actualizados en la región. Sin embargo, De Souza (2018) evaluó el origen de los principales cationes y aniones en el río Verde (Brasil), encontrando concentraciones de 1,50 mg/L - 2,60mg/L, que se mostraron bien inferiores a los encontrados en los puntos de muestreo de este estudio, mismo, siendo un río Paranaense altamente contaminado por los desalojos domésticos e industriales.

4.2.7. Sodio (Na^+)

Las concentraciones de sodio en los 4 puntos de muestreo se encuentran en la **Tabla 7** y **ANEXO 24**. La variación en la concentración del sodio fue dominante en todos los puntos de muestreo, con un valor máximo observado en el punto RAM-4 y un valor mínimo fue observado en el punto RAM-3. Se observa que las normas tanto peruana como brasilera: ECA y CONAMA respectivamente no establecen un valor máximo permisible para el sodio para las aguas de río (**ANEXO 14**), sin embargo, Greenberg (1992) descubrió concentraciones de sodio en corrientes naturales de agua dulce que oscilaban entre 1 mg/L y 150 mg/L. El límite superior de sodio en el agua potable establecido por la OMS es de 200 mg/L. Sin embargo, muchas superficies de agua, incluidas las que reciben aguas residuales, tienen valores muy inferiores a 50 mg/l.

El sodio es uno de los elementos más comunes en los ríos, ya que predomina en la corteza terrestre y, por lo tanto, es uno de los minerales fuente. Según Santos (1997), la alta solubilidad del sodio y la problemática precipitación



de la mayoría de sus compuestos químicos en solución se deben generalmente a la baja estabilidad química de los minerales. Según Custódio & Lhamas (1976), menciono que el sodio suele estar asociado al ion cloruro.

El sodio se encuentra presente en todas las aguas naturales, pero su concentración varía mucho según las características geológicas de la zona y la descarga de efluentes. La presencia de sodio en aguas dulces naturales se debe principalmente a la descarga de efluentes domésticos o industriales a los cuerpos de agua (CETESB, 2012). Los cuatro puntos de muestreo se encuentran adyacentes a áreas urbanas, específicamente a los distritos de Ananea, Crucero y Azángaro. Estos puntos presentan concentraciones significativas de sodio, lo que apoya la idea de que el sodio proviene de las descargas de aguas residuales domésticas.

El sodio se puede encontrar en la basura en forma de sulfato, carbonato, bicarbonato, nitrato y, sobre todo, cloruro. Además, las concentraciones en las aguas subterráneas se acercan con frecuencia a los 50 a 100 mg/L y se enriquece gradualmente en las zonas de recarga (Pedrosa & Caetano, 2002). La presencia de sodio en las aguas subterráneas también puede estar relacionada con la invasión salina, que se produce principalmente en lugares costeros donde los acuíferos entran en contacto con el agua del mar (Falcão, 1978).

Estudios relacionados con la concentración de sodio en aguas superficiales fueron desenvueltos por Galhardi (2017), el autor determino concentraciones de sodio en aguas superficiales para uso de áreas agrícolas próximos a las zonas urbanas de Votuporanga (SP). El autor determino potasio en concentraciones de



3,70 mg/L - 12,78 mg/L, que se mostraron superiores a los encontrados en este estudio.

4.2.8. Cloruro (Cl⁻)

Las concentraciones del cloruro de las aguas del río Ramis en los 4 puntos de muestreo están representados en la **Tabla 7** y **ANEXO 25**. El cloruro mostró una enorme variación de concentración en los 3 primeros puntos de muestreo en relación al último punto. Las concentraciones máximas fueron encontradas en el punto RAM-4, seguido de una concentración mínima encontrada en el punto RAM-3. Estos valores de cloruro obtenidos en este estudio estuvieron dentro de los límites máximos permisibles que es de 250 mg/L, establecidos por la normativa peruana (ECA) y brasileña (CONAMA) (**ANEXO 14**).

Según Sperling (1996), la presencia de cloruro en los ríos naturales se debe a la lixiviación de minerales ferromagnesianos de rocas ígneas y evaporíticas, así como a la disolución de sales como el cloruro de sodio. En solución, el cloruro, que se asocia frecuentemente con el ion sodio, es un ion altamente soluble y estable que típicamente precipita en la sobresaturación (Santos, 1997).

De Souza (2012) encontró cantidades similares en el río Curitiba (Brasil) y las atribuyó a la descarga de aguas residuales residenciales en áreas urbanas. Esto también se observa cerca de los distritos de Ananea, Crucero y Azángaro, con la mayor concentración de cloruro y sodio en el punto RAM-4, que es efectivamente el penúltimo punto de descarga del río antes de llegar al lago Titicaca. Otra posible fuente de cloruro es el agua de lluvia, que es uno de los componentes más prevalentes en la precipitación atmosférica (Menegasse, 2003).



Estudios relacionados con la concentración de cloruro en las aguas fue localizado próximo al punto RAM-3 (distrito de Azángaro), en el cual concentraciones de cloruro de (33,9 mg/L - 40 mg/L) fueron registrados por Martínez (2017). Las concentraciones encontradas por el autor son superiores a los encontrados en la zona de estudio y que al mismo tiempo se encontraron dentro de los LMP.

4.2.9. Nitrato (NO_3^-)

Las concentraciones del cloruro de las aguas del río Ramis en los 4 puntos de muestreo están representados en la **Tabla 7** y **ANEXO 26**. El nitrato presentó pequeñas variaciones en sus concentraciones casi próximas en todos los puntos de muestreo, con concentraciones máximas observadas en el punto RAM-3 y concentraciones mínimas observadas en el punto RAM-4. Los resultados de nitrato fueron comparados con los valores establecidos por la normativa peruana (ECA) y normativa brasilera (CONAMA) en la cual observamos que los valores se encuentran fuera de lo LMP establecidos por las referidas referencias que son de 50,0 mg/L y 10,0 mg/L para el nitrato (**ANEXO 14**).

Las aguas naturales tienen niveles bajos de nitrato, mientras que los efluentes de los procedimientos de tratamiento químico y biológico del agua tienen niveles más altos. La escorrentía de las tierras agrícolas hacia los ríos y arroyos es probablemente la fuente más importante de iones de nitrato en las comunidades rurales. Según Baird (2002), el cultivo extensivo de la tierra, incluso en ausencia de aplicación de fertilizantes o estiércol, promueve la oxidación a nitrato del nitrógeno reducido presente en la materia orgánica degradada en el suelo a través de la aireación y la humedad. Inicialmente, se supuso que los



desechos animales oxidados (estiércol), el nitrato de amonio no absorbido y otros fertilizantes nitrogenados eran las razones principales.

Las altas concentraciones de este elemento en todas las estaciones de medición indican condiciones insalubres, ya que los desechos humanos y animales son la principal fuente de nitrógeno-nitrato. En este contexto, el vertido de aguas residuales sin tratar en todos los lugares a lo largo del río Ramis es letal, ya que provoca eutrofización, como ocurre con una de las principales fuentes de nitrógeno para los productores primarios (Silva, 2010).

Los nitratos promueven el crecimiento de plantas y animales acuáticos, como las algas, que se multiplican en su presencia, y las altas concentraciones de nitratos en lagos y ríos pueden inducir un crecimiento excesivo, un proceso conocido como eutrofización. Las altas concentraciones de nitrato, cloruro y sodio pueden indicar contaminación por efluentes domésticos (Hindi, 2001)

Otros estudios relacionados con la concentración de nitrato en aguas superficiales fueron registrados en la Parcialidad de Jiscullaya del Collao-Puno, desarrollado por Contreras (2021), donde se registra concentraciones negativas.

4.2.10. Sulfato (SO_4^{2-})

Las concentraciones del cloruro de las aguas del río Ramis en los 4 puntos de muestreo están representados en la **Tabla 7** y **ANEXO 27**. Este anión en los puntos de muestreo mostro un comportamiento muy variado, con una concentración máxima que fue observado en el punto RAM-1 y al mismo tiempo fue observado una concentración mínima en el punto RAM-3 (53,0 mg/L) en comparación con los otros puntos de muestreo. Los resultados de la concentración del sulfato en los puntos RAM-1 y RAM-2 estuvieron fuera de los LMP que es



250 mg/L, establecidos por la normativa peruana ECA y brasilera CONAMA. Sin embargo, las concentraciones de sulfatos en los puntos RAM-3 y RAM-4 estuvieron dentro de los LMP por dichas normas (**ANEXO 14**). En aguas subterráneas, los contenidos de sulfatos son generalmente inferiores a 100 mg/L (Santos, 1997).

La mayor concentración de sulfato en el punto RAM-1 podría ser resultado de actividades de producción minera oficial e informal que se realizan directamente sobre las rocas para la extracción y lixiviación de metales comerciales, para luego ser transportado al RAM-2, el segundo punto de mayor concentración de sulfato en el río Ramis. Además, diversos procesos físico-químicos que ocurren en un sistema agua-roca-atmósfera, como la erosión eruptiva de las rocas, contribuyen al enriquecimiento del anión sulfato en el agua.

Según Santos (1997), las sales de sulfato, como la anhidrita (CaSO_4), tienen una solubilidad moderada a alta, con excepción de los sulfatos de estroncio, como la celestita (SrSO_4), y los sulfatos de bario (barita - BaSO_4). La presencia de sulfato en aguas naturales es causada por la lixiviación de yeso [$\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$ (H_2O)] y anhidrita. El sulfato también se produce cuando se oxidan sulfuros como la piritita (FeS_2). En el ciclo del azufre, los sulfitos se convierten en sulfatos mediante procesos que involucran tiosulfatos y materiales orgánicos. Los sulfatos se forman a través de la oxidación del azufre en rocas o en vertederos industriales (Santos, 1997).

En circunstancias anóxicas, con un pH cercano a la neutralidad y valores de Eh inferior a -120 mV, el sulfato (SO_4^{2-}) puede convertirse en sulfuro (S^{2-}), que puede reaccionar para generar sulfuros metálicos (greigita, piritita). Es fundamental



comprender que la actividad microbiana degrada el material orgánico de alto peso molecular en ácidos orgánicos simples (Sposito & Page, 1985; Clark *et al.*, 1998). Las bacterias reductoras de sulfato emplean moléculas orgánicas básicas para generar energía mediante la reducción del sulfato, lo que promueve la creación de sulfuros que unen los metales en una forma estable e insoluble en condiciones anóxicas (Clark *et al.*, 1998; Baird, 2002).

Estudios relacionados con la concentración del sulfato en las aguas fue localizado próximo al punto RAM-3 (distrito de Azángaro), en el cual concentraciones de sulfatos con valor de 205 mg/L, fueron encontrados por Martínez (2017). Las concentraciones encontradas por el autor fueron inferiores a los encontrados en los puntos de muestreo RAM-1 y RAM-2 y superiores a los puntos RAM-3 y RAM-4 y que al mismo tiempo se encontraron dentro de los LMP.

4.2.11. Bicarbonato (HCO_3^-)

Las concentraciones del carbonato de las aguas del río Ramis en los 4 puntos de muestreo están representados en la **Tabla 7** y **ANEXO 28**. Para esta catión se registraron valores mínimos en todos los puntos de muestreo en comparación a los otros parámetros analizados en este estudio, los valores de concentración máximo fueron encontrados en el punto RAM-4 y una concentración mínima fue encontrada en el punto RAM-2. Se observa que las normas tanto peruana como brasilera: ECA y CONAMA respectivamente no establecen un valor máximo permisible para este parámetro en las aguas de río (**ANEXO 14**). Sin embargo, la *Companhia Ambiental do Estado de São Paulo* – CETESB (2004), estableció una concentración máxima para aguas dulces que van



desde 50 mg/L – 350 mg/L, pudiendo alcanzar hasta 800 mg/L. En forma de bicarbonato de calcio, es beneficioso para las plantas (CETESB, 2004).

Los iones de bicarbonato reaccionan en el agua para neutralizar los iones de hidrógeno (H^+), lo que indica la capacidad del agua para neutralizar los ácidos y le confiere una calidad alcalina. Según Sperling (1996), los bicarbonatos y carbonatos son los elementos primarios del agua y son los responsables de su estado alcalino, seguidos de los hidróxidos (OH^-).

Estudios relacionados con la concentración de bicarbonato sodio en aguas superficiales fueron desenvueltos por Silva (2019), en el río Piracicaba al norte del estado de Rio Grande del Sur (Brasil), concentraciones de 42,23 mg/L - 148 mg/L de bicarbonato fueron registrados por el autor, que se mostraron muy superiores a los encontrados en este estudio.

En resumen, la alteración de los parámetros físico-químicos en los puntos RAM-1, RAM-2, RAM-3 y RAM-4 es resultado del ingreso de efluentes tóxicos de casi todo el sector minero de la región (Rinconada y Ananea) y de los desalojos domiciliarios por parte de la población residente en los distritos de Crucero, Azángaro, quienes vierten los residuos sólidos domésticos directamente al río, alterando los parámetros físico-químicos naturales de las aguas del río.

Finalmente, de acuerdo a los ECA (Estándares de Calidad Ambiental) para agua dulce, los resultados del análisis del río Ramis se encuadran dentro de la subcategoría B, que son aguas superficiales destinadas exclusivamente para la recreación (**Tabla 4**). Por otro lado, según la normatividad de agua dulce del CONAMA (*Conselho Nacional do Meio Ambiente*), el río Ramis se encuentra actualmente clasificado en la clase IV, que son ríos exclusivamente para la



navegación y armonía paisajística (**Tabla 5**). El río Ramis atraviesa la región de Puno, que cuenta con una población de más de un millón de habitantes y es conocida por su intensa actividad minera e industrial, lo que contribuye a la expansión poblacional descontrolada.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: Los parámetros físicos de las aguas en los puntos de muestreo RAM-1, RAM-2, RAM-3 y RAM-4, indican que la temperatura, turbidez y conductividad eléctrica se mostraron dentro del límite máximo permisible establecido por la ECA, CONAMA, excepto en el punto RAM-1 donde la turbidez sobrepasa el valor máximo de dichas legislaciones ambientales.

SEGUNDA: El análisis de los parámetros químicos de las aguas en los puntos de muestreo RAM-1, RAM-2 RAM-3 y RAM-4, mostraron que, el pH, el cloruro están dentro del límite máximo permisible establecido por la ECA, CONAMA, excepto en el punto RAM-3 donde el potencial de hidrogeno sobrepasa el valor máximo de dichas legislaciones ambientales. Sin embargo, el oxígeno disuelto, el magnesio, el nitrato y sulfato están fuera del límite máximo permisible, excepto en los puntos de muestreo RAM-3 y RAM-4 el sulfato está dentro de LMP de las normas ECA y CONAMA.

TERCERA: La evaluación de los parámetros físico-químicos permitió comprobar que, en general, las aguas del rio Ramis de todos los puntos de muestreo RAM-1, RAM-2, RAM-3 y RAM-4 se adecuan en las aguas de subcategoría B, destinadas para la recreación, según la norma peruana ECA. Para la norma brasileña CONAMA las aguas se adecuan en la clase 4, destinadas para la navegación y armonía paisajística con ciertas limitaciones y precauciones.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERA: Diseñar e implementar un programa regional de educación ambiental para promover la conciencia y sensibilizar a la comunidad que habita en la zona del río sobre los problemas ambientales, sus causas y los efectos que tienen sobre la calidad de las aguas del río y como resultado, sobre el lago Titicaca.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACSA – Agencia Catalana De Seguridad Alimentaria (2019). Reevaluación de sustancias: Arsénico. <http://www.gencat.cat/salut/acsa/>. Departamento de Salud Pública. Consultado en marzo 2023.
- Albert, (2010). Catástrofes tóxicas. En M. Repetto. Editores. Postgrado en Toxicología. Ilustre Colegio oficial de Químicos. Sevilla. CD-ROM. 2010”. ISBN: 978-84-692-9989-0. Depósito Legal: SE-1047-08.
- Aragón-Briceño, C., Ponce-Caballero, C., Coronado, P., Giácoman-Vallejo, G. (2011). Evaluación de un método analítico para la determinación de níquel y plomo en sedimento de mar por espectroscopia de absorción atómica. Ingeniería 15-1 1-18.
- ATSDR – Top20. (2005). Agency for Toxic Substance and Disease Registry. Hazardous substances. Disponible <http://www.atsdr.cdc.gov/cxcx3.html>. Consultado en julio 2023.
- Ayamamani, C.J.E. (2019). Vigilancia de la contaminación de suelos por relaves mineros en la minería artesanal e informal de la región Puno (Rinconada-Ananea). Tesis de Pregrado de la Facultad de Ingeniería de Minas / Universidad Nacional del Altiplano – Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/12537>
- Bonotto, D.M. (2021). Sedimentation rates in Atibaia River basin, São Paulo State, Brazil, using ^{210}Pb as geochronometer. Applied Radiation and Isotopes, v.69, p.275-288
- Boyd, C.F. (2018). Water Quality. And Introduction. London: Springer International Publishing Switzerland
- BRASIL. (2005). Resolução Conama n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento bem como estabelecer as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 23p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/conama>. Acesso em: 16 de outubro de 2010.



- BRASIL. (2011). Ministério de Saúde, de 12 de dezembro de 2011. Disponible en:
http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html.
Consultado en 10 de jun 2022.
- BRASIL. (2014). Ministério da Saúde. Portaria 518 de 25 de marzo de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e dá outras providências. Brasília. Consultado en 15 de jun 2022.
- Brayan, G.W., Hummerstone, L.G. (1997). Indicators of heavy metal contamination in the Looe Estuary (Cornwall) with particular regard to silver and lead. *J Mar Bio Ass*, 57:75-92.
- Brix, K.V., Gerdes, .RM., Adams, W.J., Grosell, M.M. (2006). Effects of copper, cadmium and zinc on the hatching success of Brine Shrimps (*Artemia granciscana*). *Environmental contamination and Toxicology*, 51: 580-583.
- Ccancapa, S.Y.R. (2015). Contaminación del Agua Superficial y Sedimentos Por Mercurio en la Rinconada, Originado Por la Minería Informal (ANANEA- Puno). Tesis de Pregrado de la Facultad de Ciencias Biológicas / Universidad Nacional del Altiplano – Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/1908>
- Chata, Q.A. (2015). Presencia de Metales Pesados (Hg, As, Pb y Cd) En Agua y Leche En la Cuenca del Rio Coata 2015. Tesis de Pregrado de la Facultad de Ciencias de la Salud / Universidad Nacional del Altiplano – Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/1930>
- Cerdeña, C.P., Reyes, W.L., Vásquez, A.M. (2018). Contaminación de las aguas del río Itaya por las actividades portuarias en el Puerto Masusa. *Ciencia Amazónica*. 2014. Disponible desde:
<http://ojs.ucp.edu.pe/index.php/cienciaamazonica/article/view/12>
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo Estudio (1981). de mercúrio nas águas e estuários do Rio Botafogo. Pernambuco. Fase 1 – Estudio Preliminar. São Paulo, p.32.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo Estudio (2017). Guia de coleta e preservação de amostras de água. São Paulo, CETESB



- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo Estudo (2021). Guia nacional de coleta e preservação de amostra. agência nacional das águas, Brasília, p. 51
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (2020). Resolução. nº 357, de 17 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. Consultado en 19 de enero 2023.
- Contreras, C.H. (2021). Calidad del agua para consumo humano en los manantiales en la parcialidad de Jiscullaya - El Collao – Puno. Tesis de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Agrícola / Universidad Nacional del Altiplano – Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/15683>
- Di Toro, D.M., Mahony, J.D., Hansen, D.J., Scott, K.J., Carlsin, A.R., Ankley, G.T. (2012). Acid volatile sulfide predicts the acute toxicity of cadmium and nickel in sediment. *Environmental Science and Technology*, v.26, n.1, p.96-101. *Technology*, v.26, p.26-101.
- EPA – Environmental Protection Agency (1972). *Water quality Criteria*, Washington. P. 594.
- EPA – Environmental Protection Agency (1992). Determination of acid volatile sulfide (AVS) in sediment, method 821/R-91-100, Office of Water, Washington, D.C.
- Förstner, U., Wittmann, G.T.W. (1979). *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Springer-Verlagm, Berlin.
- Förstner, U., Wittmann, G.T.W. (1981). *Heavy metal pollution in the aquatic environment*. 2 ed. Sring-Verlag. Berlin. Heidelberg New York.
- FUNASA – Fundação Nacional de Saúde Brasil. Ministério da Saúde (2014). *Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS/Ministério da Saúde – Brasília*.
- Gallego-Álvarez, I. (2019). Assessing corporate environmental issues in international companies: A study of explanatory factors. *Business Strategy and the Environment*, 27(8), 1284–1294. <https://doi.org/10.1002/bse.2175>
- Gómez, G.R. (2015). *Contaminación ambiental en la amazonia peruana*. IIAP. Documento técnico nº 20. Iquitos, Perú.



- HACH (2000). Espectrofotómetro. Manual do usuário. 2008. Hach Company, Ny. 2008
- Huacani, Y. (2019). Valoración económica del agua para consumo en la ciudad de Juliaca
- Halpern, B.S., Waldbridge, S., Selkoe, K.A., Kappel, C.V., Micheli, F., D'agrosa, C., Bruno, J.F., Casey, K.S., Ebert, C., Fox, H.E., Frujita, R., Heinemann, D., Lenihan, H.S., Madin, E.M.P., Perry, M.T., Selig, E.T., Spalding, M., Steneck, R., Watson, R. (2008). A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319: 948-952.
- Hallasi, P.G.L. (2018). Determinación de los parámetros microbiológicos y físico-químicos de las aguas de consumo humano en las islas flotantes uros del Lago Titicaca. Tesis de Pregrado de la Facultad de Ciencias Biológicas / Universidad Nacional del Altiplano – Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/7403>
- INGEMMET – Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (2018). Levantamiento realizado dentro del convenio INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 66, 170 p.
- Iquise, A.V.R. (2017). Metales pesados en carne y vísceras de alpacas de dos comunidades del distrito de Ananea. Tesis de Pregrado de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia / Universidad Nacional del Altiplano – Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/5904>
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (1992). Trace elements in soils and plants. 2nd edn. Boca Ratón, CRC Press. Florida.
- López, M.M.L., Madroño, P.S.M. (2017). Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: Caso Laguna de la Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* [En línea], 2015, 25(2), p. 21, [Consulta: 10 abril 2023]. ISSN 0124-8170. <https://doi.org/10.18359/rcin.1430>
- Lima, J.L.N. (2000). Hidroquímica pluvial e fluvial na Bacía do Rio Corumbataí (SP) e relações com o uso do Pb-210 como geocronômetro. 260 f. tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.



- López, C.Y. (2015). Caracterización de la calidad del agua superficial en las unidades hidrográficas de Crucero, Nuñoa, Azángaro y Ramis, periodo 2012 – 2013. Tesis de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Agrícola / Universidad Nacional del Altiplano – Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/10701>
- Luque, C.H. (1996). Tipificación, cartografía y contenido en metales pesados de comunidades vegetales de las Marismas del Odiel. Dinámica poblacional del Género *Spergularia*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla.
- Mamani, C.W. (2019). Caracterización y tratamiento de efluentes de aguas ácidas en la mina La Rinconada – Puno. Tesis de Pregrado de la Facultad de Ingeniería de Minas / Universidad Nacional del Altiplano – Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/11993>
- Marín, G.L. (2007). Aproximación ecotoxicológica a la contaminación por metales pesados en la laguna costera del Mar Menor. Tesis doctoral. Departamento de Ecología e Hidrología. Universidad de Murcia. España.
- Martínez, O.J.A. (2017). Calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua de consumo humano del Distrito de Samán, Provincia de Azángaro – Puno. Tesis de Pregrado de la Facultad de Ciencias Biológicas / Universidad Nacional del Altiplano – Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/6585>
- MINAM (2020). Libro blanco del agua en España. Ed. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Neto, J.M. et al. (1973). Técnica de Abastecimiento y Tratamiento de Agua, v. 1, 2. ed. São Paulo: CETESB/ ASCETESB, 1973.
- Olarte, D.A.C., Tanaka, M.E.P. (2020). Contaminación de aguas y sedimentos por As, Pb y Hg de la cuenca del río Ramis, Puno-Perú. Instituto de investigación de la escuela Posgrado-Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú
- Oliveira, G.N.D. (2012). Avaliação Físico-Química das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Maranguapinho, Região Metropolitana de Fortaleza – Ceará. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.



- OMS – Organización Mundial de la Salud (1974). El uso del mercurio y compuestos alternativos en el tratamiento de semillas. Ginebra, FAO/OMS. Serie de Informe Técnico, p. 505.
- Pari, H.D.C. (2017). Efectos de los relaves mineros en la calidad del agua del Río Ananea – Puno. Tesis de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Agrícola / Universidad Nacional del Altiplano – Puno.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/7074>
- Pacco, C.D. (2018). Determinación de metales pesados en leche y pelo de vacas de la cuenca del río Llallimayo Melgar – Puno. Tesis de Pregrado de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia / Universidad Nacional del Altiplano – Puno.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/9269>
- Piper AMA (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. Trans. Amer. Geophysical Union, v.25, p. 914-928.
- Pinto, F.R. (2019). Avaliação Microbiológica da Água de Dessedentação Animal em Propriedades Rurais da Microbacia de Córrego Rico na Estação da Seca. Departamento de Medicina Veterinária Preventiva e Reprodução Animal FCAV/UNESP/Jaboticabal-SP
- Piveli, P.D.R.P. (2020). Aula 10 - Oxigênio Dissolvido e Matéria Orgânico em Águas. S.I.], p.12
- Prast, *et al.* (2018). Ciclos biogeoquímicos y cambios globales. Cambio global: una mirada desde Iberoamérica. 2018. pp. 110-125
- Ponce, G.L.F. (2018). Evaluación físico-química de metales tóxicos en el río grande, Ananea – crucero, Puno. Instituto de investigación de la escuela Posgrado-Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú.
- Quecaño, M.N.C. (2018). Determinación de metales tóxicos en el Río Crucero – Puno. Tesis de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica / Universidad Nacional del Altiplano – Puno.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/7829>
- Repetto, M. (1995). Toxicología avanzada. Díaz de Santos, Madrid.



- Repetto, M., Sanz, P. (2010). Toxicología de los metales. En M. Repetto (ed) Postgrado en Toxicología. Ilustre Colegio oficial de Químicos. Sevilla. CD-ROM. ISBN: 978-84- 692-9989-0. Depósito Legal: SE-1047-08.
- Rittschof, D., Mcclellan-Green, P. (2005). Molluscs as multidisciplinary models in environment toxicology. *Mar Pollut Bull*, 369-373.
- Rodriguez, R.C.A. (2019). Recuperación de oro a partir de relaves por lixiviación en bateas en la unidad minera estrella de oro CECOMSAP – Ananea, Puno. Tesis de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica / Universidad Nacional del Altiplano – Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/13192>
- Roser, M., Ortiz-Ospinam E. (2016). World population growth [online]. Our World in Data. Disponible en: <https://ourworldindata>. Consultado: 17 mayo 2023.
- Sánchez, B. (2018). Evaluación estadística y eutrófica de la calidad del agua de un embalse tropical. Instituto Politécnico Nacional, 2018. pp. 20-21
- SENAMHI – *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología* (2005). Lima-Perú.
- SENAMHI – *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología* (2007). Dirección general de hidrología y recursos hídricos Lima-Perú. Informe Técnico, información hidrológica Cuenca Lago Titicaca.
- Sogorb, M.A., Vilanova, E. (2016). Técnicas analíticas de contaminantes químicos. Editorial Díaz de Santos.
- Suasaca, F. (2020). Comentario personal Web. <https://www.actualidadambiental.pe/puno-34-personas-presentan-arsenico-y-mercurio-por-consumir-agua-contaminada/>
- Tabari, S., Saravi, S., Bandany, G., Dehghan, A., Shokrzadeh, M. (2010). Heavy metals (Zn, Pb, Cd and Cr) in fish, water and sediments sampled from Southern Caspian Sea, Iran. *Toxicol Ind Health* 26: 649-656.
- Tumi, Q.J. (2014). Representaciones sociales de la población de la ciudad de Puno sobre gestión de residuos sólidos. *Investig. Altoandina (RIA)*, 16(1), 59-74 <http://www.unap.edu.pe/oui/ria/>



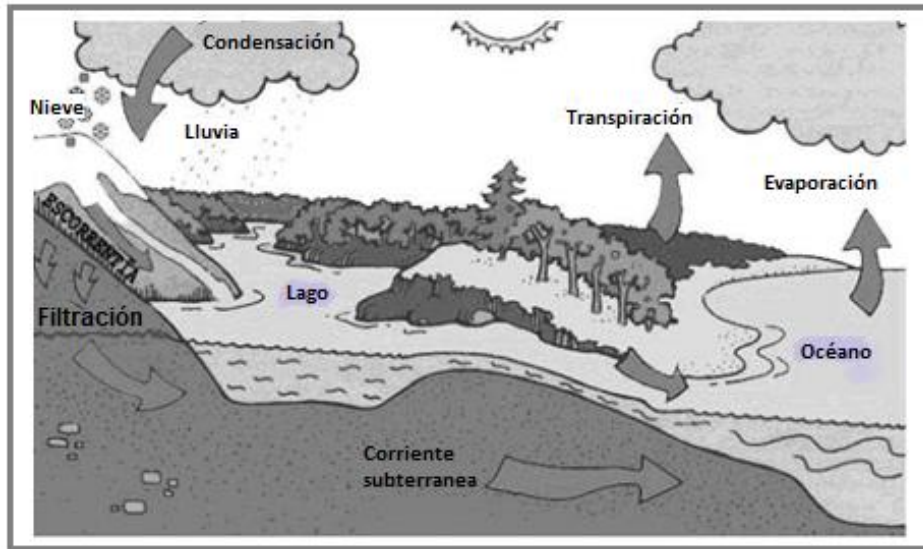
- Urviola, F.V.S. (2015). Determinación de metales pesados en las aguas del río Ananea debido a la actividad minera aurífera, Puno-Perú. Instituto de investigación de la escuela Posgrado-Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú
- Vandas, S.J., Winter, T.C., Battaglin, W.A. (2022). Water and the environment. Ed. American Geological Institute, Alexandria, EEUU
- Vasconez, M. *et al.* (2019). Cuencas Hidrográficas. Quito-Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2019. ISBN 9789978103807, p. 2.
- Vasconcelos, F.M., Tundisi, J.G., Tundisi, T.M. (2019). Avaliação da qualidade de água-Base tecnológica para a gestão ambiental. 1ra ed., Belo Horizonte, MG: SMEA.
- Velarde, S.J.A. (2021). Determinación de metales pesados en leche de vaca, pasto y agua de la microcuenca del río Llallimayo, Melgar – Puno. Tesis de Pregrado de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia / Universidad Nacional del Altiplano – Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/14789>
- Villanueva, A.T.L. (2018). Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas superficiales del río Ayaviri para fines de riego. Tesis de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Agrícola / Universidad Nacional del Altiplano – Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/14602>
- WHO – World Health Statistics (1999). Environmental Health Criteria 86: Mercury. Environmental aspects. Geneva, World Health Organizations, 115p.
- WHO – World Health Statistics (2015). Boron in drinking water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. 2003. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/boron.pdf. Consultado: 13 mayo 2023
- WHO – World Health Statistics (2018). World Health Statistics 164p. disponible:
http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2015/en/
Consultado: 26 mayo 2023.



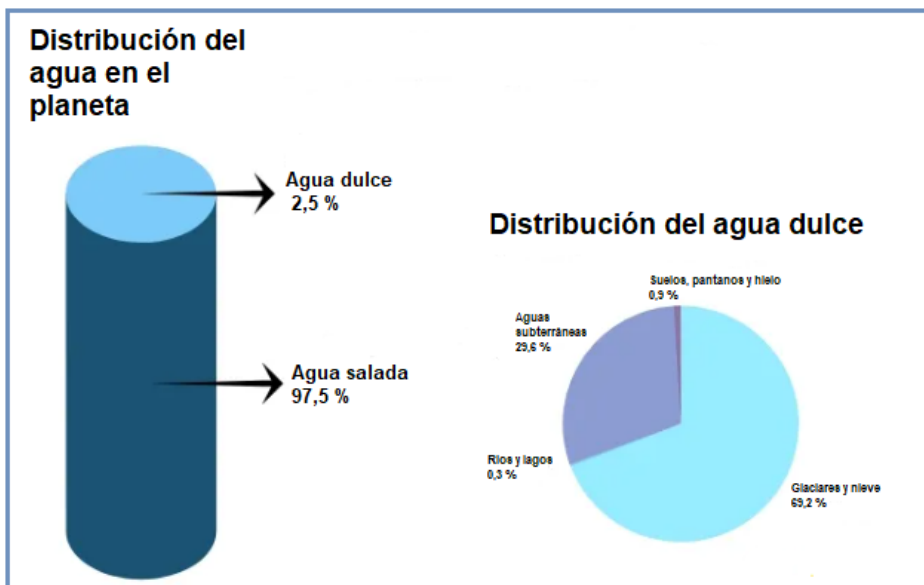
Wu, L., Chen, L., Hou, J., Zhao, J., Gao, H (2010). Assessment of Sediment Quality of Yangtse River Estuary Using Zebrafish (*Danio rerio*) Embryos. *Environ Toxicol*, 25: 234-242.

ANEXOS

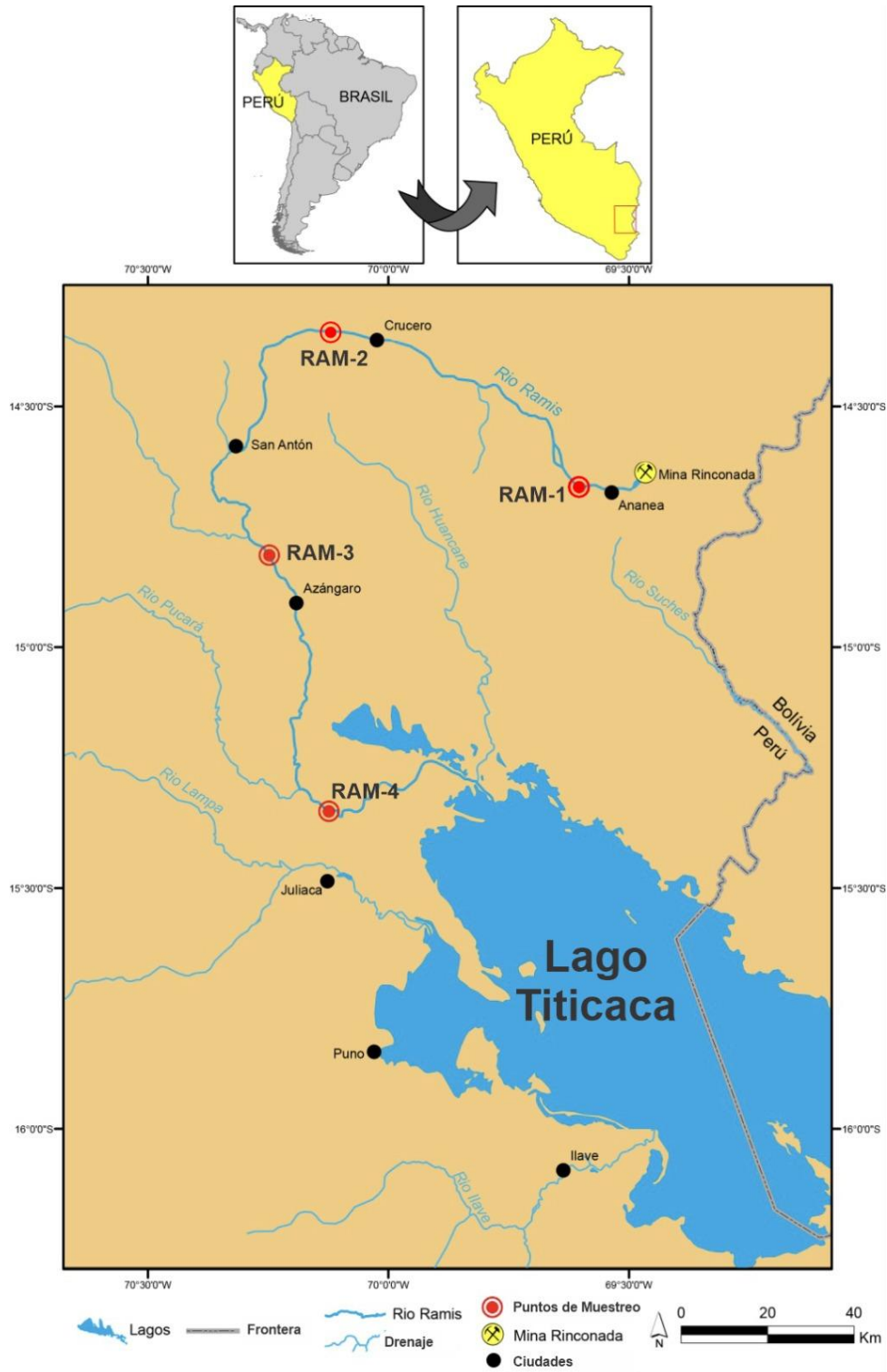
ANEXO 1. Ciclo hidrológico (SENAMHI, 2009)



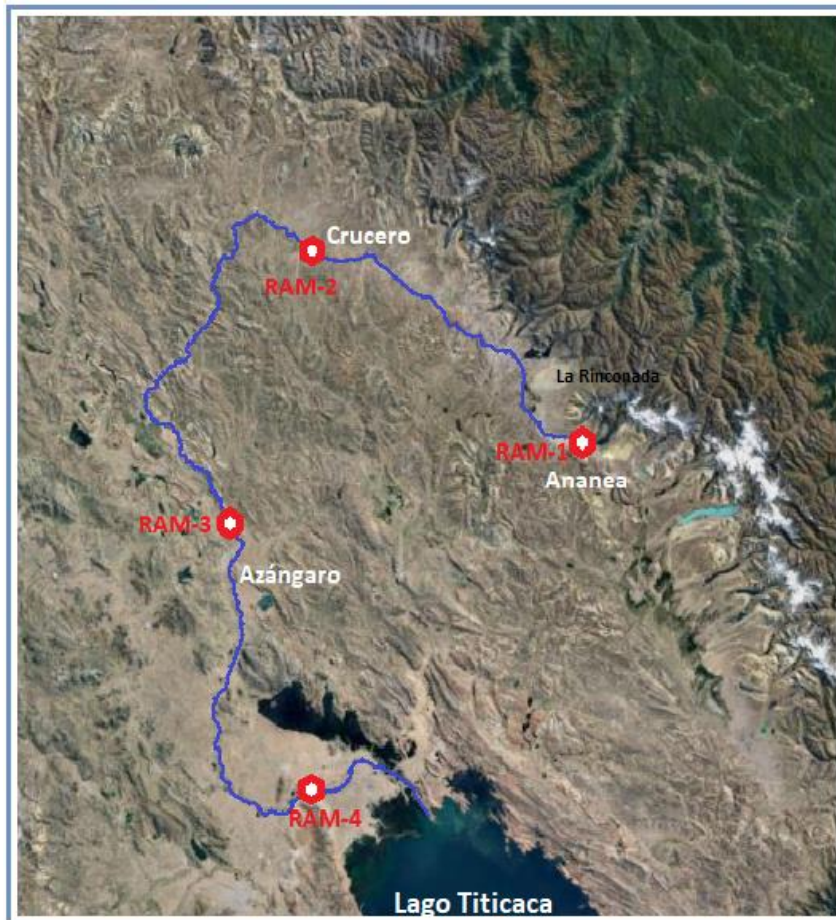
ANEXO 2. Distribución del agua (NETO, 1973; ANA, 2009)



ANEXO 3. Localización del área de estudio (Fuente: elaborado por el autor)



ANEXO 4. Puntos de muestreo de agua RAM-1, RAM-2, RAM-3 y RAM-4 a lo largo del río Ramis, región Puno. La imagen de satélite del área de estudio fue adquirida del Google Earth (Fuente: elaborado por el autor)



ANEXO 5. RAM-1, punto próximo a la naciente del río Ramis (Fuente: elaborado por el autor)



ANEXO 6. RAM-2, punto próximo al distrito de Crucero (Fuente: elaborado por el autor)



ANEXO 7. RAM-3, punto próximo al distrito de Azángaro (Fuente: elaborado por el autor)



ANEXO 8. RAM-4, punto próximo a la desembocadura del Lago Titicaca (Fuente: elaborado por el autor)



ANEXO 9. Toma de muestra de agua para los análisis químicos de los puntos RAM-1, RAM-2, RAM-3 y RAM-4 en el río Ramis, región Puno (Fuente: elaborado por el autor)



ANEXO 10. Medida “*in situ*” del pH, Eh y temperatura en las muestras de agua utilizando DIGIMED DM-2 (Fuente: elaborado por el autor)



ANEXO 11. Ejemplo del método Hach utilizado en el laboratorio, Hach Company NY, 2013

Color, True and Apparent

Method 8025

Scope and Application: For water, wastewater, and seawater; equivalent to NCASI method 253 for pulp and paper effluent using 465 nm (requires pH adjustment)

¹ Adapted from Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater and NCASI, Technical Bulletin No. 263, Dec. 1971
² Adapted from Wat. Res. Vol. 30, No. 11, pp. 2771–2775, 1996

Platinum-Cobalt Standard Method^{1, 2}
(15 to 500 units)

Test Preparation

Before starting the test:

NCASI procedure requires pH adjustment. Adjust the pH to 7.6 with 1.0 N HCl or 1.0 N NaOH. When adjusting the pH, if overall volume change is greater than 1%, start over and use a stronger acid or base. Use Program 125 when performing the NCASI procedure.

To test for apparent color, omit steps 3–6 and step 8. Use unfiltered deionized water in step 7 and unfiltered sample in step 9.

Collect the following items:

Item	Quantity
Hydrochloric Acid Solution, 1.0 N (Program 125)	varies
Sodium Hydroxide, 1.00 N (Program 125)	varies
Water, deionized	50 mL
Filter Apparatus: membrane filter, filter holder, filter flask, and aspirator	1
Sample Cells, 1-inch square, 10 mL, matched pair	2
Stopper, rubber, one hole, No. 7	1
Tubing, rubber	1

Note: Reorder information for consumables and replacement items is on page 4.

Platinum-Cobalt
Method 8025

120 Color, 465 nm
OR
125 Color, 465 nm
Start

1. Press **STORED PROGRAMS**.
1. Select the test.
NCASI: Use Program 125 for the NCASI test.
2. Collect 200 mL of sample in a 400-mL beaker.
NCASI: Adjust the pH as described in [Test Preparation](#).
3. Assemble the filtering apparatus (0.45 micron membrane filter, filter holder, filter flask, and aspirator).
NCASI: Test prescribes a 0.6-micron filter.

Color, True and Apparent (15 to 500 units)



4. Rinse the filter by pouring about 50 mL of deionized water through the filter. Discard the rinse water.



5. Pour another 50 mL of deionized water through the filter.



6. **Blank Preparation:** Fill a square sample cell with 10 mL of filtered deionized water from step 5.

Discard the excess water in the flask.



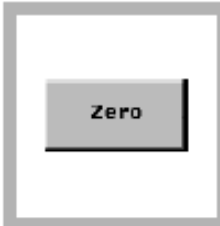
7. Pour about 50 mL of sample through the filter.



8. **Prepared Sample:** Fill a second square sample cell with 10 mL of filtered sample.



9. Wipe the blank and insert it into the cell holder with the fill line facing right.



10. Press **ZERO**.
The display will show:
0 units PtCo



11. Wipe the prepared sample and insert it into the cell holder with the fill line facing right.
Press **READ**. Results are in mg/L PtCo.

ANEXO 12. Valores medios, mediana, desviación estándar, máximos y mínimos de los parámetros físicos analizados en las aguas de los puntos de muestreo RAM-1 RAM-2, RAM-3 y RAM-4 del río Ramis, Región Puno

PUNTOS DE MUESTREO	PARÁMETROS FÍSICOS		
	Temperatura (°C)	Turbidez (UNT)	Conductividad eléctrica (mS/cm)
RAM-1	5,10	126,20	35,00
RAM-2	8,20	49,80	31,60
RAM-3	8,70	27,30	35,50
RAM-4	10,50	12,40	26,00
MEDIA	8,13	53,93	32,03
MEDIANA	8,45	38,55	33,30
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	2,25	50,58	4,37
MÁXIMO	10,50	126,20	35,50
MÍNIMO	2,25	12,40	4,37

ANEXO 13. Valores medios, mediana, desviación estándar, máximos y mínimos de los parámetros químicos analizados en las aguas de los puntos de muestreo RAM-1 RAM-2, RAM-3 y RAM-4 del río Ramis, Región Puno

PUNTOS DE MUESTREO		PARÁMETROS QUÍMICOS (mg/L)									
	pH	Eh (mV)	OD	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
RAM-1	6,50	343,00	0,90	96,00	32,00	6,80	42,30	7,00	115,00	710,00	1,50
RAM-2	6,90	161,00	1,70	93,00	28,00	8,30	39,50	6,80	121,00	437,00	0,20
RAM-3	9,70	186,00	2,80	82,00	27,00	5,10	24,70	6,00	130,00	53,00	0,60
RAM-4	8,40	240,00	3,50	92,00	18,00	3,60	53,90	13,00	112,00	180,00	1,20
MEDIA	7,88	232,50	2,23	90,75	26,25	5,95	40,10	8,20	119,50	345,00	0,88
MEDIANA	7,65	213,00	2,25	92,50	27,50	5,95	40,90	6,90	118,00	308,50	0,90
*DE	1,47	80,71	1,15	6,08	5,91	2,04	12,01	3,23	7,94	291,08	0,59
MÁXIMO	9,70	343,00	3,50	96,00	32,00	8,30	53,90	13,00	130,00	710,00	1,50
MÍNIMO	6,50	161,00	0,90	82,00	18,00	3,60	24,70	6,00	112,00	53,00	0,20

*DE = Desviación Estándar

ANEXO 14. Estándares y criterios de calidad del agua, establecidos según la norma peruana ECA (MINAM, 2017) y brasileña del CONAMA (BRASIL, 2005)

PARÁMETROS	UNIDAD	ECA ^(a)						CONAMA ^(b)		
		SUBCATEGORÍA			CLASE - AGUA DULCE			1	2	3
		A1	A2	A3	Especial	1	2	3		
Temperatura	°C	Δ3	Δ3	**						
Turbidez	UNT*	5	100	**		40	100	100		
Conductividad Eléctrica	mS/cm	150	160	**						
Potencial de Hidrogeno	-	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	5,5 - 9,0		6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0		
Potencial Redox	mV	-	-	-						
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥6	≥5	≥4		≥6	≥5	≥4		
Calcio	mg/L	-	-	-						
Magnesio	mg/L	0,4	0,4	0,5						
Potasio	mg/L	-	-	-						
Sodio	mg/L	-	-	-						
Cloruro	mg/L	250	250	250		250	250	250		
Nitrato	mg/L	50	50	50		10,0	10,0	10,0		
Sulfato	mg/L	250	500	**		250	250	250		
Bicarbonato	mg/L	-	-	-						50 - 350 ^(c)

^(a) Estándares de Calidad Ambiental ECA. Normas decretadas por el Ministerio de Ambiente del Perú (MINAM, 2017);

^(b) *Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA*, establecidos por (BRASIL, 2005);

^(c) *Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2004)*;

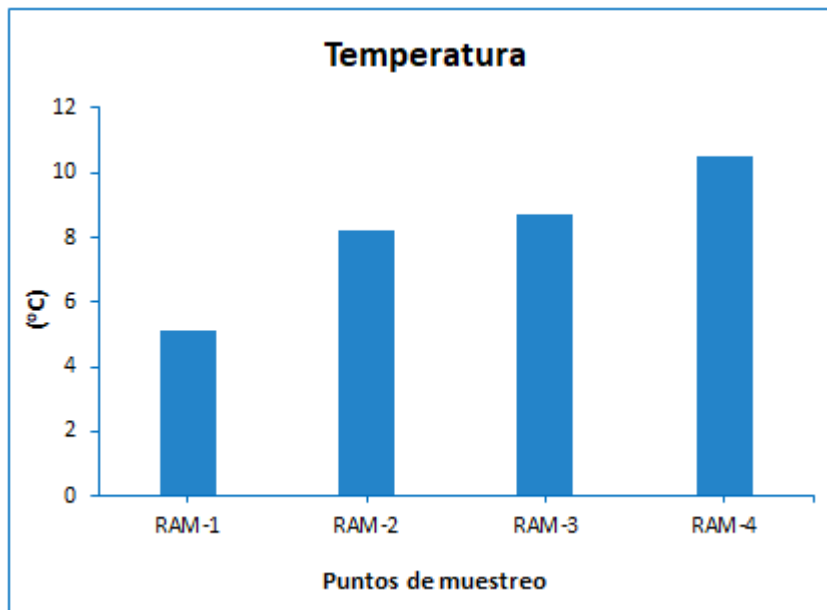
Δ3 Variación de 3°C respecto al promedio mensual multianual del área evaluada;

** Parámetro no aplica para esta subcategoría;

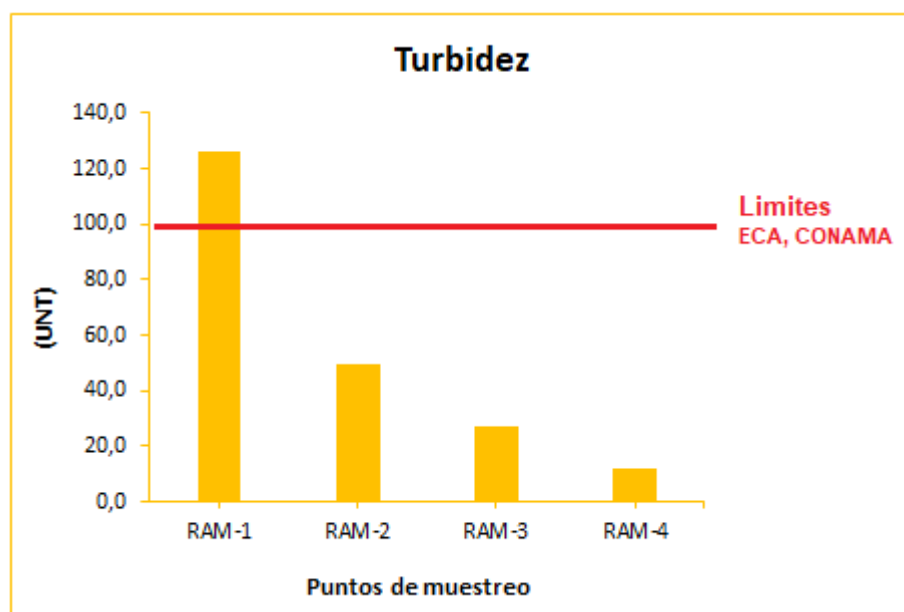
UNT* - Unidades nefelométricas de turbiedad.

En esta clase deberán mantenerse las condiciones naturales del agua

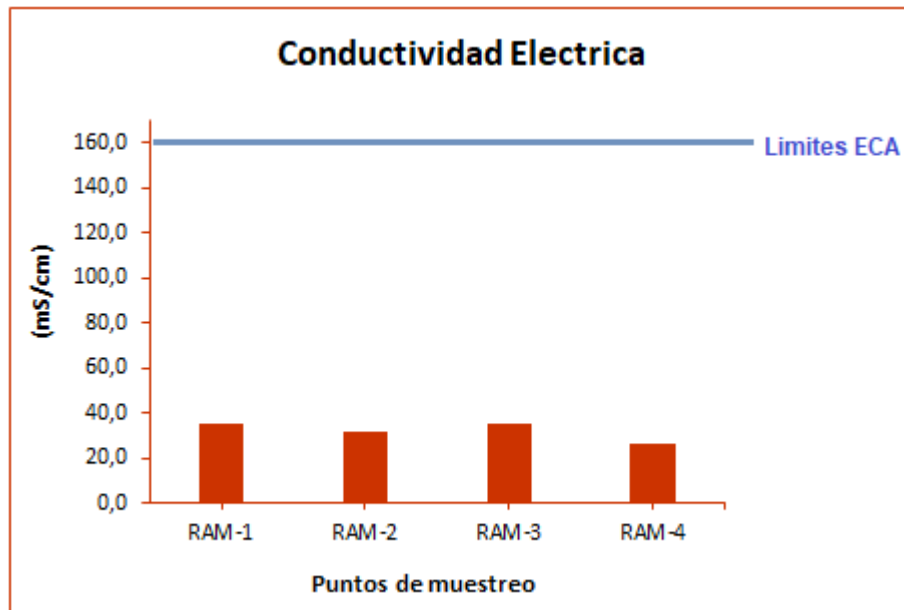
ANEXO 15. Valores obtenidos para la temperatura medidos “*in situ*” en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno, utilizando DIGIMED DM-2 (Fuente: elaborado por el autor)



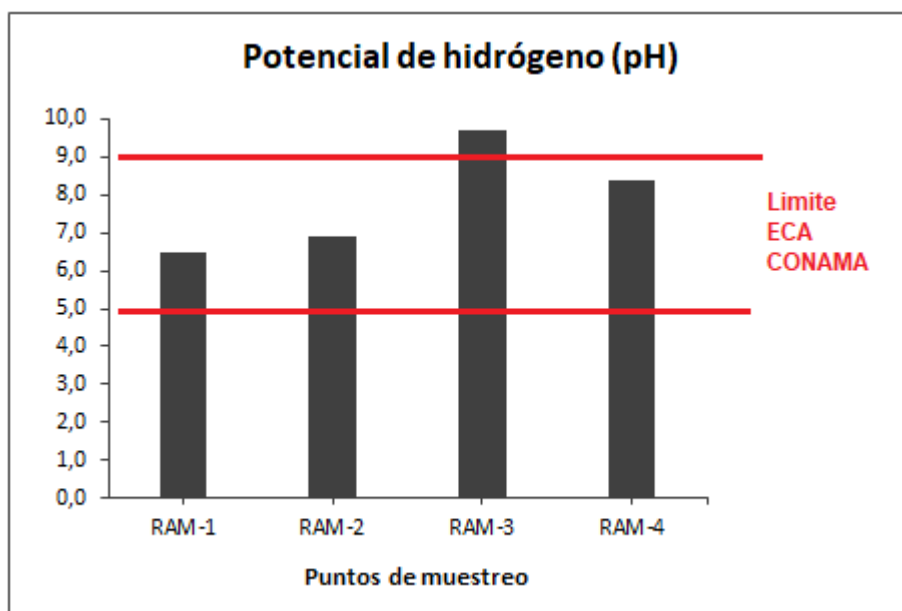
ANEXO 16. Valores obtenidos para la turbidez en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno (Fuente: elaborado por el autor)



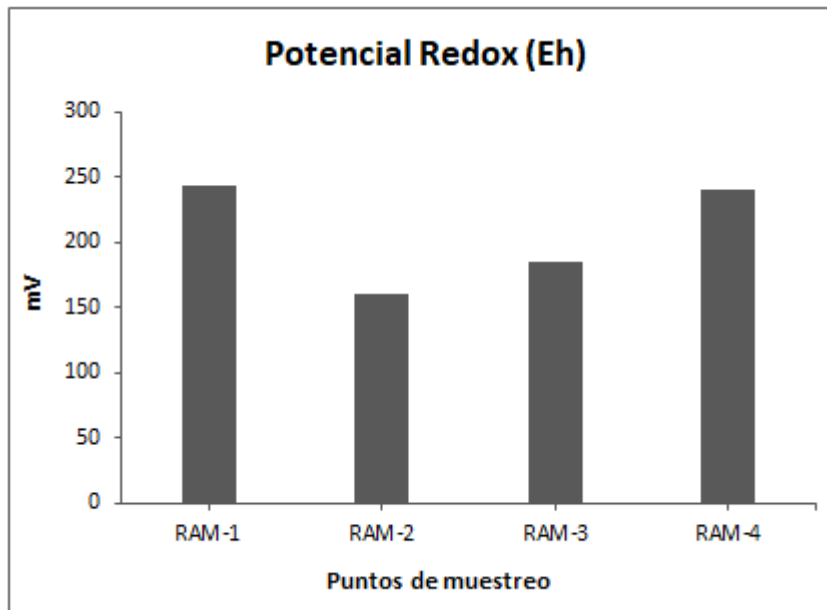
ANEXO 17. Valores obtenidos para la conductividad eléctrica en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del río Ramis, Región Puno (Fuente: elaborado por el autor)



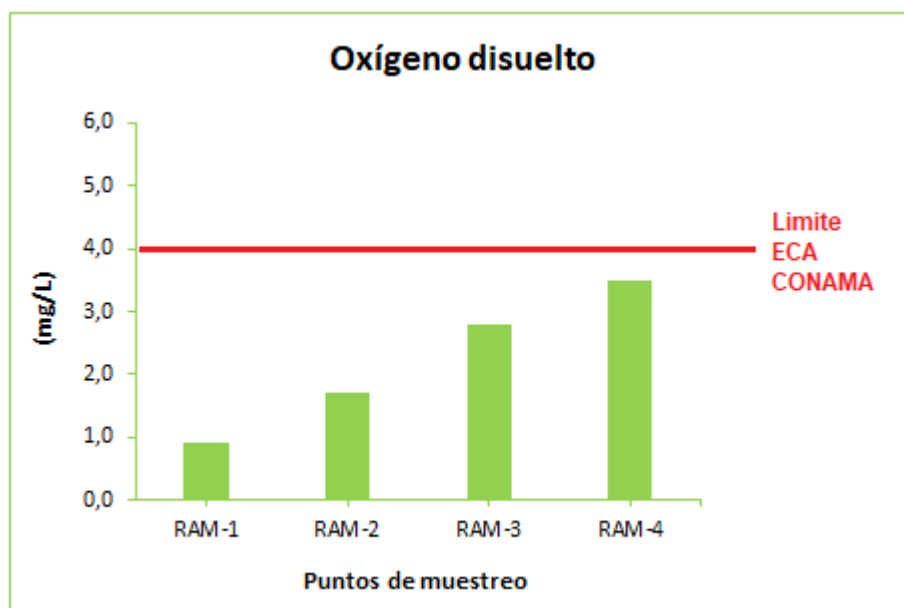
ANEXO 18. Valores obtenidos para el pH medidos “*in situ*” en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del río Ramis, Región Puno, utilizando DIGIMED DM-2 (Fuente: elaborado por el autor)



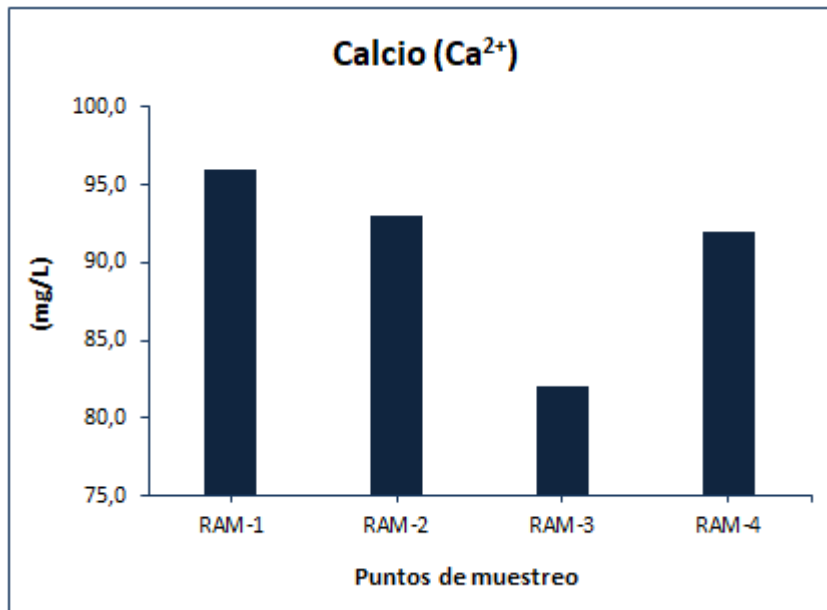
ANEXO 19. Valores obtenidos para el Eh medidos “*in situ*” en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno (Fuente: elaborado por el autor)



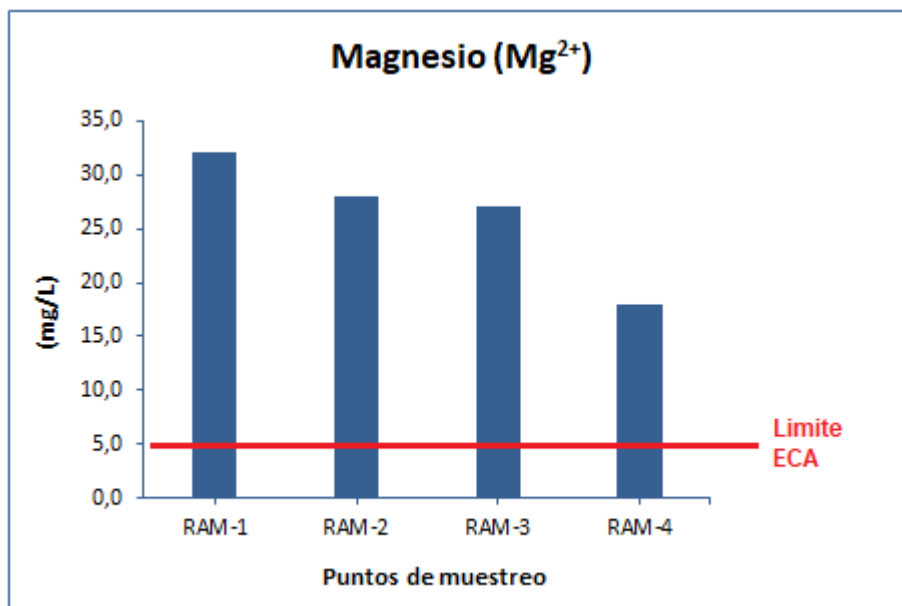
ANEXO 20. Valores obtenidos para el oxígeno disuelto en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno (Fuente: elaborado por el autor)



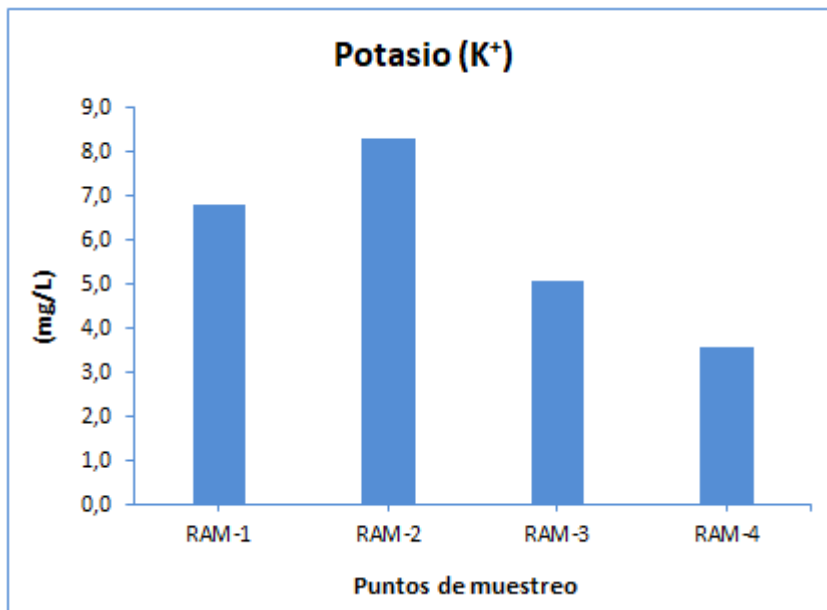
ANEXO 21. Valores obtenidos para el calcio en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno (Fuente: elaborado por el autor)



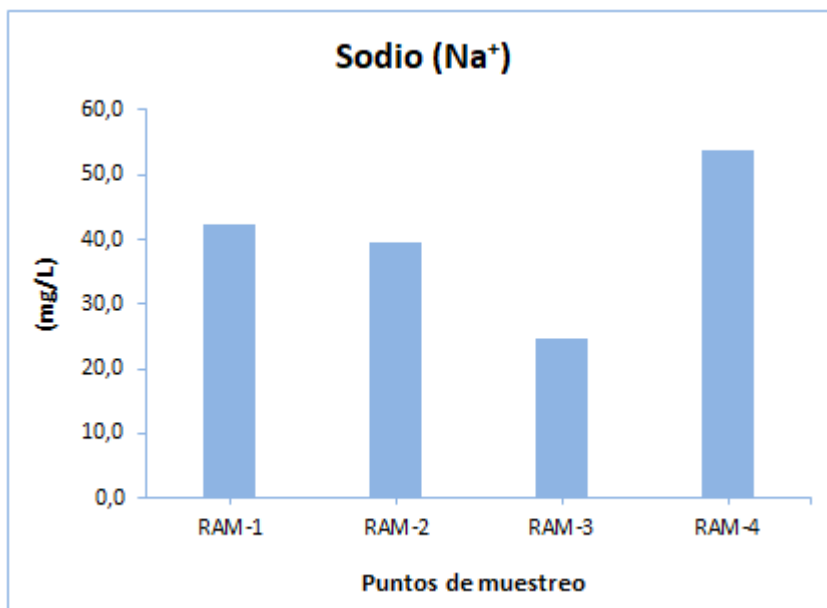
ANEXO 22. Valores obtenidos para el magnesio en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno (Fuente: elaborado por el autor)



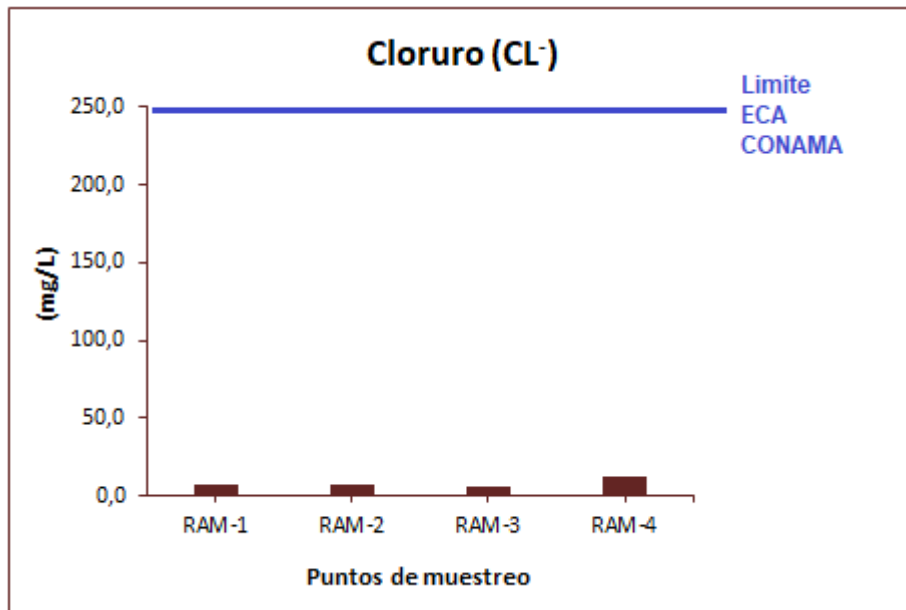
ANEXO 23. Valores obtenidos para el potasio en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del río Ramis, Región Puno (Fuente: elaborado por el autor)



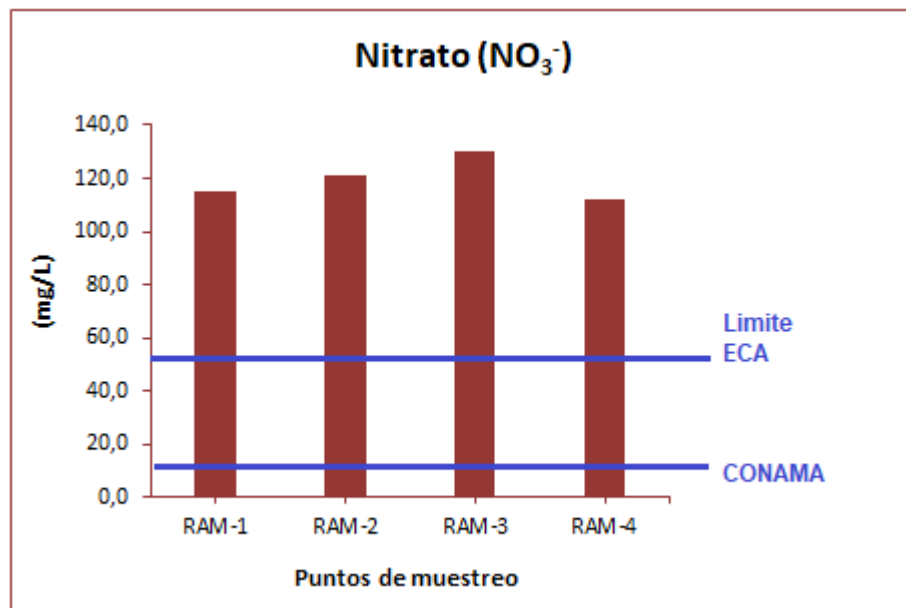
ANEXO 24. Valores obtenidos para el sodio en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del río Ramis, Región Puno (Fuente: elaborado por el autor)



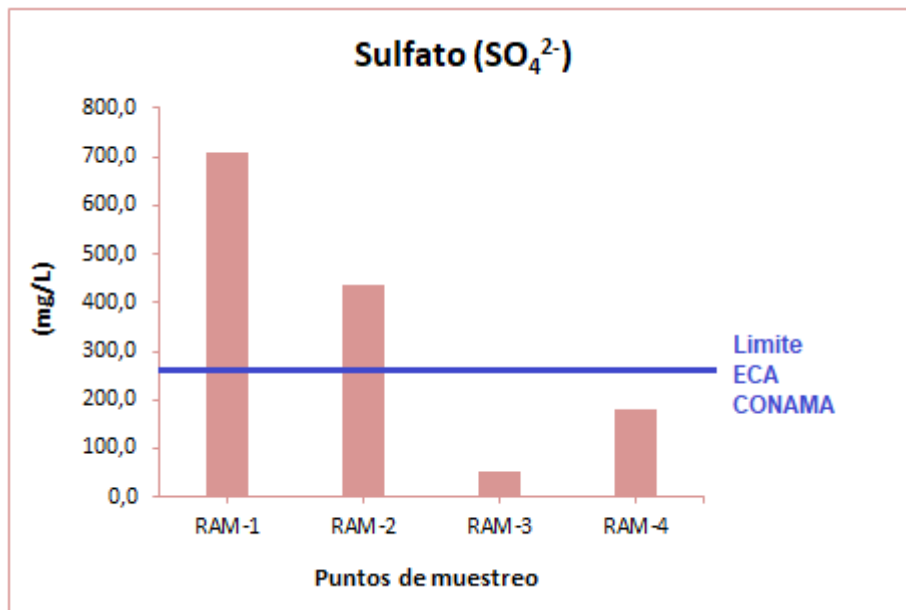
ANEXO 25. Valores obtenidos para el cloruro en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del río Ramis, Región Puno (Fuente: elaborado por el autor)



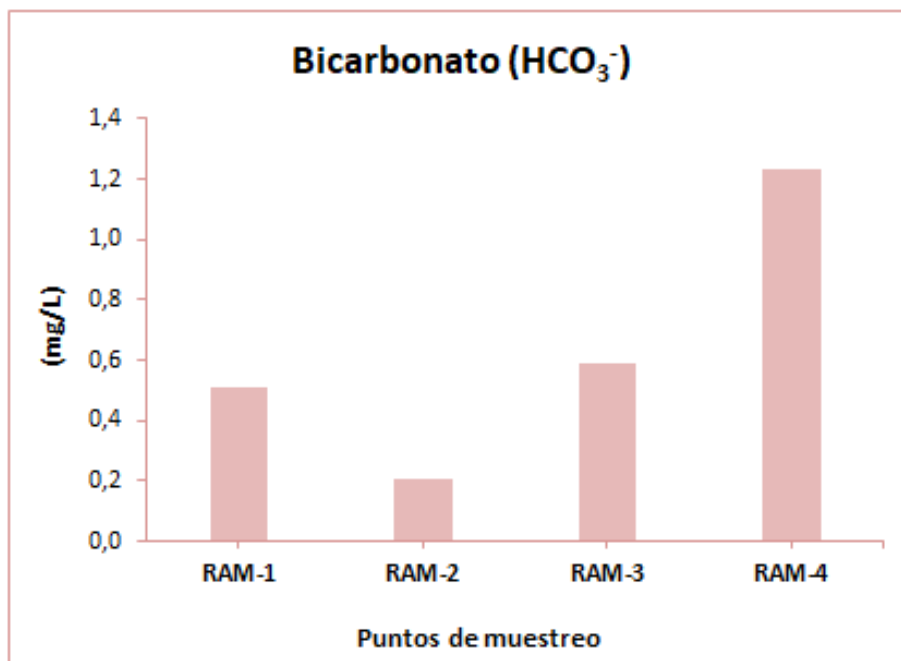
ANEXO 26. Valores obtenidos para el nitrato en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del río Ramis, Región Puno (Fuente: elaborado por el autor)



ANEXO 27. Valores obtenidos para el sulfato en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno (Fuente: elaborado por el autor)



ANEXO 28. Valores obtenidos para el bicarbonato en las muestras de agua de los 4 puntos de muestreo del rio Ramis, Región Puno (Fuente: elaborado por el autor)





ANEXO 29. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Juan Jesus Mamari Matamet.
identificado con DNI 80040681 en mi condición de egresado de:

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

Escuela profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia

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

"EVALUACION DE PARAMETROS FISICO QUIMICOS
DEL AGUA DEL RIO RAMIS, REGION PUNO.

Es un tema original.

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

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

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

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

Puno 18 de Noviembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 30. Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

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

Por el presente documento, Yo Juan Jesus Mamari Matamet.
identificado con DNI 80040681 en mi condición de egresado de:

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

Escuela profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ EVALUACION DE PARAMETROS FISICO QUIMICOS
DEL AGUA DEL RIO RAMIS, REGION PUNO

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 18 de Noviembre del 2029.


FIRMA (obligatoria)



Huella