



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## ESCUELA DE POSGRADO

### DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



#### TESIS

#### DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN AGUA Y SEDIMENTOS EN EL CENTRO POBLADO LA RINCONADA – PUNO

PRESENTADA POR:

OWAL ALFREDO VELASQUEZ VIZA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN: CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO  
AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2023

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN AGUA Y SEDIMENTOS EN EL CENTRO POBLADO LA RINCÓNADA - PUNO**

AUTOR

**OWAL ALFREDO VELASQUEZ VIZA**

RECuento DE PALABRAS

**21676 Words**

RECuento DE CARACTERES

**109669 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**120 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**4.5MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jul 16, 2023 7:17 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jul 16, 2023 7:19 PM GMT-5**

● **6% de similitud general**

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

- 5% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)



Ing. Jorge Durant Broden  
CIP. N° 47280





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO**  
**AMBIENTE**

**TESIS**



**DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN AGUA  
Y SEDIMENTOS EN EL CENTRO POBLADO LA RINCONADA – PUNO**

**PRESENTADA POR**  
**OWAL ALFREDO VELASQUEZ VIZA**  
**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**  
**DOCTORIS SCIENTIAE EN: CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

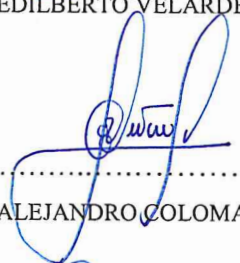
PRESIDENTE

  
.....  
Dr. SOFIA LOURDES BENAVENTE FERNANDEZ

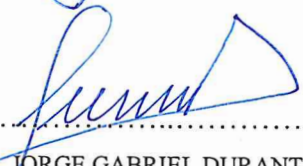
PRIMER MIEMBRO

  
.....  
Dr. EDILBERTO VELARDE COAQUIRA

SEGUNDO MIEMBRO

  
.....  
Dr. ALEJANDRO COLOMA PAXI

ASESOR DE TESIS

  
.....  
Dr. JORGE GABRIEL DURANT BRODEN

Puno, 17 de mayo del 2023

**ÁREA:** Ciencias de la Ingeniería  
**TEMA:** Contaminación por Mercurio  
**LÍNEA:** Recursos Naturales y Medio Ambiente



## DEDICATORIA

A Dios: por darme la oportunidad de seguir adelante y darme voluntad y esfuerzo para realizar el presente trabajo.

A mis hijos: si no los tuviera, mi vida sería un desastre. Cada vez que los veo, me doy cuenta que estoy frente a los retratos vivos de ustedes y yo al mismo tiempo siento más ganas de trabajar fuertemente y seguir con el objetivo de alcanzar mis metas. Ustedes son mi principal motivación. Gracias hijos.



## AGRADECIMIENTOS

A nuestro padre celestial por darme el regalo de la vida; nueva oportunidad para aprender, amar y ser cada vez mejor dentro de esta sociedad.

A la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, casa del saber y en especial a la Facultad de Ingeniería de Minas en donde forje mi formación académica. A la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, al Doctorado en Ciencia Tecnología y Medio Ambiente de la UNA, agradecerles a los docentes del Doctorado que me brindaron sus conocimientos, sabidurías, capacidades; así mismo agradecer al Dr. Mario Cuentas Alvarado por su constante querer de superación académica de sus prójimos para estar al servicio de la sociedad.

Mi más profundo agradecimiento a mi madre Julia Visa de Velasquez y a la memoria de mi padre Guillermo Velasquez Chayña, por el valor y esfuerzo que me supieron dar para el logro de cada uno de mis metas.



## ÍNDICE GENERAL

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

### CAPÍTULO I REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico	3
1.1.1. Impacto Ambiental	3
1.1.2. Productores mineros artesanales	4
1.1.3. Mercurio y la salud de los habitantes	4
1.1.4. Mercurio	4
1.1.5. Tipos de mercurio presentes en el medio ambiente	4
1.1.6. Metilmercurio	5
1.1.7. Mercurio orgánico	5
1.1.8. Mercurio inorgánico	5
1.1.9. Mercurio elemental	5
1.1.10. Usos del mercurio	6
1.1.11. Minería Artesanal	6
1.1.12. Estándares de Calidad Ambiental	6
1.1.13. Procedimiento de amalgamación en minería Artesanal	6
1.1.14. Clasificación de los cuerpos de agua	7
1.1.15. Riachuelos	7
1.1.16. Eficacia del agua	7
1.1.17. Mercurio en agua	8
1.1.18. Recolección de agua de lluvia en techos domiciliarios	9



1.1.19. Propiedades del mercurio	9
1.1.20. Contaminación de agua en La Rinconada	10
1.1.21. Parámetros fisicoquímicos del agua	10
1.1.22. Presencia del mercurio en lugares acuáticos	12
1.1.23. Sólidos disueltos	12
1.1.24. Mercurio en sedimentos	13
1.2. Antecedentes	14

## **CAPÍTULO II**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

2.1. Identificación del problema	21
2.2. Enunciados del problema	22
2.2.1. Problema general	22
2.2.2. Problemas específicos	22
2.3. Justificación	22
2.4. Objetivos	23
2.4.1. Objetivo general	23
2.4.2. Objetivos específicos	23
2.5. Hipótesis	23
2.5.1. Hipótesis general	23
2.5.2. Hipótesis específicas	24

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. Lugar de estudio	25
3.1.1. Ubicación	25
3.1.2. Accesibilidad	26
3.1.3. Clima	26
3.1.4. Geología	27
3.2. Población	31
3.3. Muestra	33
3.4. Método de investigación	33
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	34



3.5.1. Determinar la contaminación por efecto del mercurio en agua en el Centro Poblado La Rinconada de la provincia de San Antonio de Putina	34
3.5.2. Determinar la contaminación por efecto del mercurio en sedimentos en el Centro Poblado La Rinconada de la provincia de San Antonio de Putina	43
3.5.3. Procedimiento metodológico	43

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinar la contaminación por efecto del mercurio en agua y sedimentos	47
4.2. Determinar la contaminación por efecto del mercurio en agua	48
4.2.1. Interpretación de resultados	50
4.2.2. Análisis y diseño práctico ANOVA	55
4.2.3. Comparaciones en parejas de Tukey	58
4.3. Determinar la contaminación por efecto del mercurio en sedimentos	63
4.3.1. Análisis y diseño práctico	66
4.3.2. Comparaciones en parejas de Tukey para sedimentos	68
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXOS	88





## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Solubilidad del mercurio en agua y su relación con la temperatura	10
2. Parámetros climáticos en el Centro Poblado La Rinconada	11
3. Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA)	12
4. Coordenadas del área de estudio	25
5. Acceso al lugar	26
6. Parámetros de agua en el sitio de investigación	35
7. Características a considerar en el monitoreo de agua	37
8. Metodología de ensayos utilizados por el laboratorio en análisis de agua	42
9. Metodología de ensayos utilizados por el laboratorio en análisis de suelo	45
10. Valores de Igeo	46
11. Lugares de muestreo	47
12. Parámetros fisicoquímicos	50
13. Parámetros fisicoquímicos de las muestras recolectadas (1-9)	51
14. Parámetros fisicoquímicos de las muestras recolectadas (10-18)	51
15. Análisis de Varianza	56
16. Resumen del modelo	56
17. Media, desviación estándar de los análisis en agua	57
18. Comparaciones en parejas de Tukey	58
19. Análisis de Varianza para suelos y sedimentos	66
20. Resumen del modelo en suelos y sedimentos	66
21. Media, desviación estándar de los análisis en sedimentos	67
22. Comparaciones en parejas de Tukey para sedimentos	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Proceso tradicional de amalgama de oro	7
2. Recolección de agua de lluvia en techos para uso domestico	9
3. Mapa de ubicación del ámbito de estudio	26
4. Estructuras geológicas en el área de investigación	28
5. Columna estratigrafía del área de estudio	30
6. Micro cuenca La Rinconada	32
7. Rotulado de envases en muestreo de agua	36
8. Cadena de custodia para muestra de agua	38
9. Ubicación de los puntos de muestreo para agua	49
10. Perfil longitudinal de la microcuenca La Rinconada	50
11. Pronósticos, estudios de agua según la temperatura	52
12. Pronósticos, estudios de agua según el pH	52
13. Pronósticos, estudio de agua según la conductividad	53
14. Pronósticos, estudios de agua según el Oxígeno disuelto	54
15. Pronósticos, estudios de agua según la salinidad	54
16. Pronósticos, estudios de agua según T-Aire °C	55
17. Intervalos de confianza para la media	59
18. Gráfica de residuos para concentración de Hg en aguas	59
19. Concentración de Hg en los puntos de muestreo	60
20. Concentración de Hg en los puntos de muestreo (ECA)	61
21. Isovalores de concentraciones de Hg en agua	62
22. Gravedad en el entorno humano para el agua	63
23. Puntos de muestreo en sedimentos	64
24. Concentración del mercurio en los puntos de muestreo	65
25. Intervalos de Hg mg/kg	70
26. Gráfica de residuos para concentración de Hg en sedimentos	70
27. Mercurio en sedimentos (ECA)	71
28. Isovalores de concentraciones del Hg en sedimentos	72
29. Concentración del Hg mediante el Igeo acumulación para sedimentos	74



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM	89
2. D.S. N° 011-2017 MINAM (ECA)	90
3. Resultados del análisis de agua por el laboratorio CERTIMIN	92
4. Resultados del análisis del Hg en suelo/sedimentos por CERTIMIN	95
5. Cadena de custodia en muestras de agua	97
6. Parámetros de campo en muestras de agua	98
7. Cadena de custodia en muestras sólidas	99
8. Mapa de ubicación del sitio de investigación	100
9. Plano topográfico del ámbito de estudio	101
10. Fotografías del ámbito de estudio	102

## ABREVIATURAS

<b>Sigla</b>	<b>Denominación</b>
AAS	Espectrofotómetro de absorción atómica
ANA	Autoridad Nacional del Agua
APHA	American Public Health Association
ASGM	Sociedad de autismo de mayor Madison
ASTM	American Society for Testing and Materials.
AWWA	American Water Works Association.
CE	Conductividad Eléctrica
CEQG	Canadian Environmental Quality Guidelines
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ECA	Estándares de Calidad Ambiental
EEA	Espectrofotometría por Absorción Atómica
EPA	Agencia de Protección al Ambiente
Hg	Mercurio
Hg <sup>+2</sup>	Mercurio divalente
HgS	Sulfuro mercúrico
HTP o TPH	Hidrocarburos totales de Petróleo.
ICP-AES	Plasma acoplado por inducción (Advanced Encryption Standard).
ISO	International Organization for andardization.
mg/L	Miligramos/Litro
MINAM	Ministerio del Ambiente
mm	Milímetros
MP-AES	Agilent microwave plasma atomic emission Spectrometers.
MSAS	Multi-functional Satellite Augmentation System
NIMD	National Institute for Minamata Disease
NIOSH	The National Institute for Occupational Safety and Health.
NTP	Norma Técnica Peruana.
ng/L	Nanogramo por litro



OD	Oxígeno Disuelto
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
OMS	Organización Mundial de la Salud
RPD	Diferencia Porcentual Relativa
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SMEWW	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
WEF	Water Environment Federation.
WGS-84	World Geodetic System 1984



## RESUMEN

El uso del mercurio trae consecuencias negativas en la salud humana y al medio ambiente. Los objetivos de este trabajo de investigación fue determinar la contaminación por efecto del mercurio en agua y sedimentos en el Centro Poblado La Rinconada de la provincia de San Antonio de Putina. Los métodos empleados fueron; multiácida, método empírico de Bayes; para el análisis en el laboratorio, se utilizó el ensayo por mercurio total y longitud de onda Hg (435,834 nm) denominado "punto isosbético" a través de espectrofotómetro de emisión atómica, mediante un plasma microondas 4210 MP-AES y para el plasma por ensayo ICP-AES. En sedimentos; se utilizó la metodología de digestión multiácida mediante el análisis directo. Los resultados indican valores por encima de los LMP, el Hg en agua reveló horizontes similares de  $< 0,0001$  a  $0,0099$  mg/L, el pH registró un promedio general de 4,5 y el oxígeno disuelto  $4,63 \pm 1,4$  mg/L, valores que afirman su baja calidad. Los sedimentos presentaron cantidades de Hg de 1,24 - 27,08 mg/kg, sin diferencias indicadoras entre lugares y tiempo en meses. En conclusión, el 60 % de las muestras superaron los límites máximos permisibles que establece el (MINAM, 2017) y de los CEQG. Los valores de acumulación afirmaron que; la microcuenca está considerablemente contaminado por Hg. Se empleó la prueba de Tukey donde se encontró discrepancias significativas ( $p < 0,05$ ) obteniendo un R-de predicción con un valor de 88,31 % y 87,16 %, el valor se ajusta al modelo planteado.

**Palabras clave:** Agua, Contaminación, Medio ambiente, Mercurio, Sedimentos.



## ABSTRACT

The mercury use has negative consequences on human health and environment. The research objectives was to determine the contamination due to the mercury effect in water and sediments in “La Rinconada” Population Center in San Antonio de Putina province. The methods used were; multiacid, empirical Bayes method; For analysis in the laboratory, the test for total mercury and Hg wavelength (435.834 nm) called "isosbestic point" was obtained through an atomic emission spectrophotometer, using a 4210 MP-AES microwave plasma and for the plasma by test ICP-AES. In sediments; the multiacid digestion methodology was acquired by direct analysis. The results indicate values above the LMP, Hg in water reveals similar horizons from  $< 0.0001$  to  $0.0099$  mg/L, the dissolved pH a general average of 4.5 and the dissolved oxygen  $4.63 \pm 1, 4$  mg/L, values that confirm its low quality. The sediments presented amounts of Hg of 1.24 - 27.08 mg/kg, without indicative differences between places and time in months. In conclusion, 60% of samples exceeded the maximum permissible limits established by (MINAM, 2017) and the CEQG. Accumulation Values claimed that; the microbasin is considerably contaminated by Hg. Tukey's test was used where significant discrepancies were found ( $p < 0.05$ ), obtaining an R-prediction with a value of 88.31% and 87.16%, the value adjusts to the proposed model.

**Keywords:** Environment, Mercury, Pollution, Sediment, Water.

## INTRODUCCIÓN

La pequeña minería artesanal establece una actividad económica significativa para el país, por ello involucra serios problemas a la salud humana (Goyzueta & Trigos, 2009) y al medio ambiente (Niane *et al.*, 2019). En el Perú, existe aproximadamente 200 000 mineros artesanales, esto constituye una amenaza significativa para los seres humanos y la salud ecológica en lugares donde se desarrolla esta actividad (R. Escobar *et al.*, 2019).

Los relaves mineros y desechos al entrar en contacto con el agua reaccionan y liberan metales en sus diferentes formas, además de iones como el hidrógeno que las acidifican (Peña & Eddie, 2017). La dificultad radica en que estos metales son altamente tóxicos, biodisponibles y no biodegradable, lo que facilita su circulación en el sitio biótico del ecosistema (Laderriere *et al.*, 2021).

El mercurio destaca entre los metales de mayor fusión, es utilizado en la pequeña minería aurífera por los mineros artesanales en el lugar debido a la alta eficiencia, simplicidad y bajo costo relativo (Balzino *et al.*, 2015).

El oro en La Rinconada actualmente es extraído por trabajadores artesanalmente de vetas de cuarzo mineralizado en lecho rocoso meta sedimentario (Rodriguez *et al.*, 2021). Esto se logra predominantemente por pequeños grupos, así como las contratas mineras, a menudo unidades familiares de todas las edades, sin la protección adecuada o educación sobre los riesgos para la salud por manipulación de mercurio (Vicente *et al.*, 2020).

En La Rinconada, el mineral de roca se tritura en molino de bolas hasta aproximadamente 0,1 mm de diámetro, las pérdidas de mercurio (vertidos al medio ambiente) en los molinos oscilan entre 6 y 9 g para recuperar 1 g de oro; en los “quimbaletes” fluctúa entre 5 y 17 g de mercurio para recuperar 1 g de oro (Cuentas y Velarde, 2019). Se mezcla proporcionalmente con mercurio y agua en trapiches y molinos de bola. El mercurio amalgamado se separa mediante una batea y luego se exprime a mano a través de un paño fino para separar el mercurio líquido de la semi amalgama sólida de Au-Hg. Relaves (mineral gastado) (Gammons *et al.*, 2006) que contienen el mercurio residual se desecha en estanques de sedimentación o drenajes incontrolados, mientras que la amalgama primaria se quema al aire libre para expulsar el mercurio y producir una bola de oro (Velásquez *et al.*, 2021).





El mercurio es evaporado, atrapado en los sedimentos y trasladado por la corriente de agua hacia las partes bajas (Marín *et al.*, 2016).

Mediante este trabajo de investigación se pretende determinar la contaminación por efecto de mercurio en agua y sedimentos en el Centro Poblado La Rinconada, por lo que el trabajo está dividido en cuatro capítulos.

El capítulo I, narra brevemente el marco teórico donde se ha coleccionado las referencias de investigaciones elaboradas en contextos parejos que conduzcan en la realización de la tesis por métodos validadas definitivas de excelencia previas y consideraciones teóricas para ordenar la creación científica mecánica y la notabilidad del argumento a estudiar (Torres *et al.*, 2016). En el capítulo II, se especifica el esquema del problema, por lo que se basa de acuerdo a los objetivos trazados en esta investigación. En el capítulo III, describe el sitio de trabajo, se redacta la población, la muestra, también el proceso metodológico que describe para alcanzar los objetivos, las variables dependientes y/o independientes, los distintos equipos y materiales servibles en la ejecución del trabajo. El capítulo IV, describe los resultados y discusiones del trabajo, obtenido cuadros estadísticos utilizando el software Minitab versión 19, a su vez los resultados del laboratorio CERTIMIN, por último, las conclusiones, recomendaciones necesarias, bibliografía consultada y anexos referidos.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1. Marco teórico

##### 1.1.1. Impacto Ambiental

Ocurre como consecuencia inmediata de una acción humana con impactos directos, pero también existen otro tipo de impactos (Brousett *et al.*, 2021). Hay impactos indirectos producidos de manera secundaria por la acción humana debido a las múltiples interacciones, ejemplo: la acción en la minería ilegal (Espinoza, 2018).

A su vez existen impactos acumulativos los cuales se incrementan por los impactos colectivos o de otras operaciones. Además, están los impactos sinérgicos que resultan del efecto de varias acciones (Espinoza, 2018).

La contaminación ambiental describe niveles críticos, por el cambio en el proceso de recuperación del oro, debido al incremento exponencial del uso de mercurio (Goyzueta & Trigos, 2009). El lago Rinconada recepciona los efluentes que provienen de la actividad minera artesanal y esta poza podría estar conteniendo la gran parte de los sedimentos contaminados (Loza y Ccancapa, 2020).

El daño causado por la minería depende del método de extracción, los procesos de beneficio, la escala operativa, ubicación y características del medio ambiente receptor, el grado de mercurio utilizado, las contaminaciones causadas al suelo no han sido adecuadamente relacionados con los tipos (Pabón *et al.*, 2020).

### **1.1.2. Productores mineros artesanales**

Estas acciones ocurren a tajo abierto y utilizan canaletas precarias en una puruña después de este proceso el minero artesanal lava el oro mediante el giro de la batea y depositándose el oro en la base con ayuda manual, y si existiera oro fino lo depositan en botellas de plástico para después amalgamarlo con mercurio y el refógue o “quema” lo hacen en sus domicilios en cocinas a leña o gas (Espinoza, 2018).

### **1.1.3. Mercurio y la salud de los habitantes**

En el Perú el principal uso que le dan al mercurio es para la pequeña minería aurífera (Espinoza, 2018). El país es líder en reducción en las emisiones y recuperación de subproductos de mercurio en operaciones mineras a gran escala (Sharma *et al.*, 2019), algo que no ocurre con la minería artesanal. Posteriormente de la amalgamación, para obtener el metal oro es quemado al fuego y el vapor que produce va a la atmósfera (Loza y Ccancapa, 2020), si existe una alta humedad relativa se oxida en pocos días y es devuelto de nuevo al suelo con la lluvia en forma de  $Hg^{+2}$ . Tanto éste como el evaporado van a parar finalmente a los ríos, contaminando el agua y los organismos acuáticos y plantas asociados (Espinoza, 2018).

### **1.1.4. Mercurio**

Elemento químico de número atómico 80 y símbolo Hg, peso atómico 200,59; líquido blanco plateado a temperatura ambiente (punto de fusión  $-38.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); ebulle a  $357\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Goyzueta y Trigos, 2009). Es un metal noble, soluble en soluciones oxidantes. Es altamente tóxico, persistente y según la OMS, es considerado uno de los diez productos o grupos de productos químicos que plantean especiales problemas de salud pública (INTI, 2018).

### **1.1.5. Tipos de mercurio presentes en el medio ambiente**

Mercurio inorgánico o metálico (Hg). Se encuentra de forma natural en el suelo (INTI, 2018), pero sus concentraciones se incrementan exponencialmente por los vertidos del hombre mediante la minería artesanal. En el agua, por su elevada densidad, el mercurio se deposita y acumula en el barro del fondo (Espinoza, 2018).

### 1.1.6. Metilmercurio

Es un catión organometálico de fórmula química  $[\text{CH}_3\text{Hg}]^+$ . Se trata de un compuesto neurotóxico capaz de concentrarse en el organismo (bioacumulación) y concentrarse así mismo en las cadenas alimentarias (biomagnificación) (Goix *et al.*, 2019). Los peces y otros pequeños organismos (caracoles, cangrejos, gusanos, etc.), se alimentan del lodo y estos ingieren el metilmercurio se acumula en los tejidos (bioacumulación) (Espinoza, 2018).

### 1.1.7. Mercurio orgánico

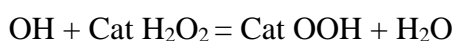
El mercurio orgánico llamado fenilmercurio es utilizado en productos comerciales, otro producto de mercurio orgánico llamado dimetilmercurio también se usa en pequeñas cantidades como norma de referencia en ciertas pruebas químicas (Yevugah *et al.*, 2021). El dimetilmercurio es el único compuesto de mercurio orgánico que se ha identificado en sitios de desechos peligrosos (Pabón *et al.*, 2020). Se ha encontrado en cantidades pequeñas en solamente dos sitios de desechos peligrosos (Fierro, 2017).

### 1.1.8. Mercurio inorgánico

Los compuestos de mercurio inorgánico se producen cuando el mercurio se combina con elementos tales como el cloro, azufre u oxígeno (Fierro, 2017). Estos compuestos de mercurio se llaman sales de mercurio (Gammons *et al.*, 2006). Los compuestos de mercurio inorgánico toman la forma de sales de mercurio y, por lo general, son cristales o un polvo color blanco (Aparicio, 2015), con la excepción del sulfuro de mercurio (cinabrio), que es color rojo. La mayoría de los usos de los compuestos inorgánicos fueron suspendidos (Berzas Nevado *et al.*, 2009).

### 1.1.9. Mercurio elemental

El Hg elemental, es un metal pesado que tiene una coloración gris-plateado de ahí a temperatura ambiente es líquido, son tóxicos para el sistema nervioso central y el periférico (Vicente *et al.*, 2020). La inhalación de vapor de mercurio puede ser perjudicial para el sistema nervioso e inmunitario, aparato digestivo, los pulmones y riñones, con consecuencias a veces fatales (Berzas Nevado *et al.*, 2009).

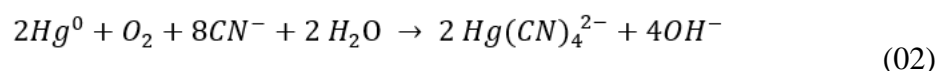


### 1.1.10. Usos del mercurio

El uso del mercurio por los trabajadores, libera mercurio en el medio ambiente y crea riesgos para los habitantes de las comunidades cercanas (R. Escobar *et al.*, 2019), sobre todo los que consumen pescado contaminado con este elemento, mujeres en edad de procrear y niños siendo los más vulnerables (Parker *et al.*, 2022), como resultado una extensa degradación del medio ambiente y la contaminación del ecosistema, efectos que pueden perdurar durante varias décadas después del cese de las actividades mineras (Blesa y Castro, 2015).

### 1.1.11. Minería Artesanal

Es una fuente de ingresos importante para los mineros, especialmente en comunidades y regiones rurales donde las alternativas económicas son sumamente limitadas (Loza y Ccancapa, 2020). Hay por lo menos 100 millones de personas en más de 55 países que dependen de esta actividad para subsistir (Niane *et al.*, 2019). Se cree que la minería del oro explotado artesanalmente y en pequeña escala produce entre el 20% y 30% del oro a nivel mundial, es decir, entre 500 y 800 toneladas anuales (PNUMA, 2008). El uso de mercurio para concentrar el oro del mineral puede resultar en la liberación a los sistemas acuáticos hasta el 70 % de mercurio que se pierde; entre 20% y 30 % se libera al aire (Mantey *et al.*, 2020). La descarga al agua empeora cuando se usa mercurio y cianuro, ya que este último compleja al mercurio, facilita su disponibilidad en el medio acuoso (Blesa & Castro, 2015).



### 1.1.12. Estándares de Calidad Ambiental

Las Normas Internacionales para el agua potable de la OMS de 1958 y 1963 no hicieron referencia al mercurio (Salas, 2018). El mercurio se mencionó por primera vez en las Normas Internacionales de 1971, donde se propuso un límite superior provisional de concentración de 0,001 mg/L (MINAM, 2017).

### 1.1.13. Procedimiento de amalgamación en minería Artesanal

Consiste en mezclar la fracción mineral pesada del sedimento extraído o roca triturada con mercurio líquido para formar un semisólido Amalgama Hg-Au. Luego se tuesta la

amalgama, conduciendo a eliminar el Hg como vapor y deja atrás el Au purificado (Goix *et al.*, 2019). Aunque es posible capturar y reciclar los vapores de mercurio con uso de retorta, los mineros artesanales por lo general, omite este paso. Además de tostar, el Hg también puede entrar al medio ambiente en forma líquida a partir de derrames, o como gotas residuales de Hg en relaves (Gammons *et al.*, 2006).

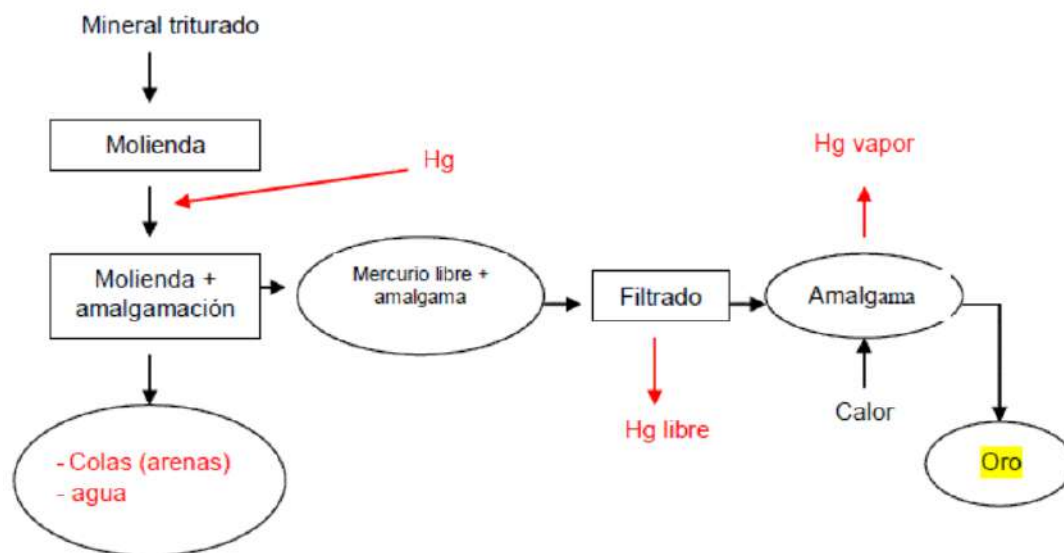


Figura 1. Proceso tradicional de amalgama de oro

Fuente: (Cuentas y Velarde, 2019)

#### 1.1.14. Clasificación de los cuerpos de agua

Los cuerpos de agua están interconectados, a través del ciclo hidrológico y puede ser de tipo quebrada, lagos, y lagunas también puede ser tipo cuenca (Sierra, 2019).

#### 1.1.15. Riachuelos

Estos cuerpos se caracterizan por que fluyen unidireccionalmente con velocidades medio respectivamente altas que varían entre 0,1 y 1 m/s, dependiendo de las circunstancias climáticas y de los tipos del área de drenaje, la creciente de agua varía según sea el caso. Por ello, los ríos son cuerpos de agua los cuales pueden considerarse persistentemente mezclados y en la mayoría de ellos, la calidad del agua es importante en el sentido del flujo (Sierra, 2019).

#### 1.1.16. Eficacia del agua

Se considera libre de sustancias y microorganismos peligrosos para los consumidores y libre de sustancias que transmitan sensaciones desagradables para el consumo, como

olor, color, sabor o turbidez (Qu *et al.*, 2020). En el Perú, la importancia de la calidad del agua para consumo humano es de 0,001 mg/L de concentración de mercurio (MINAM, 2017), para la extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas el ECA es: 0,00077 mg/L, el agua es una fuente principal de transmisión de muchas enfermedades que afectan al ser humano (Varol, 2020).

#### **1.1.17. Mercurio en agua**

El mercurio en el ecosistema acuático es el ciclo de varias especies de mercurio. La entrada al ambientes acuáticos podría ser a través del agua superficial o subterránea, de descargas industriales, pequeña minería artesanal o instalaciones de aguas residuales, sedimentos y deposición atmosférica (Fierro, 2017).

La presencia de mercurio en agua se debe principalmente a los residuos de actividades productivas como la minería artesanal (Gammons *et al.*, 2006), además de las debidas a causas naturales por fenómenos geológicos como la meteorización, la erosión de las rocas y la lixiviación (Rodriguez *et al.*, 2021). La interacción de este metal con el ecosistema depende de la forma y especie química en la que se encuentre, además de otros factores como el pH, las condiciones de óxido-reducción del agua (Posada & Arroyave Maya, 2006), la presencia de sustancias orgánicas con capacidad de formar complejos químicos y diversos factores climáticos (Fierro, 2017).

Los efectos en la salud de los mineros son nefastos, con mercurio inhalado lo que lleva a daños neurológicos y otros problemas de salud (Parker *et al.*, 2022). Las comunidades cerca de los sitios contaminados por mercurio con el agua y el suelo y la posterior acumulación en los alimentos básicos, como la pesca, una fuente importante de proteína dietética (Mantey *et al.*, 2020).

Los riesgos para los niños son sustancialmente menores, con emisiones de mercurio que resultan tanto en daños físicos y las discapacidades mentales y el desarrollo comprometido. vapor de mercurio inhalado por operadores de minas ilegales podría resultar en deterioro cognitivo función, daño neurológico (Sharma *et al.*, 2019), daño renal y varios problemas de salud. El mercurio liberado a la atmósfera por el tostado de la amalgama causa problemas en las vías respiratorias tras la exposición. En los derrames, el mercurio se deposita directamente en el suelo o cuerpos de agua (Obiri-Yeboah *et al.*, 2021).

### 1.1.18. Recolección de agua de lluvia en techos domiciliarios

Los habitantes de La Rinconada realizan la captación de agua de lluvia para su consumo mediante el techo de su vivienda hasta depositarlo en tanques o cilindros para luego consumirla sin darse cuenta que el líquido contiene mercurio producto de la amalgama volatilizada. (figura 2)

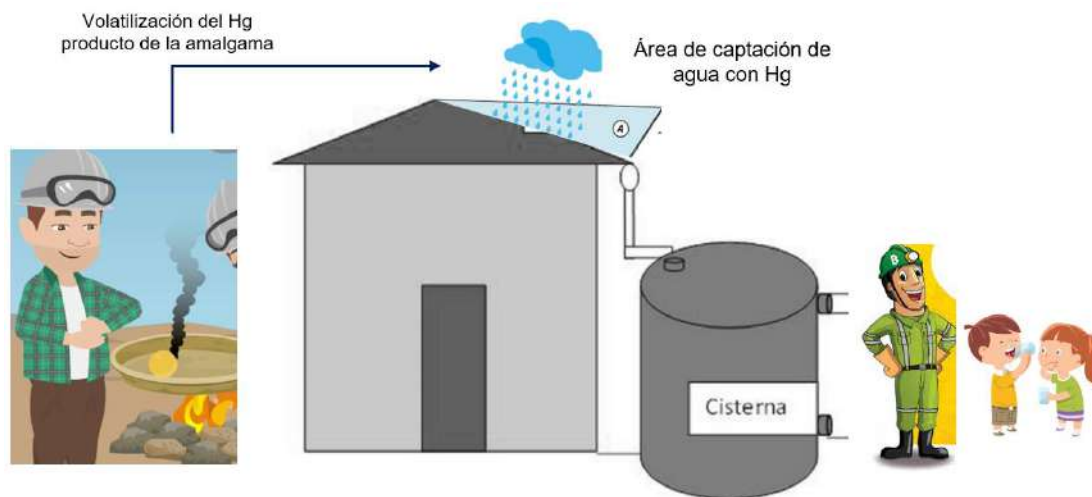


Figura 2. Recolección de agua de lluvia en techos para uso domestico

Fuente: (Ímaz *et al.*, 2018)

### 1.1.19. Propiedades del mercurio

EL mercurio es un metal brillante color plata, que a temperatura del ambiente se encuentra en estado líquido (INTI, 2018), temperatura de fusión de  $-38,83\text{ }^{\circ}\text{C}$  y su temperatura de ebullición es  $357,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Su peso específico  $13,6\text{ g/cm}^3$  ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (Yevugah *et al.*, 2021). El mercurio metálico debido a su alta precisión de vapor se evapora fácilmente a temperatura ambiental; a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  su concentración en el aire puede alcanzar hasta  $0,014\text{ g/m}^3$  y a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $2,4\text{ g/m}^3$  (Chamizo, 2018). Generalmente se habla de vapor de mercurio elemental que se encuentra presente en la atmosfera o de mercurio metálico cuando está en su forma líquida (X. Chen *et al.*, 2022).



Tabla 1.

*Solubilidad del mercurio en agua y su relación con la temperatura*

Contenido	T°
60 mg/l	20 °C
250 mg/l	50 °C
1100 mg/l	90 °C

Fuente: (Espinoza, 2018)

### 1.1.20. Contaminación de agua en La Rinconada

La contaminación ambiental proviene de los sectores de La Rinconada y Cerro Lunar, cabecera de la cuenca hidrográfica Ramis (Fierro, 2017), se observa que la actividad minera desecha sus relaves mineros a la intemperie y al cuerpo de agua circundantes además el quemado de la amalgama provoca que los gases emitidos estén compuestos de mercurio los mismos que precipitaran a la superficie terrestre contaminando todo lo que encuentre en su recorrido (Loza y Ccancapa, 2020).

### 1.1.21. Parámetros fisicoquímicos del agua

#### a) Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es una medida utilizada para evaluar la acidez o la alcalinidad de una solución (Chamizo, 2018). La sustancia ácida en solución acuosa libera protones. Las sustancias alcalinas aportan el ion hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) al medio ambiente (Peña & Eddie, 2017). El pH óptimo de las aguas para consumo humano debe estar entre 6,5 y 8,5, es decir entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado  $\text{pH} = 9$  (Yevugah *et al.*, 2021).

#### b) Temperatura

La temperatura del agua regula en forma directa la concentración de oxígeno, la tasa metabólica de los organismos acuáticos y los procesos vitales asociados como el crecimiento (Vieira *et al.*, 2021), la maduración y la reproducción. El ciclo de temperatura influye en plantas y animales (Campeau *et al.*, 2022).

Tabla 2.

*Parámetros climáticos en el Centro Poblado La Rinconada*

Desc.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agt	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Temp. max. Media °C	8,3	7,7	8	8,6	8,5	8,2	8,2	9,6	9,6	11	10,3	8,7	8,9
Temp. media °C	2,6	2,5	2,4	1,7	0,5	-1,7	-1,5	-0,4	1,3	2,5	2,4	2,7	1,3
Temp. min Media °C	-3,1	-2,6	-3,2	-5,1	-7,5	-11,6	-11,2	-10,3	-7	-5,9	-5,5	-3,3	-6,4
Precipitación total (mm)	135	113	106	50	19	7	6	15	34	51	67	104	707

Fuente: (SENAMHI, 2022)

**c) Conductividad**

La conductividad del agua, es una expresión de su habilidad para transportar una corriente eléctrica (Chamizo, 2018). La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación (Sierra, 2019). Por lo que cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad (Aparicio, 2015).

**d) Sólidos totales disueltos**

El término TDS (Total Dissolved Solids) describe la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. El TDS y la conductividad eléctrica están estrechamente relacionadas (Sierra, 2019). Cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica (Chamizo, 2018). La mayoría de los sólidos que permanecen en el agua tras una filtración de arena, son iones disueltos (Sierra, 2019).

**e) Oxígeno disuelto**

El oxígeno disuelto (OD), es un parámetro crítico para caracterizar la salud de un sistema acuático (Laderriere *et al.*, 2021). El oxígeno disuelto en el agua, es utilizable para los peces y otros organismos acuáticos (Chamizo, 2018). El contenido de OD resulta de las actividades fotosintéticas y respiratorias de la flora y fauna en el sistema (Laderriere *et al.*, 2021), y la mezcla de oxígeno atmosférico con aguas a través del viento y la acción de la corriente del arroyo (Fierro, 2017).

### 1.1.22. Presencia del mercurio en lugares acuáticos

El mercurio arrastrado a los cuerpos de agua provenientes de las actividades mineras se fija a la capa de humus del suelo (Sierra, 2019), específicamente en los sedimentos que están presentes en los sistemas acuáticos, en la medida que la materia orgánica se sedimenta en el fondo (Chamizo, 2018), el mercurio es adsorbido y su concentración en la columna de agua disminuye los sedimentos hacia el fondo se tornan más anaeróbicos y el mercurio precipitado pasa a sulfuro mercúrico (HgS), como elemento estable, reduciendo la posibilidad de ser reintegrado a la columna de agua (Berzas Nevado *et al.*, 2009).

Tabla 3.

*Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA)*

Parámetros en mg/Kg PS	Unidad de Medida	E2: Ríos	D1: Riego de vegetales
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	
Color (b)	Verd-Pt/Co	20(a)	100(a)
Conductividad	mg/L	1000	2500
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	10	15
Cloruros	mg/L	-	500
Bicarbonatos	mg/L	-	518
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	-	40
Detergentes (SAAM)	mg/L	-	0,2
Fenoles	mg/L	2,56	0,002
Oxígeno Disuelto (Valor Mínimo)	Unidad de pH	≥5	
Potencial de Hidrogeno (pH)	mg/L	6,5 a 9,0	
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	≤100	
Sulfuros	mg/L	0,002	
Temperatura	°C	Δ3	
Mercurio	mg/L	0,001	

Fuente: (MINAM, 2017)

### 1.1.23. Sólidos disueltos

Se refiere a la cantidad de sólidos en el agua y la transmisión eléctrica que son afines entre sí. Cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica (Sierra, 2019). Los sólidos que permanecen en el agua

tras una filtración de arena, son iones disueltos. El agua de alta pureza (Chamizo, 2018), en el caso ideal contiene solo H<sub>2</sub>O sin sales o minerales tiene una conductividad eléctrica muy baja (Peña & Eddie, 2017). La temperatura del agua afecta a la conductividad eléctrica de forma que su valor aumenta de 2 a un 3 % por grado Celsius (Velásquez *et al.*, 2021).

#### **1.1.24. Mercurio en sedimentos**

El Hg cuando es liberado dentro del medio ambiente acuático, es depositado en la parte superior de los sedimentos (Aparicio, 2015). El Hg en los sedimentos forma complejos y por acción microbiana puede metilarse formando metilmercurio. La movilidad del mercurio, puede viajar de 100 a 180 km de distancia de las emisiones (Fierro, 2017).

El mercurio del suelo es absorbido por las plantas y llega a los frutos y semillas consumidos por las especies herbívoras (Pabón *et al.*, 2020). En el agua, el mercurio es metilado por las bacterias de los sedimentos que producen metilmercurio, que se bioacumula a lo largo de los alimentos cadena y se acumula en altas concentraciones en organismos que preceden en peces (Fierro, 2017). Al consumir el pescado contaminado con metilmercurio o plantas cultivadas en suelos contaminados.

El Hg en la atmósfera puede entrar en el entorno de suelo y agua circundante a través de la deposición seca y húmeda (Ali *et al.*, 2016). Estudios previos han demostrado que el Hg es uno de los antropogénicos metales pesados registrados en sedimentos, no solo el sumidero efectivo de la deposición de mercurio atmosférico y las descargas de aguas residuales, pero también la fuente de metilmercurio (Hasimuna *et al.*, 2021). La toxicidad y la movilidad del Hg en los sedimentos dependen en gran medida de sus formas químicas específicas junto con su unión con las partículas de sedimento.

## 1.2. Antecedentes

Berzas Nevado *et al.* (2009), ha investigado la especiación y partición del mercurio (Hg) en un sistema fluvial-reservorio afectado por las actividades mineras de Almadén, el distrito de Hg más grande del mundo. La variación de mercurio fue de 7 a 74  $\mu\text{g/g}$  en sedimentos del río Valdezogues, mientras en sedimentos del embalse de la Serena estuvieron por debajo de los 2  $\mu\text{g/g}$ . Por su parte, el metil-Hg alcanzó concentraciones de hasta 0,3 ng/L en agua y 6 ng/g en sedimento del embalse de la Serena, en el río Valdezogues las concentraciones máximas fue de 5 ng/L y 880 ng/g en agua y sedimento. El Hg total en el agua se correlacionó fuertemente con los sólidos disueltos totales y las concentraciones de clorofila, mientras que las concentraciones de carbono orgánico y Fe parecen desempeñar un papel en la metilación del Hg inorgánico en los sedimentos.

Lin *et al.* (2010), el agua, los sedimentos y el suelo en una región con una grave contaminación por Hg como resultado de la minería y la retorta de Hg. Con el fin de evaluar la movilidad potencial y la biodisponibilidad de Hg en áreas contaminadas, se utilizó la metodología de extracción secuencial refinada para Hg en el suelo y sedimento, lo que permitió la identificación de las siguientes fracciones conceptuales de Hg elemental, Hg intercambiable, Hg fuertemente ligado y orgánico-Hg unido. El resultado de concentraciones de Hg total fue tan alto como 480  $\text{mg Kg}^{-1}$  en sedimentos de arroyos y 130  $\text{mg Kg}^{-1}$  en suelo, respectivamente, para la mayoría de las muestras de suelo y sedimento. En conclusión, el Hg elemental solo se encuentra en proporciones significativas cerca de unas pocas retortas artesanales que aún están activas.

Aparicio (2015), el mercurio es liberado en diversas partes de la atmosfera esta investigación tuvo como objetivo determinar la presencia de mercurio-total en la cuenca del río Tambopata. Obtuvieron 163 muestras de tejido de peces y cabello de seres humanos entre los años 2003, 2004 y 2005. Fue analizada mediante la metodología de Espectrofotometría de Absorción Atómica por arrastre de vapor frío de Hg. Como resultado se sabe que existe Hg total en las zonas alta y baja, en conclusión, esos resultados indican que supera los límites máximos permisibles que establece y recomienda la OMS si como tejido de peces y cabello de los humanos analizados.

Balzino *et al.* (2015), en su trabajo de investigación hace mención que; el principal proceso mediante el cual los mineros artesanales separan el oro (Au) del sedimento mediante amalgama de mercurio (Hg). Analizando por el proceso de amalgamación, fue posible cuantificar el Hg liberado y recuperado del medio ambiente. Los resultados muestran contrariamente a la creencia común, el Hg se recupera del fondo del río en lugar de liberarse. En la región del río Madeira se debe desarrollar campañas de sensibilización el uso de tecnologías más eficientes y libres de Hg para la recuperación de Au.

Fierro (2017), la contaminación de los ríos, lagos por mercurio (Hg) es un problema ambiental. En este trabajo evaluó los niveles de Hg en agua, sedimentos y peces del lago Xolotlán, producto de las fuentes humanas, recolectaron muestras en épocas de invierno del lago. Mediante la metodología NIMD (National Institute for Minamata Disease). Se determinó la cantidad de mercurio en agua, fue la fracción total disuelta, en sedimentos del lago, fuentes termales y en cuatro diferentes especies de peces derivados del lago. Como resultado se obtuvo Hg en agua un rango de (0,14 ng. 1<sup>-1</sup>) a (45,34 ng. 1<sup>-1</sup>), en invierno el 27 % y en verano 25 %. En conclusión, las mayores cantidades de Hg fue en sedimentos y peces.

Alvarez (2018), menciona que; existe mucha contaminación a nivel del sur del país por los metales pesados, la cuenca del río Ramis sufre mucha contaminación producto de la minería ilegal, este trabajo de investigación pretende mostrar los niveles de contaminación por metales por medio del análisis químico de aguas de la zona en estudio. La metodología empleada inicia a partir de la extracción de muestras de agua en 5 zonas de monitoreo. Como resultado supera los límites máximos permisibles en cadmio 0,00429 mg/L, 0,00040 mg/L, cromo 0,00841 mg/L, 0,00877 mg/L, hierro 7,96 mg/L y zinc 1,059 mg/L. En conclusión, se sabe que existe metales pesados en los lugares de estudio para ello se recomienda tomar medidas ambientales correctivas por sobre todo para el cadmio que es un elemento toxico.

Kumar *et al.* (2018), a nivel mundial, la minería artesanal es responsable de un tercio de todo el mercurio liberado al medio ambiente. Las concentraciones de mm Hg también fueron mayores en el nivel trófico de murciélagos más alto (insectívoros) y en áreas donde se experimenta minería artesanal extractiva. Las hembras reproductoras de murciélago tenían concentraciones más altas de mm Hg, y tanto los murciélagos juveniles como los adultos de sitios contaminados con mercurio tenían más mm Hg que los de sitios no

contaminados. Las poblaciones naturales pueden actuar como centinelas ambientales y ofrecer la oportunidad de ampliar nuestra comprensión y las respuestas a las preocupaciones ambientales y de salud humana.

Goix *et al.* (2019), en algunos lugares, la extracción de oro artesanal y en pequeña escala representa una fuente importante de Hg antropogénico a ambientes de agua dulce. El Hg liberado de la ASGM puede contaminar la fauna acuática y representan riesgos en la salud de los habitantes río abajo. Las composiciones se analizaron en muestras de agua, material particulado en suspensión, suelo y sedimento del fondo de áreas vírgenes y en lugares de minería de oro activa y heredada a lo largo del río Oyapock (Guayana Francesa) y sus afluentes. Como resultado, más de la mitad (66 a 74%) se origina en Hg (0) líquido que se libera durante la ASGM. Los 4 Hg antropogénicos restantes provienen de la erosión impulsada por la ASGM de suelos ricos en Hg en el río. Las firmas de isótopos de Hg antropogénico en los sedimentos del fondo ya no se podían rastrear en ríos y arroyos anteriormente extraídos.

Niane *et al.* (2019), en Senegal, el impacto ambiental de la extracción de oro artesanal a pequeña escala que utiliza mercurio (Hg) está poco documentado a pesar de su intensificación en las últimas dos décadas. A lo largo de la corriente, las concentraciones de mercurio total en los sedimentos disminuyen con la distancia de los sitios de ASGM, mientras que las de metilmercurio aumentan aguas abajo. La sedimentación de partículas finas enriquecidas en Hg aguas abajo de los sitios de ASGM probablemente favorezca la producción y acumulación de metilmercurio en los sedimentos. En conclusión, el Hg elemental es débilmente lábil, la erosión del suelo superficial también puede proporcionar aportes de Hg importantes y de largo plazo a los ecosistemas acuáticos aguas abajo, donde puede oxidarse y metilarse.

Mason *et al.* (2019), en su estudio se centró en examinar las concentraciones de Hg y metilmercurio mercurio elemental en agua, sedimentos y peces en cuatro regiones asociadas con actividades de extracción de oro en Costa de Marfil para evaluar la exposición potencial de las comunidades locales al mercurio elemental del consumo de pescado. Las concentraciones de Hg total disuelto y mercurio elemental en agua y sedimentos fueron elevadas en algunos lugares de muestra y fueron indicativas de contaminación local. Los resultados de bioacumulación en relación con el mercurio elemental disuelto, fueron más altos para los carnívoros que para los omnívoros y variaron

según la región, lo que sugiere que otros factores, además de la concentración de mercurio elemental por sí sola, estaban afectando la absorción y la transferencia trófica.

Loza y Ccancapa (2020), realizaron estudios en el alto de los andes denominado la Rinconada, en este lugar existe la minería artesanal donde los relaves y los desechos son vertidos al arroyo de esta cabecera de cuenca, efectuaron el muestreo en 4 diferentes puntos, se aplicó la metodología de espectrofotometría de fluorescencia atómica evaluándose parámetros fisicoquímicos del agua. Como resultado, se determinó la cantidad de Hg en la zona de estudio supera los límites máximos permisibles que establece la norma, esto involucra un alto riesgo para la salud pública y el entorno ambiental.

Mantey *et al.* (2020), mencionan que la contaminación de los medios ambientales con mercurio, debido a la minería de oro artesanal ilegal en pequeña escala. Se obtuvieron muestras por triplicado de suelo de fondo, (un total de 160) y se analizaron usando espectrofotómetro de absorción atómica (AAS) para determinar las concentraciones totales de Hg. A partir de la comparación de la concentración de mercurio clasificada media, utilizando el ensayo de Kruskal-Wallis, se observó que las diferencias observadas en la clasificación eran significativas para los cuatro medios ambientales considerados. En conclusión, el manejo, uso y eliminación deficientes del mercurio de las diferentes actividades (galamsey) resultó en la elevación de cantidades dañinas de mercurio en el medio ambiente.

Yevugah *et al.* (2021), el uso de mercurio en la minería de oro a pequeña escala a nivel mundial. Este trabajo es de interés ya que la actividad minera en Ghana está causando una contaminación del suelo más generalizada también fuera de los sitios mineros activos, y que la mayor parte de las diferencias regionales en las cantidades de mercurio en el suelo podría provenir de la contaminación antropogénica. Las concentraciones de mercurio encontradas son en promedio  $0,024 \text{ mg kg}^{-1}$ , lo que es bajo en comparación con los estudios publicados de otros países y regiones y los promedios mundiales estimados. En conclusión, todas las concentraciones medidas están muy por debajo de los límites de calidad de suelo para la salud humana.

Hasimuna *et al.* (2021), este estudio investigó el nivel de algunos contaminantes de metales pesados en los ríos Kifubwa y Solwezi en la provincia noroccidental de Zambia. Utilizaron un espectrofotómetro de absorción atómica (AAS) para determinar las concentraciones de metales pesados en los sedimentos. Tomaron muestras de seis puntos



que se sabe que están asociados con actividades antropogénicas de metales pesados. Se identificaron y midieron seis elementos, a saber, Cu, Co, Fe, Mn, Pb y Zn, en los sedimentos superficiales de estos dos ríos. Determinaron los valores medios en cada río. Estos índices mostraron poca contaminación en los sedimentos superficiales de estos ríos, por lo tanto, implica que hay pocos riesgos ecológicos que plantea la contaminación por metales pesados a los ecosistemas de los ríos Solwezi y Kifubwa a partir de los sedimentos. Concluyeron que realizaron estudios de seguimiento para monitorear los niveles de metales pesados en la fauna y flora de estos ríos.

Obiri-Yeboah *et al.* (2021), las actividades como la minería ilegal, el uso doméstico del agua en los cuerpos de los ríos, la descarga de desechos domésticos e industriales sin tratar en los cuerpos de agua y la contaminación agrícola, entre otros, dan como resultado la contaminación de los cuerpos de agua y, por lo tanto, afectan la calidad del agua. Este estudio buscó determinar y medir el impacto ambiental real de las actividades de minería ilegal. El análisis de metales pesados de plomo y mercurio también mostró valores considerablemente que los permitidos por la EPA y la OMS, indicando niveles de contaminación significativos. El estudio concluye con base en el análisis fisicoquímico y de metales pesados, el río Bonsa no es seguro para el consumo en todos los lugares y recomienda medidas de purificación del agua antes de su uso.

Liu *et al.* (2021), para estudiar el mecanismo de migración y transformación del contenido de Hg y la forma de ocurrencia en la zona de flujo subterráneo del área de extracción de oro en Loess Plateau y su influencia en el medio ambiente acuático, se llevaron a cabo pruebas de laboratorio e infiltración in situ en el campo en tres secciones típicas. La fuente de Hg en la zona de flujo subterráneo se debe principalmente a las actividades de procesamiento de minerales; la mayor parte del mercurio queda atrapado en la capa de limo en la zona de la corriente subterránea donde las capas de arena y limo se alternan entre sí, la capacidad de migración del mercurio es mucho menor que la de capa de loess y capa aluvial con estrecha conexión hidráulica. Los resultados proporcionarán una base científica para los departamentos de conservación del agua para la prevención y el control de las aguas subterráneas.

Monaci *et al.* (2021), usaron especímenes nativos y trasplantados del musgo acuático *Platyhypnidium riparioides*. Utilizaron el análisis de talos nativos de *P. riparioides* para identificar en el curso alto del río, el patrón de contaminación (As, Cd, Cu, Pb y Zn) que

se relacionó con las características geoambientales de la cuenca y las áreas mineras históricas cercanas. Mediante la exploración de relaciones multielementales y de nativo a trasplante, se reconocieron diferencias en las capacidades acumulativas de metal entre los talos muestreados y las bolsas de musgo expuestas en relación con la gravedad de la contaminación. En conclusión, la discrepancia observada en la acumulación de As, Fe, Ni y Pb en áreas altamente contaminadas entre el musgo nativo y el trasplantado de *P. riparioides* plantea interrogantes sobre los posibles mecanismos competitivos de absorción y retención de elementos.

Teixeira *et al.* (2021), la minería artesanal de oro es la actividad con mayor consumo de mercurio (Hg), es un problema recurrente en la Amazonía. En este estudio, evaluaron concentraciones y riesgos por Hg a la salud y medio ambiente. Para ello recolectaron 25 muestras de suelos y relaves en tres tipos de mina artesanal y una de bosque nativo. El análisis mineralógico reveló que no hay presencia de minerales constituidos por Hg. El nivel de geoacumulación y el factor de contaminación mostraron que los relaves de la minería coluvial están moderadamente contaminados, y los relaves de la minería subterránea están altamente a extremadamente contaminados. Estos resultados representan un gran aporte para la Amazonía, ya que otorgan subsidios para la definición de políticas de mitigación de la contaminación ambiental y riesgos asociados.

Velásquez *et al.* (2021), la minería de oro es la mayor fuente de contaminación por mercurio (Hg) en todo el mundo. Este estudio se realizó para establecer niveles de Hg en suelos de despojos de minería aluvial de Madre de Dios. hicieron el análisis fisicoquímico y valoración de cantidades de Hg para especímenes de suelo. Evidenciaron que no contenían Hg por encima de los ECA, para suelos agrícolas peruanos. Como resultado, los niveles de Hg no fueron significativamente desiguales entre las dos áreas, las principales variables que explican las concentraciones de Hg en el suelo, fueron la cubierta vegetal, la materia orgánica del suelo, el pH del suelo y el contenido de partículas de arcilla, que revelaron hasta el 80% de variación.

Chen *et al.* (2022), los problemas ambientales graves son causados por actividades mineras, la relación entre el mecanismo de acumulación de Hg en los sedimentos y las actividades mineras. En este estudio, se investigaron las características del contenido total de mercurio total. Además, obtuvieron isótopos de Hg para determinar las principales fuentes y el proceso ambiental de mercurio en MSAS. Los resultados revelaron que el Hg



en MSAS se derivó principalmente de la ganga, la erosión del suelo, el carbón, las cenizas volantes y los piensos, y su contribución porcentual correspondiente fue  $51,5 \pm 9,6 \%$ ,  $23,8 \pm 13,1 \%$ ,  $13,9 \pm 7,9 \%$ ,  $8,1 \pm 5,4 \%$  y  $3,1 \pm 1,4 \%$ , respectivamente. Los resultados indican que, los isótopos de Hg pueden usar para rastrear el transporte y la transformación y puede proporcionar una referencia importante para la evaluación y prevención de la contaminación por Hg en áreas típicas como la minería del carbón y la quema de carbón.

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1. Identificación del problema

La contaminación de los ríos ocasionado por la minería artesanal a nivel global ha tenido consecuencias graves e irreversibles impactos a la salud humana ocasionando daños al sistema nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, la piel, los pulmones, el cerebro, riñones y ojos (Camacho *et al.*, 2016), al medio ambiente en agua y suelo superficial a nivel mundial. La actividad minera aurífera en La Rinconada, fue desarrollado desde tiempos atrás; esto ha provocado la contaminación descontrolada del agua, suelo y aire, la población atraída en pos de obtener el oro utiliza mercurio en el proceso de amalgamación de pre-concentrado y otros elementos contaminantes.

La minería aurífera informal en el país y la región dinamiza una actividad económica mayor a 20 % de la producción nacional, alrededor de 40 toneladas anuales (R. Escobar *et al.*, 2019), por lo que la explotación de oro a traído consecuencias ambientales negativas, impactando a la salud de la población (Ottenbros *et al.*, 2019), flora y fauna, el contaminante producto de los relaves mineros son evacuados directamente en el drenaje del centro poblado y laguna Rinconada, provocando la muerte de las especies presentes en ella, así como los efectos nocivos que se genera en las personas y animales que hacen uso del agua.

En la zona alta del centro poblado La Rinconada existen dos glaciares importantes Sector Ritipata y sector Riticucho, que son fuentes de captación de agua para el consumo de la población y procesos de molienda del mineral, por lo que es contaminado al realizar el refogado en retortas a alta temperatura. Para una cantidad de mineral que ingresa al molino 61,155 kg, se utiliza 4,013 gr de mercurio, los indicadores de Hg recuperado es

98,80 %, vertido al relave es 0,96 %, emitido a la atmosfera es 0,23 % (Cuentas y Velarde, 2019), el mercurio por sus propiedades es volátil y es trasladado por el viento y depositado en distintos lugares.

En el Centro Poblado La Rinconada existe actividad industrial minera, comercio y otros, esto afecta directamente a las personas que están en contacto directo e indirecto por Hg, trae consecuencias en la salud tanto a las madres gestantes y esto afecta de manera negativa al crecimiento del cerebro y al sistema nervioso de los bebés sin nacer (Teixeira *et al.*, 2021).

## **2.2. Enunciados del problema**

### **2.2.1. Problema general**

¿Existe contaminación por mercurio en agua y sedimentos en el Centro Poblado La Rinconada de la provincia de San Antonio de Putina?

### **2.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es el nivel de contaminación por mercurio en agua en el Centro Poblado La Rinconada de la provincia de San Antonio de Putina?
- ¿Cuál es el nivel de contaminación por mercurio en sedimentos en el Centro Poblado La Rinconada de la provincia de San Antonio de Putina?

## **2.3. Justificación**

En el Centro Poblado La Rinconada habitan más de 30 000 habitantes, entre mineros, trabajadores comerciantes y otros, que llegan atraídos por la actividad económica aurífera. La Rinconada situada a más de 5 000 m.s.n.m., habitar y trabajar en este lugar es desgastante, por estar ubicado en la parte alta de la cordillera oriental. Ello hace que se respire poco oxígeno menos del 21 % y la temperatura desciende a - 23 °C. Al acceder al lugar se ve un panorama de residuos sólidos incontrolados dando un mal aspecto de bienvenida.

La recuperación aurífera en estas operaciones se realiza mediante amalgamación del mercurio, mediante la mezcla el mineral de molienda, esto provoca que el mercurio se filtre al suelo y mediante el agua es transportado en el curso de los riachuelos hasta la

laguna Rinconada, contaminando al medio ambiente y afectando a la salud de las personas y animales que habitan en este lugar.

Al final del proceso, se realiza una amalgama de mercurio y oro sometiéndolo a temperaturas altas mediante soplete de gas hasta evaporar el mercurio y dejar atrás el oro como residuo. Este proceso provoca que el mercurio sea inhalado por las personas que lo operan y luego al condensarse los humos del mismo afecte al resto de la población de manera directa o indirecta que habitan en este lugar y a su vez es transportado por el viento y depositado en las partes altas del glaciar donde se tiene principalmente la captación de agua para consumo de toda la población, es por ello que este trabajo de investigación es realizado para determinar el nivel de concentración de mercurio en los diferentes puntos de muestreo y determinar si excede los límites máximos permisibles que estable la legislación ambiental peruana, para tomar medidas de prevención capacitando a la población sobre el uso del Hg y recomendar otro método de recuperación del oro.

## **2.4. Objetivos**

### **2.4.1. Objetivo general**

Determinar la contaminación por efecto del mercurio en agua y sedimentos en el Centro Poblado La Rinconada de la provincia de San Antonio de Putina.

### **2.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar la contaminación por efecto del mercurio en agua en el Centro Poblado La Rinconada de la provincia de San Antonio de Putina.
- Determinar la contaminación por efecto del mercurio en sedimentos en el Centro Poblado La Rinconada de la provincia de San Antonio de Putina.

## **2.5. Hipótesis**

### **2.5.1. Hipótesis general**

La contaminación por mercurio en agua y sedimentos impactan negativamente en las personas y medio ambiente en el Centro Poblado La Rinconada - Puno.



### 2.5.2. Hipótesis específicas

- El nivel de contaminación por mercurio en agua permitirá conocer los niveles permisibles y la normativa vigente en el Centro Poblado La Rinconada de la provincia de San Antonio de Putina.
- El nivel de contaminación por mercurio en sedimentos permitirá conocer si está por encima de los niveles permisibles originado por la minería en el Centro Poblado La Rinconada de la provincia de San Antonio de Putina.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de estudio

##### 3.1.1. Ubicación

El Centro Poblado La Rinconada se ubica al sur del país, al lado de la cordillera oriental, pertenece al distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, región Puno, a 5 047 m.s.n.m. a una distancia del centro poblado de 2 000 metros en dirección Nor Oeste definido por coordenadas UTM en el sistema WGS-84.

Tabla 4

*Coordenadas del área de estudio*

N°	Este	Norte	Elevación
1	452 324	8 383 706	5 087
2	451979	8 382 546	5 047
3	451402	8 382 254	4 947
4	451107	8 383 205	4 793



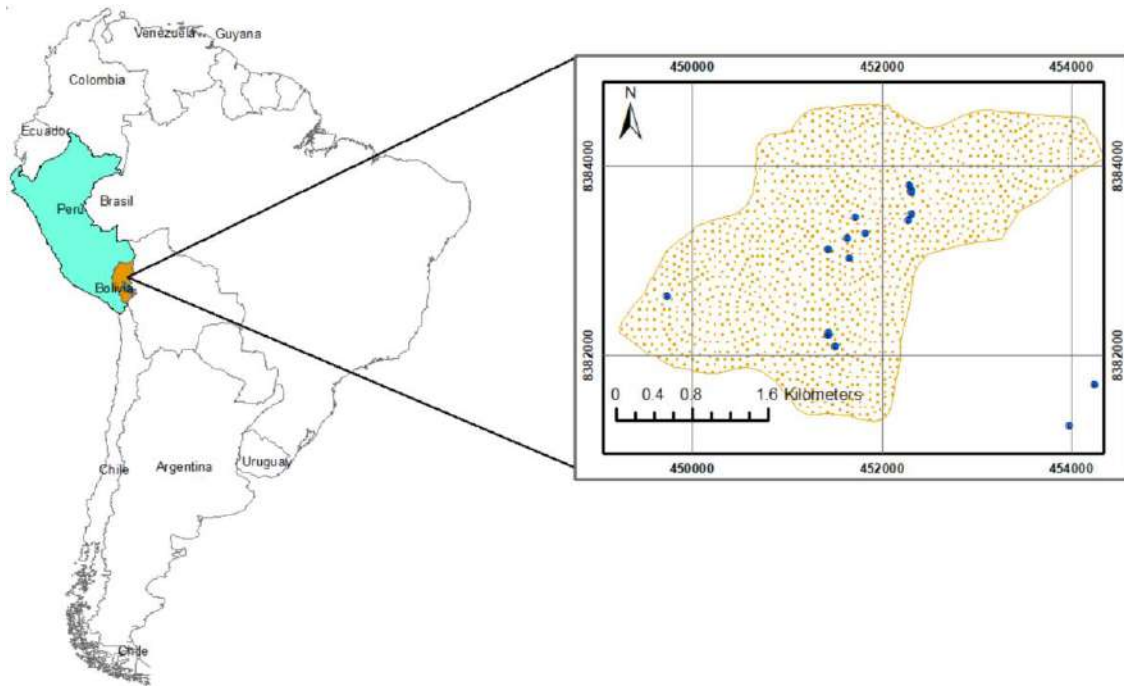


Figura 3. Mapa de ubicación del ámbito de estudio

### 3.1.2. Accesibilidad

Al C. P. La Rinconada se procede de la siguiente manera a partir de la ciudad de Puno.

Tabla 5

*Acceso al lugar*

Recorrido	(km)	Duración	Carretera
Puno - Juliaca	45	0:50 min	Asfaltada
Juliaca - Putina	93	1:50	Asfaltada
Putina - Ananea	59	1:30	Asfaltada
Ananea - Rinconada	15	0:30 min	Afirmada
<b>Total</b>	<b>235</b>	<b>5:00 hrs.</b>	<b>-</b>

### 3.1.3. Clima

La Rinconada tiene un clima inusitado netamente alpina, frígido, muy cercano a ser clima gélido. Cuenta con temperatura media anual de 1,3 °C y una precipitación media anual de 707 mm. Durante todo el año prevalecen temperaturas frías, con noches frías y en días con pocos grados por encima de la congelación (SENAMHI, 2022). Los veranos son húmedos con nevadas frecuentes, y los inviernos, secos y helados. Por ubicarse en la parte alta, hace que el poblador tenga la mitad de oxígeno del que dispone

a nivel del mar, esto resulta ser difícil la aclimatación, requiriendo unos 30 días para acostumbrarse (SENAMHI, 2022).

### 3.1.4. Geología

#### a) Geología Local

- El macizo rocoso del nevado de Ananea geológicamente está constituido por una secuencia de cuarcitas y pizarras de edad Paleozoico Inferior correspondiente a la formación Ananea (Chávez *et al.*, 1996). En estas pizarras y cuarcitas están emplazados, mantos de cuarzo aurífero, dando origen centros mineros, entre los más importantes tenemos las minas Rinconada; Cerro Lunar y Gavilán de oro.
- Los depósitos Fluvioglaciares de la zona (Oeste del proyecto) se ubican en la vertiente Sur Oeste del macizo nevado de Ananea, entre 4 500 y 5 000 m.s.n.m. de altitud; explotados desde el tiempo de la conquista, actualmente se explotan a escala industrial por monitoreo (Rodríguez *et al.*, 2021).
- Estos placeres (Anccocala - Pampa Blanca) se ubican entre el macizo del nevado Ananea (5 800 m.s.n.m.) por el Norte y relieves más bajos (hasta 5 100) por el Sur, esta cuenca ha sido rellenada por los diversos episodios de glaciación (avances y retrocesos) entre las glaciaciones más relevantes tenemos, la glaciación Anccocala, Chaquiminas y Pampa Blanca (Chávez *et al.*, 1996).

#### b) Descripción geológica

Según Rodríguez *et al.* (2021), en el área Rinconada existen cerros conformados por rocas metamórficas del tipo esquistos y pizarras negras intercaladas con cuarcitas gris claras a gris oscuras, silicificadas, compactas, las cuales se inclinan en forma regional contra el talud natural. Estas rocas se encuentran fuertemente fracturadas detectándose varias familias de discontinuidades o fracturas (Jaimes y Trelles, 2021).

### c) Geología estructural

La dirección de las fallas se divide en dos direcciones importantes, siendo la principal de orientación NO-SE y fallas E-O en menor proporción (figura 4). Por su grado de deformación y estilo estructural se han agrupado en tres dominios tectónicos.

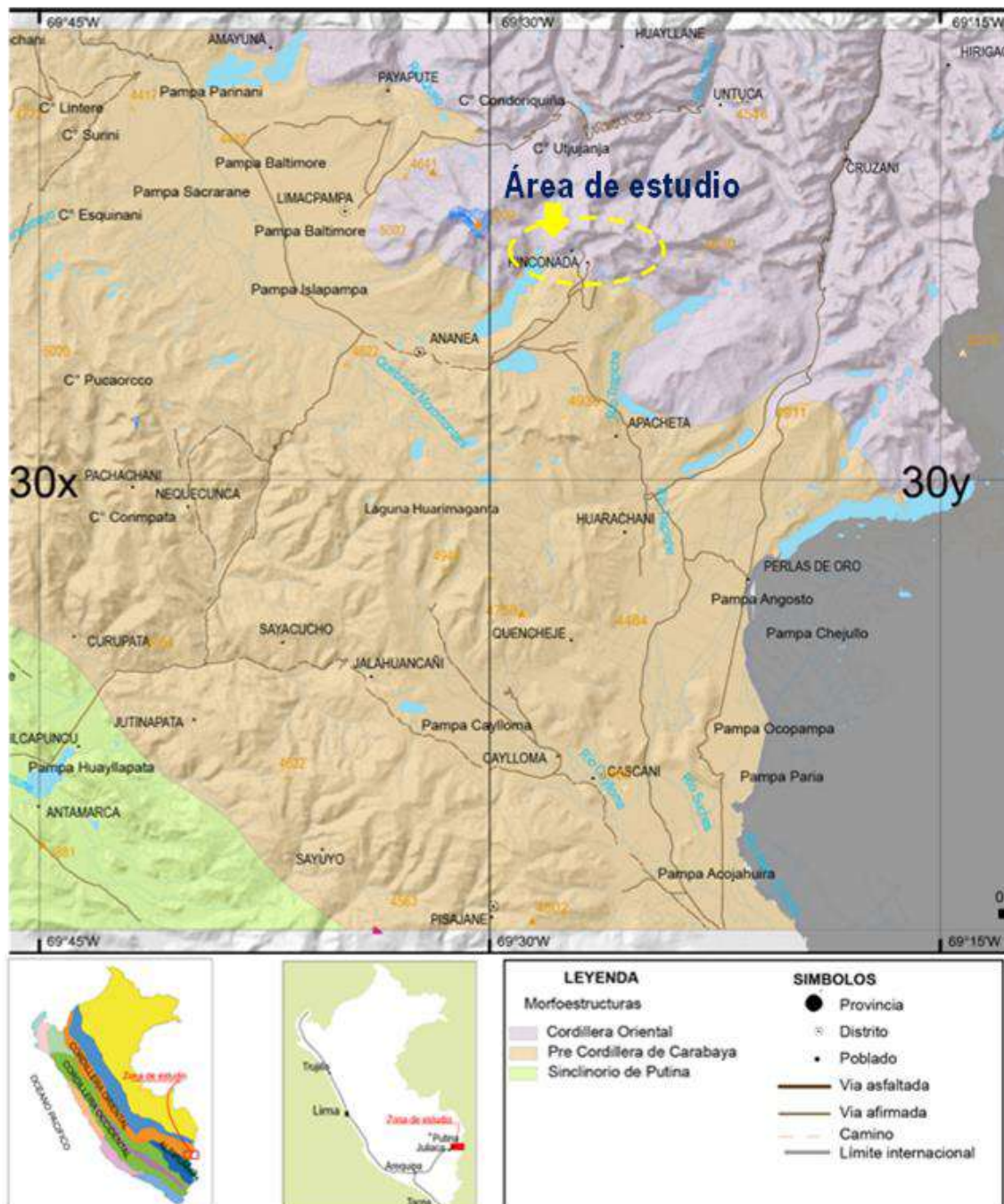


Figura 4. Estructuras geológicas en el área de investigación

Fuente: (Rodriguez *et al.*, 2021)

#### **d) Geomorfología**

Geomorfológicamente se divide en tres bandas, zona de la Alta Cordillera, se caracteriza esta zona por su relieve muy abrupto, con crestas y aristas agudas producto de la acción glaciaria (Chávez *et al.*, 1996), debido a la presencia de altas montañas nevadas como Ñacaria (5 360 m), Vilacota (5 179 m), Ananea (5 600 m), Ananea Grande (5 829 m), Ritipata (5 350 m), Chapi (5 400 m), Callejón (5 350 m), Jorge Chávez (5 300 m), Riti Urmasca (5 350 m), Guna Cunea (5 650 m), Caballune (5 500 m), Viscachani (5 600 m), Sorapata (5 450 m), Lasacota (5 338 m) y otros (Rodríguez *et al.*, 2021).

Zona de la depresión Ananea – Trapiche y zona de la Pre-Cordillera de Carabaya. Estas zonas abarca con una orientación de NO a SE, conforme con la orientación general de la Cordillera de los Andes en esta parte del territorio peruano (Rodríguez *et al.*, 2021), dentro de la configuración de un circo glaciario, en la que destacan áreas de morrenas ocupadas por Lunar de Oro. Existe morfología plana, denominada Pampa Casa Blanca adyacente a la laguna la Rinconada constituida por fragmentos heterométricos de pizarras y cuarcitas provenientes del proceso glaciario envueltas en materiales como arenas limos y arcillas, cubiertos por una capa vegetal (Jaimes y Trelles, 2021).

#### **e) Estratigrafía**

Está conformada especialmente por sucesiones sedimentarias y metasedimentarias del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico (figura 5). Las unidades estratigráficas están repartidas en tres dominios tectonoestratigráficos, los que tienen distintas particularidades, ya sea por la presencia de unidades estratigráficas o por la abundancia de una de ellas (Chávez *et al.*, 1996).

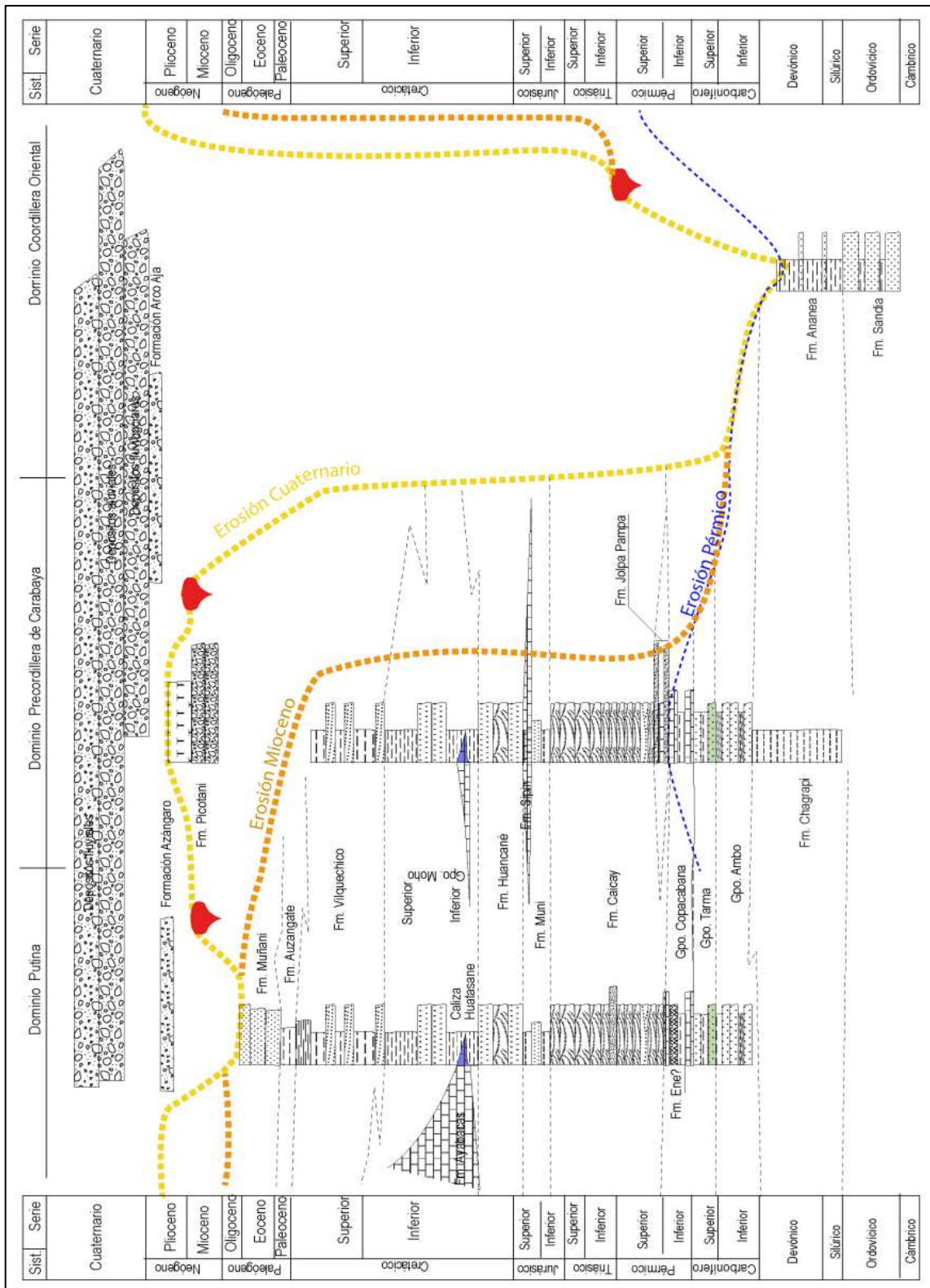


Figura 5. Columna estratigrafía del área de estudio

Fuente: (Rodríguez *et al.*, 2021)

#### **f) Edad del Paleozoico**

Están definidas por las rocas antiguas que pertenecen al Ordovícico del Paleozoico que pertenece al grupo San José que a su vez contiene a las formaciones de Iparo y Purun Pata, en donde se puede observar las facies pizarrosas, con intercalación de meta lutitas que están conformados en el grupo Sandia y Ananea de sucesiones fliohoides que en concordancia esta de forma plegadas y que presentan fallas (Jaimes y Trelles, 2021).

#### **g) Formación Ananea**

Pertenece al Paleozoico preferente, del régimen Silúrico y Devónico, de la Formación Ananea (Siluro Devoniano), este depósito se halla largamente marcada en el rectángulo de Rinconada proveniente del flanco de Ananea, son depósitos litológicos que abarcan desde la parte de Cuyocuyo y alcanza hasta Ananea, su aspecto físico de la roca aparece diferencias en los tamaños de clastos que han sido transformados ya sea por la glaciación o meteorización, dichos afloramientos presentan; cuarzo, micas, cloritas y basto carbonoso, está en otros afloramientos al lado sur oeste (Jaimes y Trelles, 2021).

#### **h) Sismicidad**

De acuerdo al Mapa de Zonificación Sísmica del Perú, el área corresponde a un lugar de alto riesgo, determinada como Zona II, debido a que está asociada a los procesos tectónicos regionales, según el Mapa de Intensidad Sísmica elaborado por el Instituto Geofísico del Perú.

### **3.2. Población**

Está representada por todo el Centro Poblado La Rinconada que abarca desde la parte Nor-este, zona de captación de agua del glaciar y afluente a la laguna Rinconada, donde son depositados los sedimentos y el agua utilizado por la población, cubriendo un área de 374 hectáreas, delimitado dentro de la microcuenca La Rinconada (figura 6).

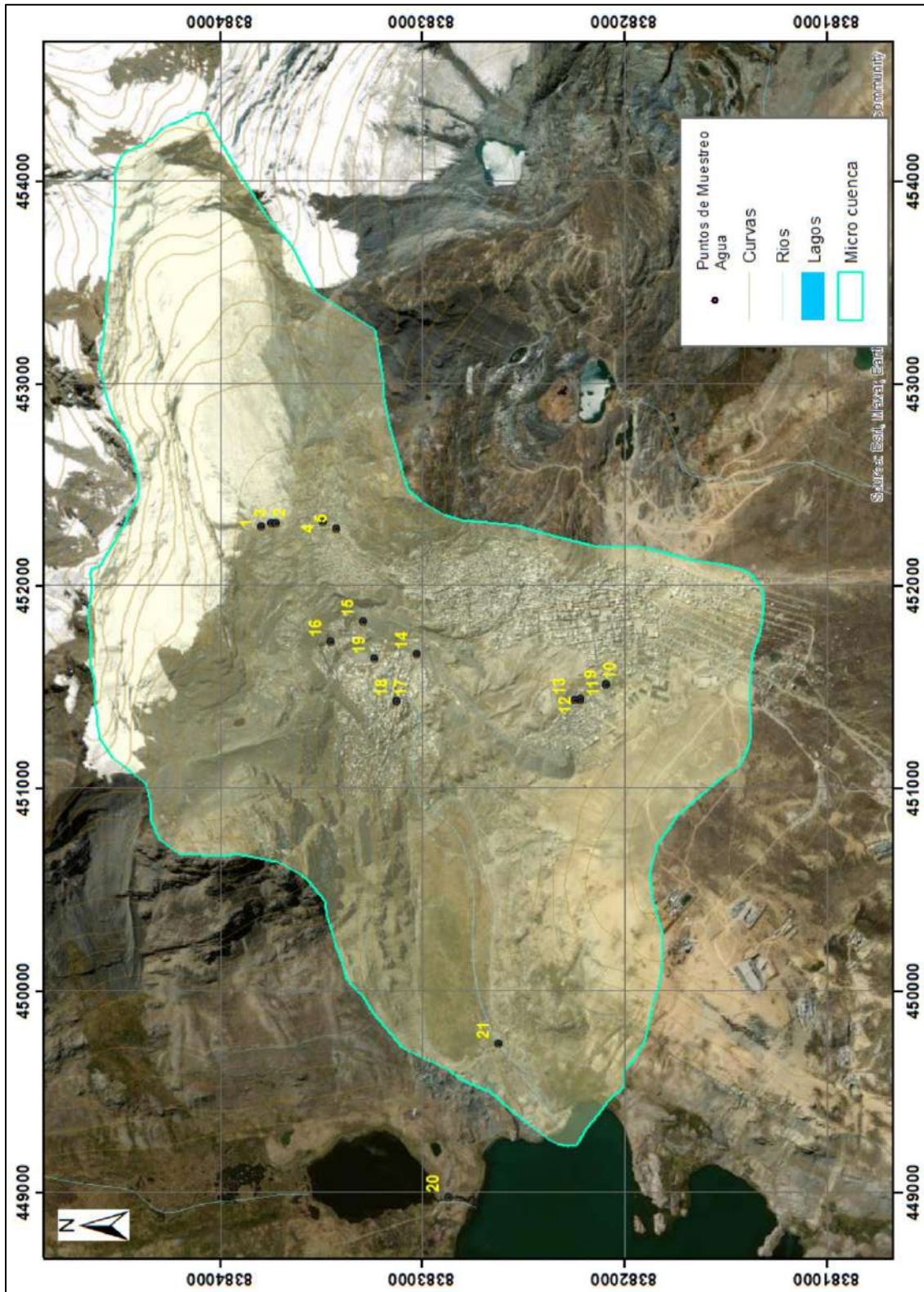


Figura 6. Micro cuenca La Rinconada

Fuente: Google Earth

### 3.3. Muestra

Para la realización de la toma de muestra fue probabilística provocada por conveniencia, basados según la guía de evaluación de riesgos Ambientales, realizada por el (MINAM, 2010). Se recolectaron las muestras de forma aleatoria simple de carácter probabilístico, se recolectaron un total de 18 muestras de agua, y 18 muestras de sedimento y suelo, para establecer las relaciones entre las variables. La forma de adquisición de muestras fue basada en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de Recursos Hídricos Superficiales y otros recomendados por el laboratorio acreditado (Mendoza y Espinoza, 2017). Para determinar la muestra se aplicó la siguiente formula:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 (N - 1) + Z^2 * p * q} \quad (03)$$

Donde:

$n$  = Dimensión de muestra

$N$  = Dimensión de la población = 19

$Z$  = Medida estadístico dependiente la confiabilidad del 95%

$e$  = Es el error de evaluación aprobado = 5%

$p$  = Posibilidad que suceda el suceso asimilado = 50%

$q$  = (1-p) = Posibilidad que no suceda el caso = 50%

Se pretende realizar la obtención de las muestras en la micro cuenca de La Rinconada un total de 18 muestras a fin de obtener información necesaria (Fernandez y Baptista, 2014).

$$\eta = \frac{19 * (1,96)^2 * 0,5 * 0,5}{(0,05)^2 (19 - 1) + (1,96)^2 * 0,5 * 0,5} = 18 \quad (04)$$

### 3.4. Método de investigación

La metodología de las zonas que se encuentran contaminados es variada, mediante etapas, de manera ordenada y sistemática (Ñaupas *et al.*, 2014), para el desarrollo del objetivo principal: Determinar la contaminación por efecto del mercurio en agua y sedimentos, el método se estableció en estudio de campo y compilación de información; para el primer y segundo objetivo específico: fue determinar la contaminación de mercurio en agua y sedimentos, se evaluó la afectación en la calidad superficial de agua y suelo que están presentes dentro del área de estudio, se aplicó la Guía de Evaluación de Riesgo Ambiental



propuesta por el (MINAM, 2010), asimismo se utilizó la metodología que establece en el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM (2014), Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo apoyados en la metodología para la estimación de nivel de riesgo para pasivos ambientales en el subsector de hidrocarburos (OEFA, 2013).

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

#### **3.5.1. Determinar la contaminación por efecto del mercurio en agua en el Centro Poblado La Rinconada de la provincia de San Antonio de Putina**

Se inició mediante la fase de preparación de trabajo en gabinete, se recopiló la información bibliográfica y documental, sobre el sitio, mediante la elaboración de mapas base, estadísticas de población, descripción física de la zona (clima y meteorología, precipitación, temperatura), actividades del Centro Poblado La Rinconada y características generales del espacio de estudio (Torres *et al.*, 2016).

En la etapa de campo se hizo la preparación, se procedió a las visitas de campo logrando la indagación para la estimación de riesgos, confirmando los ambientes, tomándose los antecedentes que requiere la evaluación (Pabón *et al.*, 2020). Esta metodología consideró los entornos al aspecto humanitario de la zona, que incluyen a los mineros que radican, para el entorno natural referido al medio ambiente se consideró dos componentes el agua superficial y el suelo que determinan los puntos de toma de muestras por considerar el foco del sitio contaminado (Torres *et al.*, 2016).

En la inspección de campo se trabajó con la tabla de registro según Formato de Recopilación de Información de Evaluación de Riesgos (MINAM, 2010).

- **Procedimiento metodológico**

La metodología operada para determinar el agua se realizó en cuatro etapas (Patarachao *et al.*, 2021):

- a) Campo
- b) Caracterización
- c) Monitoreo
- d) Etapa de análisis y de predicciones (Astonitas *et al.*, 2021).

### a) Etapa en campo

En esta etapa se identificaron las características del área contaminada, estableciendo los puntos de muestreo; se realizó la descripción general donde incluye la ubicación (Torres *et al.*, 2016), tipo del espacio contaminado, reconocimiento geológico. Dentro del periodo octubre del 2021 a marzo 2022, se recolectaron un total de 18 muestras del agua superficial en los puntos establecidos.

### b) Caracterización

Se realizó una descripción de las unidades ambientales afectados por contaminación, precisando los parámetros obtenidos in situ y los parámetros para ser analizados en laboratorio acreditado/certificado por INACAL (tabla 6).

Tabla 6.

*Parámetros de agua en el sitio de investigación*

Ficha de Multiparámetro Hanna HI98194									
Oxígeno disuelto (mg/l)	Conductividad Eléctrica	Resistencia Eléctrica	Potencial de Oxígeno	Potencial de oxidación/reducción	Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto	Sólidos totales disueltos	Salinidad	Temperatura	Presión atmosférica
(ppm) OD	μS/cmCE	MΩ.cm	pH	(mV)ORP	%DO	(ppm) <sup>T</sup> <sub>ds</sub>	PSU	°C	psi

### c) Etapa de monitoreo

Se realizó el análisis in-situ de parámetros físico-químicos, tomados en los puntos de muestreo, con multiparámetro tipo Hanna HI98194, siguiendo el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales aprobado mediante Resolución Jefatural N° 010-2016- (ANA, 2016).



*Figura 7.* Rotulado de envases en muestreo de agua

La forma de obtención de muestras y su operación estuvo basado en el “Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua” y lo recomendado por el laboratorio CERTIMIN.

Para el estudio de las concentraciones del Hg, se determinó de acuerdo a los puntos georreferenciales de cada muestra, un total de 18 puntos, para la toma de las muestras se llevó a cabo en frascos blancos polietileno de 1 litro, previamente esterilizados con  $H_2SO_4$  (ácido sulfúrico), llevándole posteriormente al secador por 60 min a  $35\text{ }^{\circ}C$ , utilizado en el campo para la toma de muestras, en cada punto se realizó el enjuague de los frascos con el agua a ser recolectada por tres veces consecutivos con la finalidad de eliminar posibles sustancias existentes en su interior, agitar y desecharlo aguas abajo lo lavado, llenar la muestra hasta el límite del frasco, dependiendo del tipo de análisis a ejecutar se añade el preservante adecuado y cerrándolo herméticamente, se preservó con  $HNO_3$  hasta un  $pH < 3$ , ( $\pm 20$  gotas, verificando el  $pH$ ) conservándolo a temperatura  $\leq 6\text{ }^{\circ}C$ , con un tiempo de vida 28 días. Todas las muestras recolectadas de agua superficial de la zona de muestreo fueron preservadas, rotuladas y transportadas en cooler con preservantes de temperatura, presión, etc., con el debido cuidado de las muestras hasta su ingreso al laboratorio CERTIMIN (Lima – Perú) junto con la cadena de custodia y reporte de datos de campo.

**a) Equipos**

- Microbalanza Analítica Metler Toledo/MS205DU
- pH metro manual Pen Type Meter
- Multiparámetro de mesa SI Analytics/Prolab 2500
- Estufa de Secado MMM/ VC55
- Cocina eléctrica
- Destilador de Agua Water Still/ 2001/2
- Equipo de posicionamiento GPS 600WE/1194
- Espectrofotómetro de Emisión Atómica Marca: AGILENT TECHNOLOGIES/Modelo: 4210/Serie: MY20339003

**b) Materiales**

- Cooler grandes y pequeños,
- Frascos de plásticos y vidrios,
- Baldes de plásticos transparente de primer uso y limpios,
- Guantes de vinilo, nitrilo
- Mascarillas,
- Pizetas,

Tabla 7.

*Características a considerar en el monitoreo de agua*

Monitoreo de Agua	
Medio de transporte	Vehículo para transporte terrestre (camioneta)
Soluciones y reactivo	Agua destilada, preservantes, soluciones estándar (pH, conductividad)
Formatos	Etiquetas, fichas de datos de campo, cadena de custodia y hojas de verificación, certificados entre otros.
Permisos	Los que sean necesarios.
Material cartográfico	Mapa hidrográfico, topográfico
Indumentaria de protección	Zapatos de seguridad, botas de jebe cortas/largas, guantes, mascarilla.
Otros	Libreta de campo, plumones indelebles, lápices, cinta adhesiva, papel secante, cinta

Fuente: (MINAM, 2017)



- **Medición de parámetros en campo**

Cuantificaciones analizados in-situ: la medición de los parámetros in-situ fue el siguiente:

- **Temperatura;** se usó un termómetro digital de marca WTW, cuya medición se da en grados centígrados. La sensibilidad del instrumento es de 0,01 °C (Sierra, 2019).
- **Potencial de Hidrógeno (pH);** para lo cual se utilizó un Potenciómetro digital marca WTW, la unidad de medición son las unidades de pH, varía de un rango de 0 a 14 (Sierra, 2019).
- **Conductividad eléctrica;** para medir la conductividad eléctrica se utilizó un conductímetro marca WTW, la unidad de medición es uS/cm. Las mediciones realizadas se registraron en la libreta de campo. Asimismo, después de cada medición se realizó la limpieza de las sondas con agua destilada y se secaron con papel tisú (Chamizo, 2018).

**a) Etapa de análisis y de predicciones**

En la siguiente tabla se observa el método para determinar la concentración de mercurio utilizado por el laboratorio CERTIMIN (figura 8).

- **Parámetros ensayados en laboratorio**

Se tomaron muestras de agua, para ser analizados en el Laboratorio de Ensayo CERTIMIN, con acreditación ISO/IEC 17025:2017" con IAS "International Accreditation Service" para los servicios ambientales. Cada muestra obtenida en campo fue rotulada con un código que identifique al punto de muestreo, fecha, hora tipo de matriz, parámetros a analizar (ANA, 2016).

- **Ensayo por Mercurio total y longitud de Onda Hg**

Para determinar la concentración de mercurio mediante el espectrofotómetro de emisión atómica por plasma microondas 4210 MP-AES, la longitud de onda más óptima (435,834 nm) denominado "punto isosbético".

- **Verificación de calibración de DMA - 80**

Cálculo para determinar el % de los estándares de control para la calibración diaria o verificación de la curva.

- **Porcentaje de diferencia para los estándares**

$$\%D = \frac{(\text{Valor verdadero} - \text{Valor encontrado})}{\text{Valor verdadero}} \times 100 \quad (05)$$

- **Diferencia porcentual relativa (RPD)**

$$\%R = \left[ \frac{(\text{LFM conc} \times (\text{Vol adicionado} + \text{Vol muestra}) - (\text{Conc muestra} \times \text{Vol muestra}))}{\text{Conc solución adicionada} \times \text{Vol de Adición}} \right] \times 100 \quad (06)$$

Donde:

LFM conc = Concentración de la Matriz fortificada de laboratorio.

Vol = Volumen

La recuperación oscila entre 70 % - 130 %.

Nota: el volumen adicionado NO debe aumentar el volumen de la muestra en más del 5 % (J. Chen *et al.*, 2008).

El reporte para el cálculo de la concentración de mercurio (Hg) de acuerdo con la referencia a la curva de calibración es generado en el software del equipo DMA-80 con unidades. (0,1 g = 100 µL) de acuerdo a la configuración inicial (Cheng *et al.*, 2021).

- **Espectrofotómetro de Emisión Atómica mediante Plasma Microondas 4210 MP-AES**

- **Curvas de calibración:**

La curva estándar inicial debe contener un blanco reactivo y patrones de estándares que cubran toda la escala de concentración que se empleara en los análisis de laboratorio y que permita medir el método analítico (Cheng *et al.*, 2021).

Las curvas de calibración pueden ser lineales o no lineales. La mayoría de los casos, cuando la curva es lineal se emplea la ley de Beer (J. Chen *et al.*, 2008). Para definir la curva de calibración que mejor representa la relación entre la

absorbancia (A) y la concentración (C) usan cálculos de regresión lineal de la siguiente manera (Cheng *et al.*, 2021):

$$A = mC + b \quad (07)$$

Se puede demostrar de la siguiente manera:

$$m = \frac{n \sum AC - \sum A \sum C}{n \sum C^2 - (\sum C)^2} \quad (08)$$

$$b = \frac{\sum A}{n} - m \frac{\sum C}{n} \quad (09)$$

Donde:

A = absorbancia.

C = concentración.

m = es la pendiente de la curva de calibración (también denominada “factor de calibración”).

b = es la intersección del valor de absorbancia o del eje “y”.

n = es el número de observaciones



Tabla 8.

*Metodología de ensayos utilizados por el laboratorio en análisis de agua*

Ensayo	Denominación	Cod-Serv	Norma / Referencia
Nor	Norte	MA 1000	Estándar GPS
Altitud	Altitud	MA 1000	Estándar GPS
Est	Este	MA 1000	Estándar GPS
Temperatura	Temperatura	MA 1000	SMEWW-APHA-AWWA-WEF.23rd Ed.2017. Part 2550 B. Temperature. Laboratory and Field Methods.
pH	Potencial hidrogeno	MA 1000	SMEWW-APHA-AWWA-WEF.23rd Ed.2017. Part 4500.O G+B pH value. Electrometric Method.
Oxig(d)	Oxígeno disuelto (Medición en campo)	MA 1000	SMEWW-APHA-AWWA-WEF.23rd Ed.2017. Part 4500 O G. Oxigen (Dissolved). Membrane Electrode Method.
Conductiv	Conductividad	MA 1000	SMEWW-APHA-AWWA-WEF.23rd Ed.2017. Part 2510 B. Conductivity Laboratory Method. EPA Method 200.8 Rev. 5.4.1994. Determination of trace elements in waters and wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.
Metales Totales Por ICP MS	Metales Totales Por ICP MS	MA 0747	Metales validados (Aplicado fuera del alcance) (Boro, Bismuto, Calcio, Cerio, Cesio, Hierro, Galio, Germanio, Hafnio, indio, Potasio, Lantano, Litio, Lutecio, Magnesio, Sodio, Niobio, Fósforo, Rubidio, Azufre, Silicio, Sílice, Silicato, Estaño, Estroncio, Tantalio, Terbio, Teluro, Titanio, Wolframio, Iterbio, Zirconio). SMEWW 22nd Ed. 2012. part-2520 B. Pag 2-56.
Salinidad	Salinidad	MA 1000	APHA-AWWA-WEF.Salinity. Electrical Conductivity Method. SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed.
Salinidad	Salinidad	MA 1000	2017.Part-2520 B Salinity. Electrical Conductivity Method.
T-Aire	Temperatura Ambiental	MA 1000	Protocolo de parámetros metodológicos

Fuente: Laboratorio CERTIMIN

## **b) Etapa de predicción**

Para este trabajo de predicción se ha utilizado el software MINITAB versión 19, con la ayuda de este programa se miden los entornos ecológicos en el riesgo y siguiendo el mismo procedimiento que en aguas (Patarachao *et al.*, 2021). Para identificar patrones de concentración similares en los puntos de muestreo, los resultados de metales en los suelos se tomaron en cuenta los que superaron los estándares de calidad.

### **3.5.2. Determinar la contaminación por efecto del mercurio en sedimentos en el Centro Poblado La Rinconada de la provincia de San Antonio de Putina**

Para el muestreo de suelos, se utilizaron materiales como el kit de suelos, barrenos de acero inoxidable y bandejas, adicionalmente se utilizaron la cámara fotográfica y GPS Garmin, bolsas de plásticos y para el envío al laboratorio acreditado las muestras se incluyeron en el cooler (Astonitas *et al.*, 2021).

### **3.5.3. Procedimiento metodológico**

La metodología manejada para la determinar el suelo se realizó en cuatro etapas:

- a) Campo
- b) Caracterización
- c) Monitoreo
- d) Etapa de análisis y de predicciones (MINAM, 2014)

#### **a) Etapa de campo**

En esta etapa se identificaron las características del área contaminada, estableciendo los puntos de muestreo; se realizó la descripción general donde incluye la ubicación, tipo del espacio contaminado, reconocimiento geológico, se recolectaron un total de 18 muestras en donde se incluyen; sedimentos, relave minero y suelo, dentro del periodo octubre del 2021 a marzo 2022. Las muestras se tomaron a una distancia de 30 cm aproximadamente, considerando a la zona, para esto se utilizó barrenos y también las bandejas para el secado.

### **b) Etapa de caracterización.**

Se realizó una descripción de los dispositivos ambientales afectados por contaminación minera artesanal, siguiendo la guía de espacios contaminados (MINAM, 2010), definiéndose los parámetros tomados in situ y los parámetros para ser analizados en el laboratorio Acreditado CERTIMIN.

### **c) Etapa de Monitoreo**

Se utilizaron las herramientas como; tornillo muestreador (screw auger), espátula (scoops) y pico (Astonitas *et al.*, 2021), se utilizó bolsas negras Whirl – Pac fotosensible previamente esterilizadas, cada muestra de suelo se extrajo a una profundidad de 30 cm, cada punto de muestreo se localizaron mediante GPS tomándose los datos en la cadena de custodia junto al reporte de datos (Mendoza & Espinoza, 2017).

Para la determinación de mercurio (Hg) en sedimentos se recolectó 500 g en botellas de vidrio tipo duquesa utilizando paletas de acero inoxidable, en relaves húmedos se recolectaron del fondo de las pozas, se describió el reporte de datos llevándole todas las muestras dentro de un cooler con respectivo refrigerante (Ilek *et al.*, 2019).

### **d) Etapa de Análisis**

Las muestras de suelo, para ser analizados en el laboratorio de CERTIMIN, siguieron las indicaciones de laboratorio, para el análisis de los metales se recolecto 300 g en una bolsa plástica enviada (IDEAM, 2020), luego se procedió a conservarla a  $4 \pm 2$  °C, siguiendo todo los procesos de métodos según se observa en la (tabla 9).

Tabla 9.

*Metodología de ensayos utilizados por el laboratorio en análisis de suelo*

DESCRIPCIÓN			
Ensayo	Denominación	Cod.Serv	(1) Norma o Referencia
Norte	Norte	MA 1000	Estándar GPS
Altitud	Altitud	MA 1000	Estándar GPS
Este	Este	MA 1000	Estándar GPS
Metales Por ICP MS/ICP OES	Metales Por ICP MS/ICP OES	MA 1124	EPA Method 3050B Rev.2.1996/EPA Method 6010D Rev.5. 2018/EPA Method 6020 B Rev.2. 2014/Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils/Inductively Coupled Plasma- Optical Emission Spectrometry/Inductively coupled Plasma-Mass Spectrometry. EPA Method 7471 B. Rev 2. 2007.
			Mercurio

Fuente: Laboratorios CERTIMIN

### e) Etapa de predicción

Para este trabajo de predicción se ha utilizado el software MINITAB versión 19, con la ayuda de este programa se miden los entornos ecológicos en el riesgo y siguiendo el mismo procedimiento en suelos (Patarachao *et al.*, 2021). Para identificar patrones de concentración similares en los puntos de muestreo, los resultados de metales en los suelos se tomarán en cuenta los que superan los estándares de calidad en este caso para el mercurio.

#### 3.5.3.1. Estimación del índice de geoacumulación

Índice de geoacumulación (Igeo), que fue propuesto para evaluar los niveles de contaminación del fondo sedimentos por Müller en 1969, se aplicó para evaluar los niveles de contaminación de metales pesados en sedimentos fluviales por investigadores anteriores. Esta técnica también se puede utilizar para la evaluación de la contaminación del suelo. Igeo se calcula mediante la ecuación 10 (Perez, 2021).

El Igeo se clasifica en siete grados, como se muestra en la Tabla 10. Se puede indicar mediante el procedimiento de determinar el valor de Igeo que el contenido de elementos en el suelo de la clase más alta se pliega más de 150 veces de contenidos de fondo. Para evitar que los resultados evaluados sean de menor diferenciación, se seleccionó el método clasificado de siete grados para evaluar los niveles de contaminación de metales pesados en suelos (Wei *et al.*, 2011).

Para calcular la extensión de la contaminación por mercurio en toda la microcuenca evaluado y la contribución antrópica al ambiente, se utilizó además el índice de geo acumulación (Igeo) propuesto por Muller en 1969 (Fernandez *et al.*, 2022), que expresa por la ecuación:

$$Igeo = \text{Log}_2 \left[ \frac{Cn}{1.5 Bn} \right] \quad (10)$$

Donde:

Igeo = Índice de geoacumulación en sedimentos

Cn = Concentración del metal en muestras

Bn = Valor preindustrial 0,107

Tabla 10.

Valores de Igeo

Las clases del valor de Igeo		
<i>siete grados</i>		
Igeo	clase	Eficacia del suelo
$Igeo \leq 0$	1	Habitualmente no contaminada
$0 < Igeo < 1$	2	No contaminada a moderadamente contaminada
$1 < Igeo < 2$	3	Moderadamente contaminado
$2 < Igeo < 3$	4	De moderada a fuerte
$3 < Igeo < 4$	5	Enérgicamente contaminado
$4 < Igeo < 5$	6	Fuerte a muy fuerte
$5 < Igeo$	7	Contaminación muy fuerte

Fuente: (Wei *et al.*, 2011)

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Determinar la contaminación por efecto del mercurio en agua y sedimentos

Para la ubicación de los sitios contaminados en agua y sedimentos, se ha considerado los siguientes criterios:

- Identificación del área de estudio, al inicio se encontró varios puntos de contaminación que vendría ser:

Tabla 11.

*Lugares de muestreo*

Descripción	Lugar
Punto de captación de agua	Glaciar
Molienda zona de trapiches	Cabecera población
Calles públicos drenajes lixiviados	Zona minerito
Tanques/depósitos de acopio de agua	Zona minerito
Restaurante consumo publico	Mercado Rinconada
Boca mina Labores abandonados	Zona compuerta
Laguna colmatada	Cerro lunar de oro
Laguna natural	Comunidad casa blanca
Captación de agua para consumo	Lado (este) laguna casa blanca
Efluentes de Rinconada	Pampa Molino
Ingreso a la laguna rinconada	Pampa Molino

- la selección se dio por la cercanía a lugares de riesgo como es el punto de captación de agua que se ubica en el glaciar denominado Ritty Cucho, luego se consideró tomar las muestras de sedimento en diferentes lugares como se indica en la (figura 9).
- Afloramiento visible
- Los puntos se encuentran en diferentes lugares a partir de la fuente del glaciar de donde se consume el agua para toda la población.
- El tipo de muestreo realizado es puntual, con una sola frecuencia y 3 periodos. Los puntos presentan drenaje, escorrentía, embalsamiento y aspectos no agradables al sistema.
- Para el muestreo en sedimentos se ha realizado según el protocolo de muestreo que establece el (MINAM, 2014).

#### **4.2. Determinar la contaminación por efecto del mercurio en agua**

Se ha identificado el sitio de contaminación desde la cabecera hasta la entrada a la laguna la Rinconada (figura 9), también se ha tomado muestras como control de la laguna Casa Blanca que vendría a ser el punto N° 20 de muestreo en donde se ha encontrado concentraciones de metales pesados, así como el mercurio (Astonitas *et al.*, 2021).

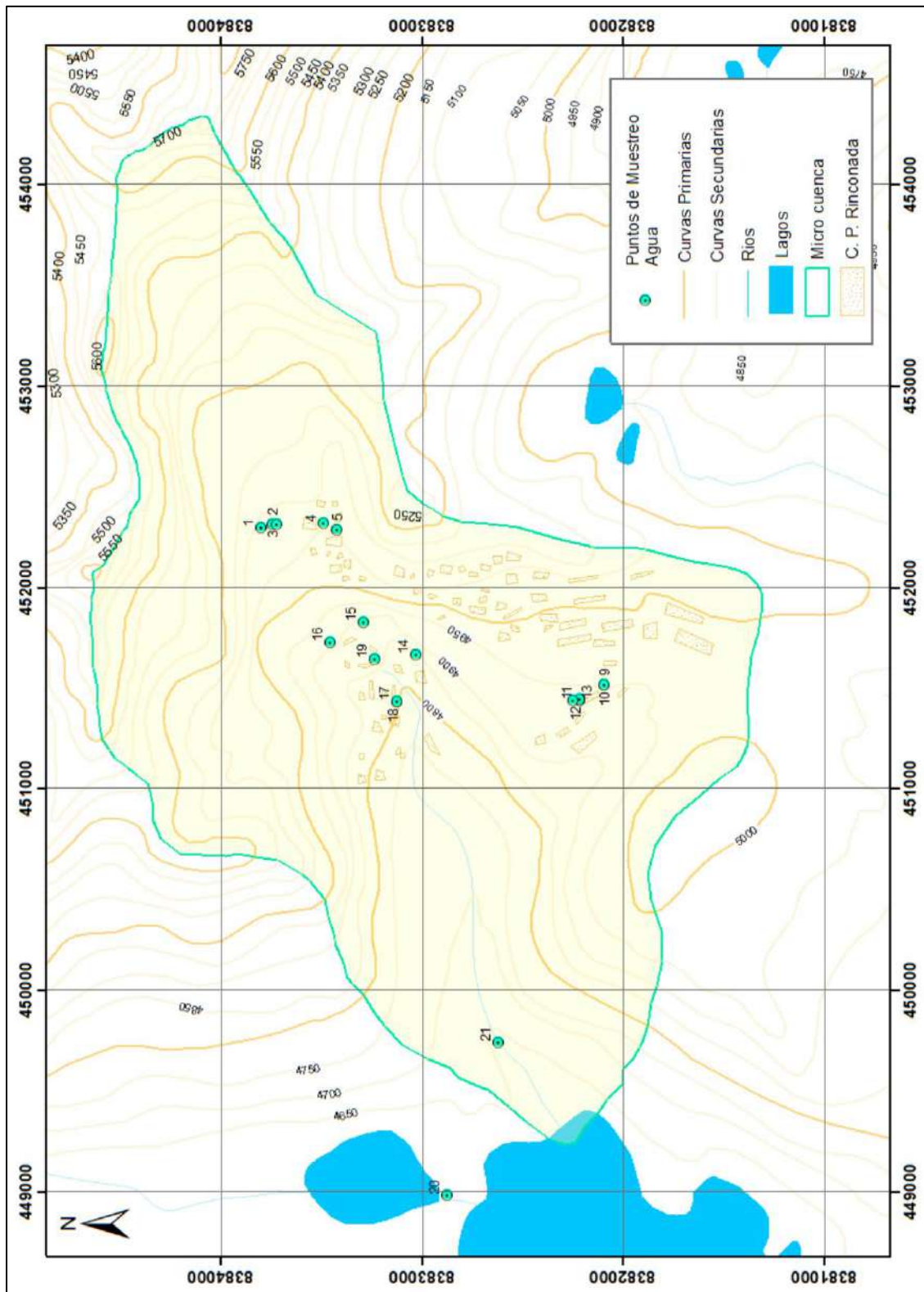


Figura 9. Ubicación de los puntos de muestreo para agua



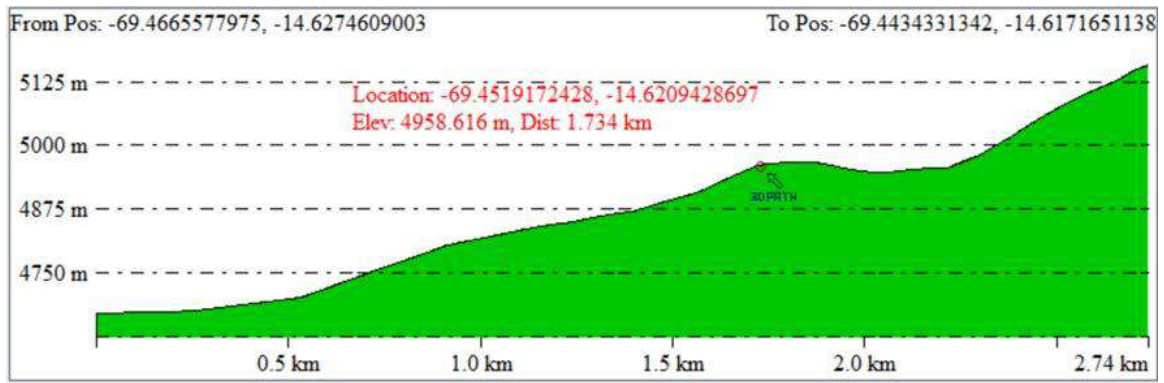


Figura 10. Perfil longitudinal de la microcuenca La Rinconada

Tabla 12.

*Parámetros fisicoquímicos*

Parámetros	Unidad de medida	Puntos de muestreo				D.S. N° 004-2017-MINAM Cat. 3 (D)		
		P-M-06	P-M-14	P-M-15	P-M-16	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
						Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>								
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	145	791	--	403	2 500		5 000
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	<b>4,44</b>	<b>4,77</b>	--	<b>4,72</b>	6,5-8,5		6,5-8,4
Temperatura	°C	--	12	--	10,89	$\Delta$ 3		$\Delta$ 3
<b>INORGÁNICOS</b>								
Arsénico Total (As)	mg/L	0,009	0,0061	<b>0,5261</b>	<b>12,781</b>	0,1		0,2
Mercurio Total (Hg)	mg/L	0,0007	0,001	0,0008	0,0007	0,001		0,01
<b>Tipo de Muestra:</b>	<b>UM</b>							

Fuente: Laboratorios CERTIMIN.

#### 4.2.1. Interpretación de resultados

Según los resultados, se ha obtenido los parámetros que están variando en comparación con los ECA y la norma de Canadá, Temperatura, Conductividad Eléctrica, cloruros, Oxígeno Disuelto, salinidad y T-Aire, así como determinó en su proyecto (Loza y Ccancapa, 2020).

Los parámetros físicos y químicos del agua manifiestan las condiciones en la que se encuentran y por ello tienen una mala calidad, atribuibles a los efectos de la actividad minería artesanal y a la población habitante en esta zona, como también menciona los

autores (Brousett *et al.*, 2021), cuyas descargas ingresan directamente a la laguna la Rinconada. El pH alcanzó un promedio de 4,1, sin diferencias entre los lugares estimados cuyo valor es por debajo de lo señalado en los Estándares de Calidad Ambiental peruano en la categoría 4 (MINAM, 2017), clasificándose como aguas sumamente ácidas así determinó (Loza y Ccancapa, 2020), reportaron que las aguas de esta zona son muy ácidas (pH de hasta 3,47) por la oxidación de minerales sulfurosos expuestos por trabajos mineros (pirrotíta, piritita y arsenopiritita) en donde está acompañado el mineral Oro (Chávez *et al.*, 1996). Estos resultados difieren ampliamente del pH de las aguas de la mayoría de ríos altoandinos cuyos valores de pH normalmente fluctúan entre 6,90 y 8,41 (Gammons *et al.*, 2006).

Tabla 13.

*Parámetros fisicoquímicos de las muestras recolectadas (1-9)*

Descripción	Unidad	Numero de Muestreo									ECA	Canadian Eviromet a Quality
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
pH	Unid de pH	4,08	4,5	4,35	4,5	4,5	4,44	4,73	4,80	5,60	6,5-8,5	6,5-8,50
Temperatura	°C	3,54	0,1	0,04	-	-	-	9,02	9,02	-	8,22-14,2	Δ3
Conduc.	μS/cm	37	13	9	-	-	145	40	168	-	250	500
Oxig(d)	mg/L	2,16	4,19	4,63	-	-	1,48	3,29	3,63	-		
Salinid.	%	0,02	0,01	-	-	-	-	0,02	0,06	-		
T-Aire	°C	4	4	4	6	6	12,7	6	6	2		

Tabla 14.

*Parámetros fisicoquímicos de las muestras recolectadas (10-18)*

Descripción	Unidad	Numero de muestreo									ECA	Canadian Eviromet a Quality
		10	11	12	13	14	15	16	17	18		
pH	Unid de pH	6,50	3,50	4,70	4,72	4,77	3,2	4,72	4,70	4,69	6,5-8,50	6,5-8,50
Temperatura	°C	-	-	10	7,40	12	-	10,89	7,76	7,76	8,22-14,22	Δ3
Conductividad.	μS/cm	-	167	75	372	791	-	413	108	108	250	500
Oxig(d)	mg/L	3,33	2,8	2,18	2,91	1,41	1,41	2,83	4,34	-		
Salinidad	%	-	0,09	0,04	0,22	0,44	-	2,22	0,06	0,06		
T-Aire	°C	2	4	3,5	2	4	6	7,5	4,5	5,5		

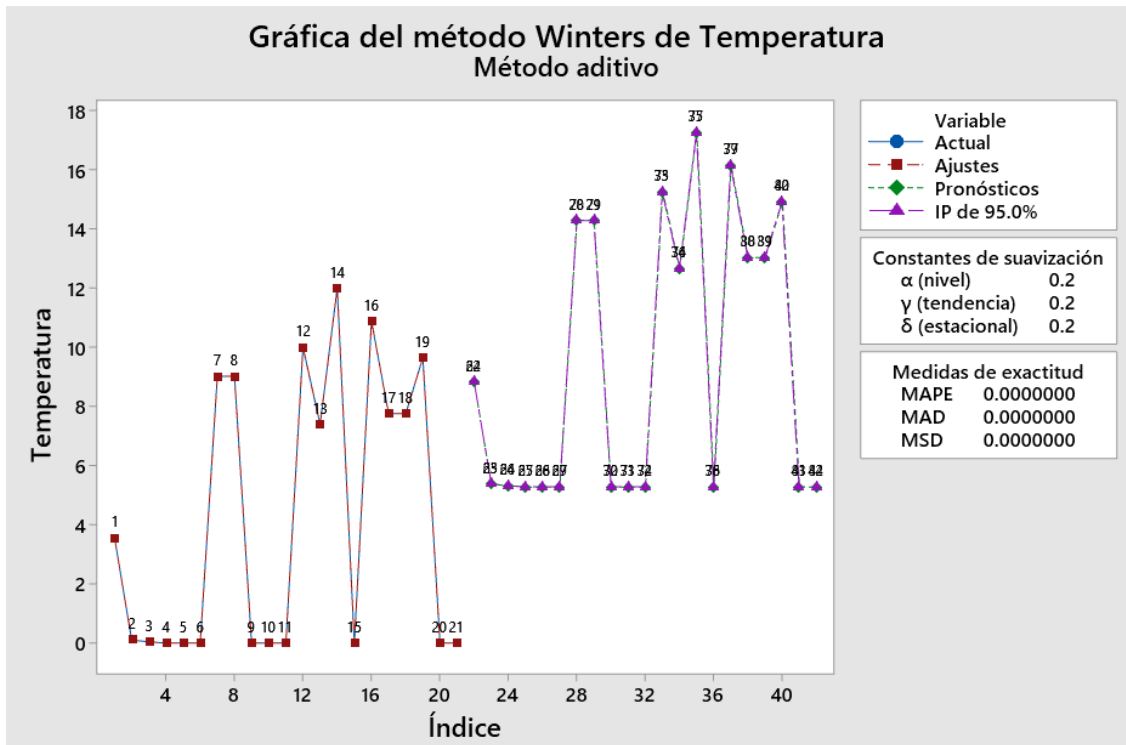


Figura 11. Pronósticos, estudios de agua según la temperatura

Según la figura 11, nos indica que; se estima la temperatura en la temporalidad descenderá según las estaciones aproximadamente en 2,5 grados Celsius variando la actividad enzimática entre un mes y un año, siendo probable con valor de 2.

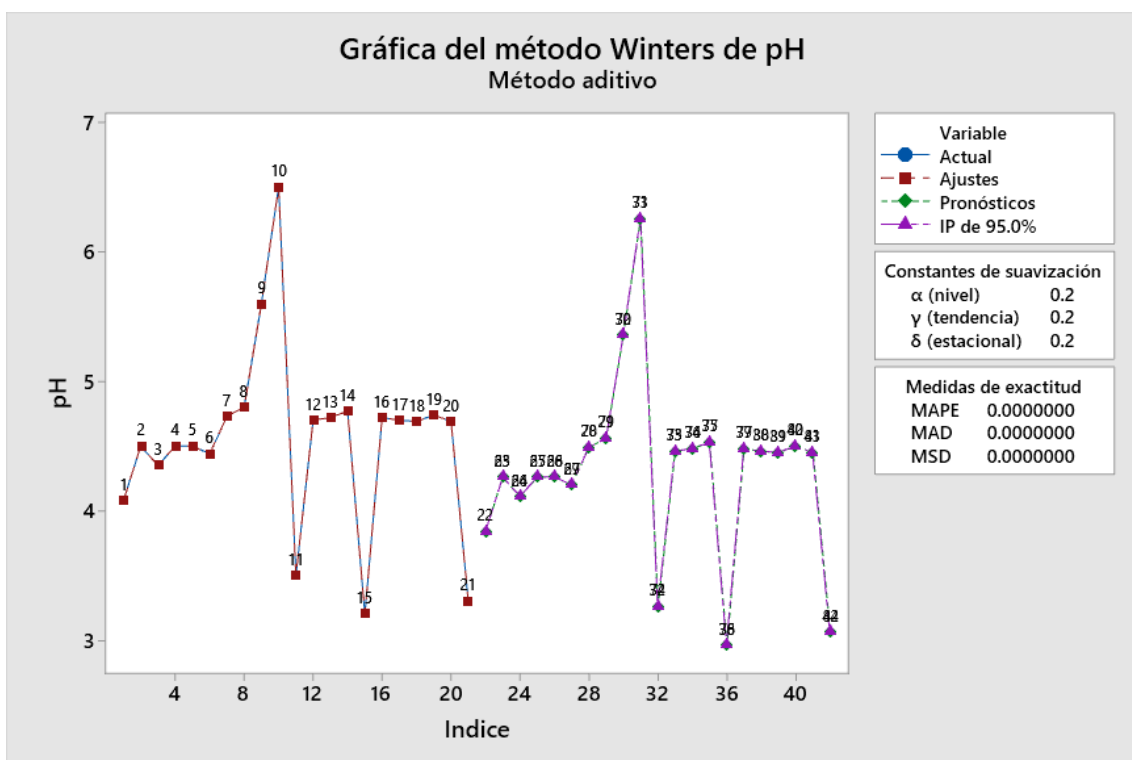


Figura 12. Pronósticos, estudios de agua según el pH

Este factor de pH de agua refleja las condiciones muy bajas que llegan a un valor de 3,5 en el punto de muestreo P-M-11 en donde se ha obtenido de aguas lixiviadas, también se tiene un valor de 4,35 que es por debajo del ECA en el punto P-M-03 ubicado en la laguna artificial a una altitud de 5 077 m.s.n.m. que vendría a ser en una de las fuentes de consumo para la población (Ímaz *et al.*, 2018).

En el punto P-M-01 se tiene un  $\text{pH} \pm 4,08$ , esto viene a ser por debajo del ECA, en el punto P-M-02 se obtuvo un pH de 4,5 que vendría a ser muy por debajo del Estándar de Calidad Ambiental (MINAM, 2017).

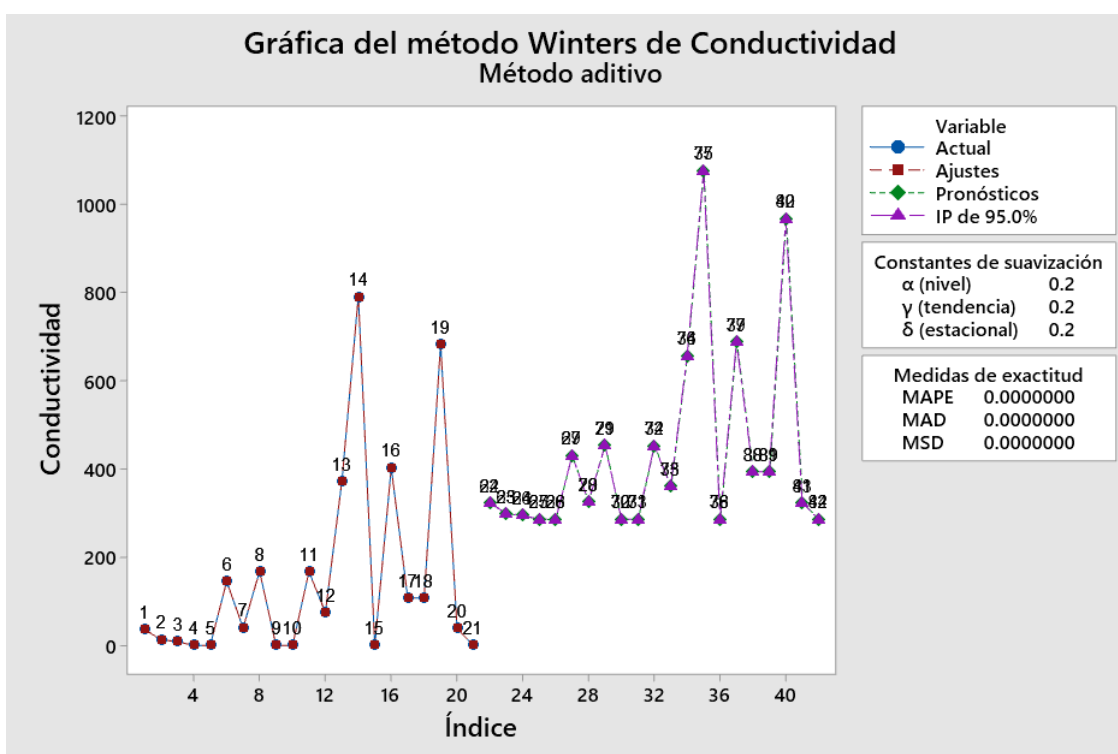


Figura 13. Pronósticos, estudio de agua según la conductividad

En la (figura 13) se estima la conductividad y da un valor de 6,5, debido a que los efectos se duplican en todas las etapas perturbando el estado del agua, acrecentando la concentración de sales (Mantey *et al.*, 2020).

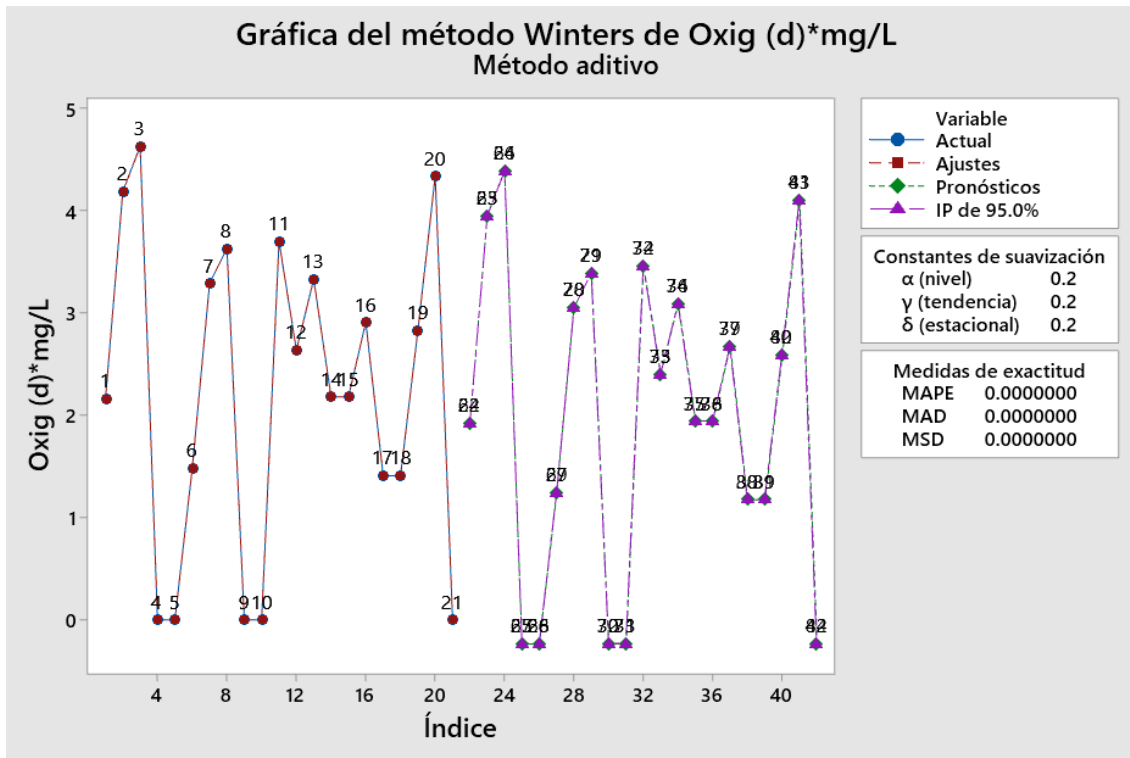


Figura 14. Pronósticos, estudios de agua según el Oxígeno disuelto

El OD, en las etapas siguientes se eleva  $\pm$  mg/L, aumentando cada vez su valor es de 4 (J. Chen *et al.*, 2008).

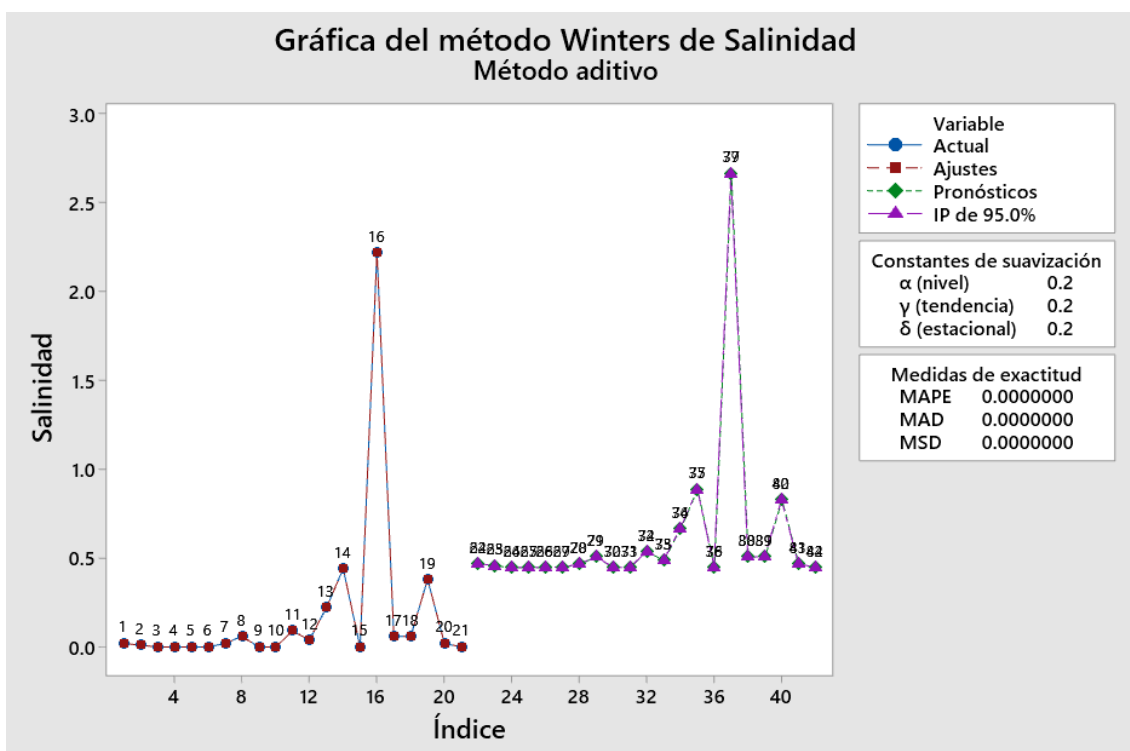


Figura 15. Pronósticos, estudios de agua según la salinidad

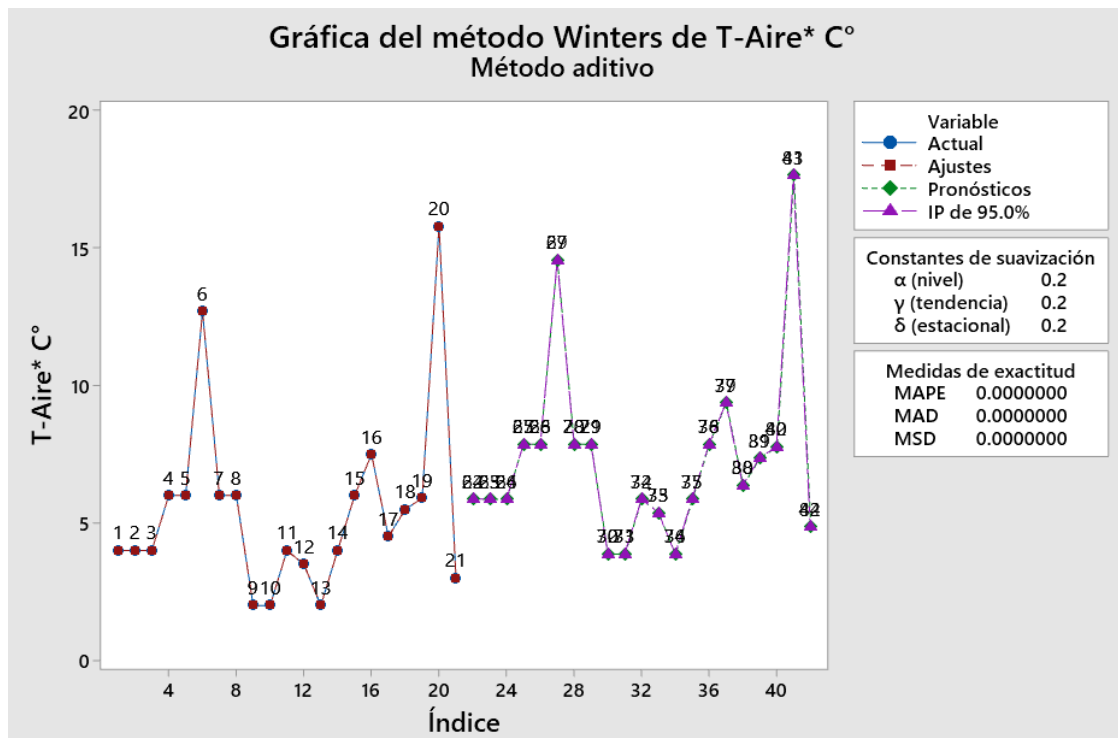


Figura 16. Pronósticos, estudios de agua según T-Aire °C

#### 4.2.2. Análisis y diseño práctico ANOVA

Se ha realizado tres replicas por cada lugar de muestreo en diferentes periodos de tiempo, se obtuvieron un total de 18 muestras de agua superficial, las concentraciones de mercurio y los parámetros físico-químicos se establecieron mediante el estudio de varianza (ANOVA) en diseño de bloque completo al azar, fundamentado por los puntos de muestreo como tratamientos y los meses como bloques. Se aplicó la prueba de Tukey al encontrar diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) (Loza y Ccancapa, 2020).

Se obtuvo mediante el método de hipótesis nula, donde se observa que; todas las medidas son iguales, sin embargo la alternativa que no todas las medidas son iguales, al menos en alguno de ellos es diferente (Patarachao *et al.*, 2021). Se toleró igualdad de varianzas para el análisis.

Tabla 15.

*Análisis de Varianza*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
ID	16	0,000189	0,000012	38,76	0,000
Error	34	0,000010	0,000000		
Total	50	0,000199			

En la tabla 15 logramos hallar el valor de la probabilidad, donde encontramos la fuente, el grado de libertad, el método de cálculo que hizo es de suma de cuadrados y en base a eso se determina el valor F estadístico de Fisher (Gammons *et al.*, 2006) en donde se obtiene el valor de 38,76 que vendría a ser rechazada la hipótesis nula.

Tabla 16.

*Resumen del modelo*

<b>S</b>	<b>R-cuad.</b>	<b>R-cuad. (ajustado)</b>	<b>R-cuad. (pred)</b>
0,0005516	94,80%	92,36%	88,31%

En la tabla 16 se obtiene el resumen del modelo S con un valor de 0,0005516 el R cuadrado con valor 94,80 % y el R- Ajustado con valor de 92,36 % y el R-de predicción con un valor de 88,31 %, se concluye que el valor es alto y se ajusta al modelo planteado a los datos.

Tabla 17.

*Media, desviación estándar de los análisis en agua*

ID	N	Media	Desv,Est,	IC de 95%
P-M-01	3	0,0014	0,001153	(0,000753; 0,002047)
P-M-02	3	0,001133	0,00105	(0,000486; 0,001781)
P-M-05	3	0,000533	0,000379	(-0,000114; 0,001181)
P-M-06	3	0,0005	0,000346	(-0,000147; 0,001147)
P-M-07	3	0,0005	0,000346	(-0,000147; 0,001147)
P-M-08	3	0,002	0,000755	(0,001353; 0,002647)
P-M-09	3	0,0088	0,001153	(0,008153; 0,009447)
P-M-10	3	0,0013	0,0001	(0,000653; 0,001947)
P-M-11	3	0,001067	0,000058	(0,000419; 0,001714)
P-M-12	3	0,000333	0,000208	(-0,000314; 0,000981)
P-M-13	3	0,0029	0,000529	(0,002253; 0,003547)
P-M-14	3	0,001033	0,000058	(0,000386; 0,001681)
P-M-15	3	0,000833	0,000058	(0,000186; 0,001481)
P-M-16	3	0,000733	0,000153	(0,000086; 0,001381)
P-M-17	3	0,0008	0,0001	(0,000153; 0,001447)
P-M-18	3	0,0005	0,0001	(-0,000147; 0,001147)
P-M-20	3	0,0016	0,000265	(0,000953; 0,002247)

Desviación Estándar agrupada = 0,000551646

La tabla 17 representa la media, desviación estándar y los intervalos de confianza a un 95 %, es decir los datos de campo obtenidos en diferentes etapas de tiempo vendría a representar N=3 (Varol, 2020), seguidamente para la muestra P-M-09 su media vendría a ser 0.0088 y una desviación estándar de 0,001153 que estaría en un intervalo de confianza que varía entre (0,008153; 0,009447) y el punto de muestreo P-M-12 su media está representada por 0,000333, la desviación estándar 0.000208 y el intervalo de confianza (-0,000314; 0,000981), por lo tanto existe significancia en las diferencias mencionadas (Loza y Ccancapa, 2020).



### 4.2.3. Comparaciones en parejas de Tukey

En la tabla 18 se obtiene resultados de la prueba de Tukey, este método se ha utilizado para realizar las comparaciones entre los procesos agrupados (Loza y Ccancapa, 2020) que en este caso se tiene  $N=3$ , donde el grupo A tiene valores de media igual a 0,0088, en el grupo B tenemos 5 puntos que vendrían a ser P-M-13, P-M-08, P-M-20, P-M-01y P-M-10, en el grupo C tenemos el resto de los puntos que con resultados de media diferentes (Ottenbros *et al.*, 2019). Por lo tanto, las medias son significativamente diferentes.

Tabla 18.

*Comparaciones en parejas de Tukey*

ID	N	Media	Agrupación	
P-M-09	3	0,0088	A	
P-M-13	3	0,0029	B	
P-M-08	3	0,002	B	C
P-M-20	3	0,0016	B	C
P-M-01	3	0,0014	B	C
P-M-10	3	0,0013	B	C
P-M-02	3	0,001133	C	
P-M-11	3	0,001067	C	
P-M-14	3	0,001033	C	
P-M-15	3	0,000833	C	
P-M-17	3	0,0008	C	
P-M-16	3	0,000733	C	
P-M-05	3	0,000533	C	
P-M-18	3	0,0005	C	
P-M-07	3	0,0005	C	
P-M-06	3	0,0005	C	
P-M-12	3	0,000333	C	

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

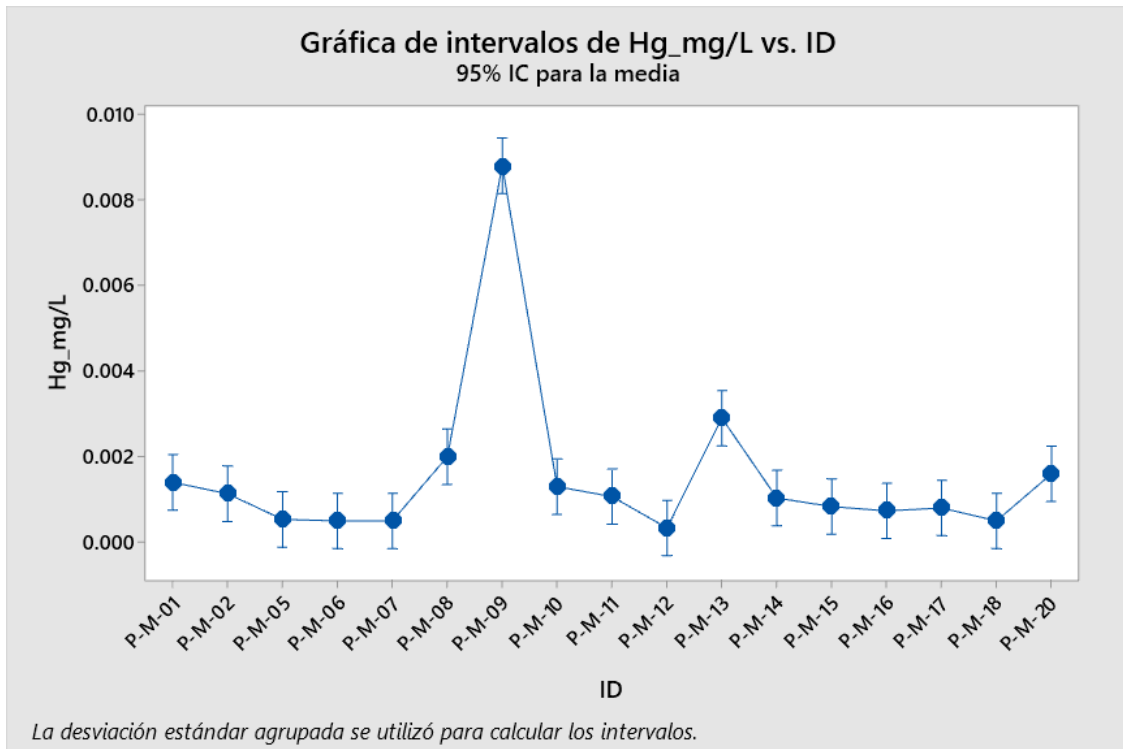


Figura 17. Intervalos de confianza para la media

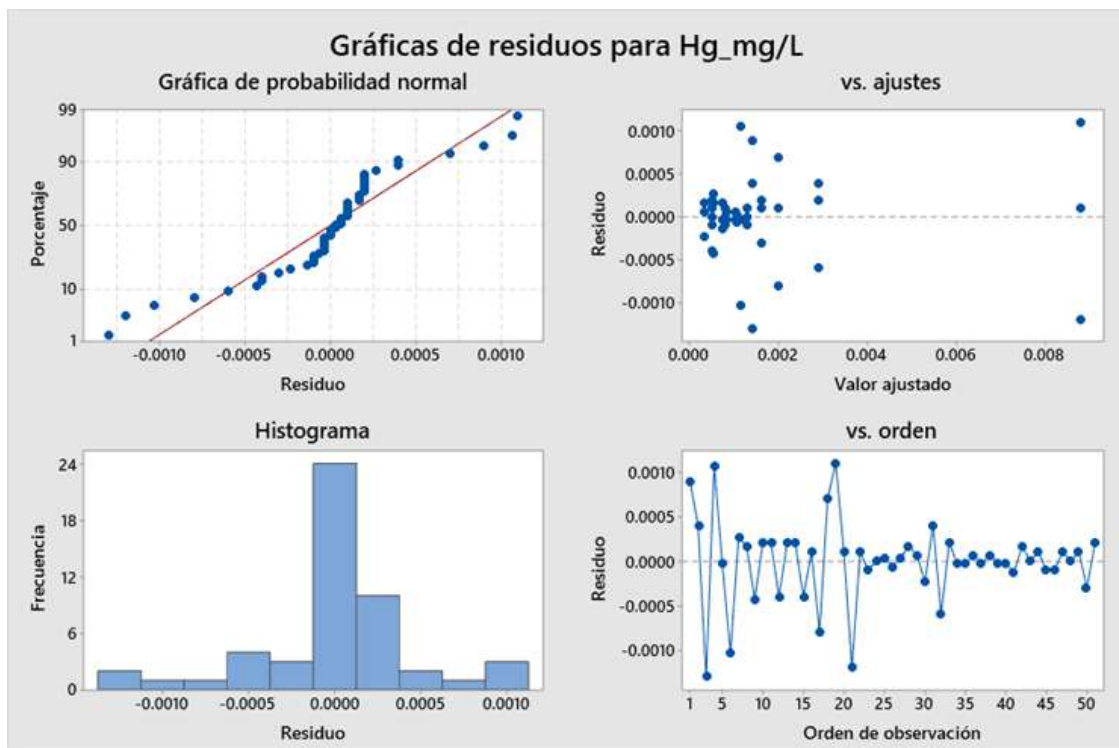


Figura 18. Gráfica de residuos para concentración de Hg en aguas

En las figuras 17 y 18 se observa la representación de los datos mediante las gráficas de probabilidad normal y los datos tienen correlación con respecto al ajuste del modelo (Berzas Nevado *et al.*, 2009).

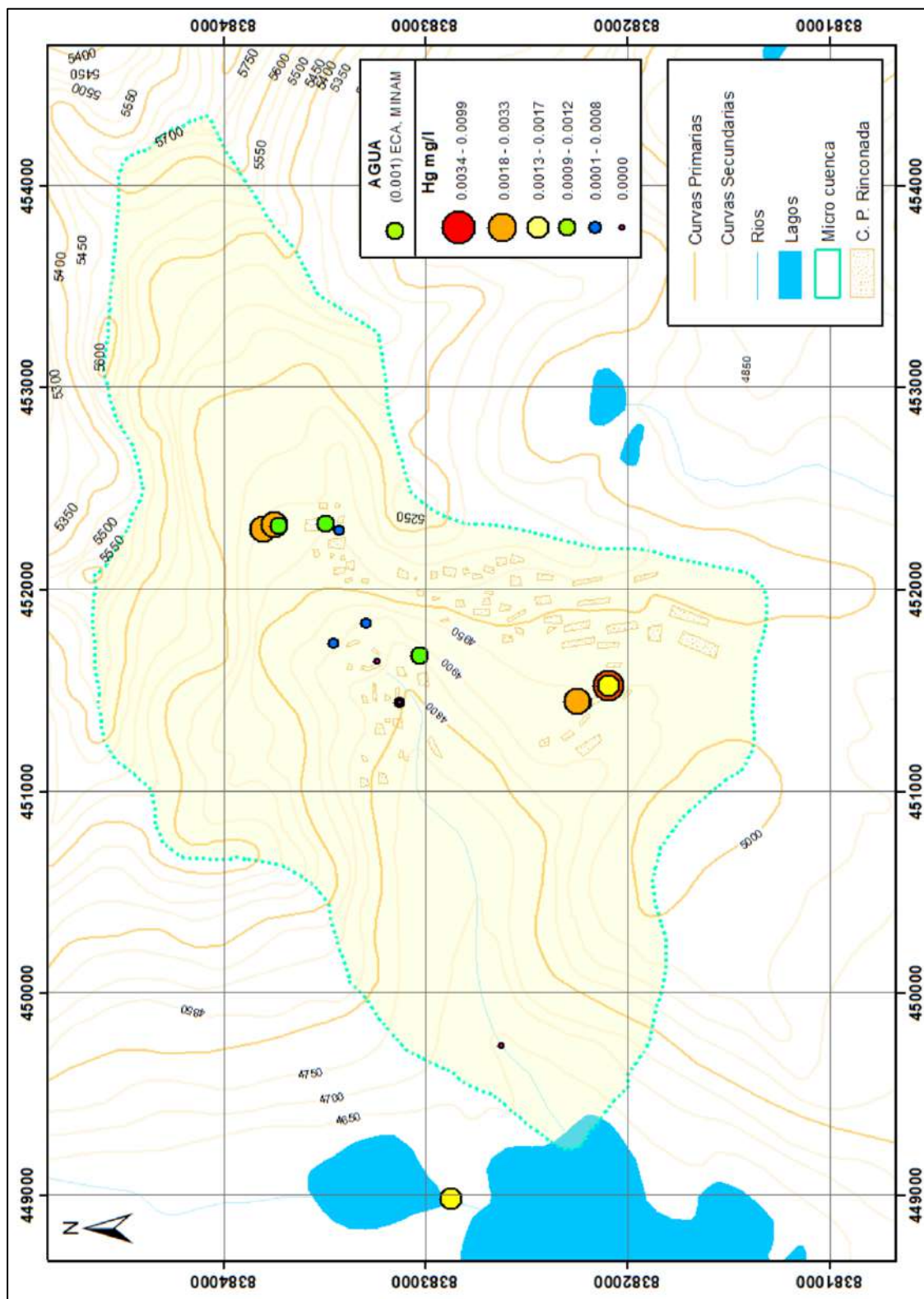


Figura 19. Concentración de Hg en los puntos de muestreo

Según el mapa de ubicación de puntos de muestreo (figura 19), los valores más altos se han presentado en la zona industrial donde se tiene un rango entre 0,0034 mg/L hasta 0,0099 mg/L de concentración de Hg, luego se tiene valores de 0,0018 mg/L hasta

0,0033 mg/L en la misma fuente de abastecimiento de agua para la población, denominado Rytty Cucho en donde es captado el agua y es transportado mediante tubería de 1,5 in, diámetro de la misma manera se presenta estos valores en la zona industrial, los valores sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental así como se establece en la normativa según lo indica (Espinoza, 2018).

Los valores de 0,0009 mg/L hasta 0,0017 mg/L que supera el ECA, están concentrados en la zona industrial en el punto de muestreo P-M-11, a su vez, se ha obtenido en la laguna Casa Grande el punto P-M-20 la concentración por encima del estándar, en la cabecera de cuenca de dicha laguna no existe ninguna actividad minera por lo que es raro que se haya encontrado valores de concentración de Hg, la hipótesis vendría a ser; que las aguas que discurren mediante el arroyo proveniente de la Mina Rinconada, va formando como una colada de sedimento al ingreso de la laguna la Rinconada, esto viene acompañado con el Hg y demás metales pesados que luego mediante la volatilización es trasladado hacia la laguna Casa Blanca (Loza y Ccancapa, 2020).

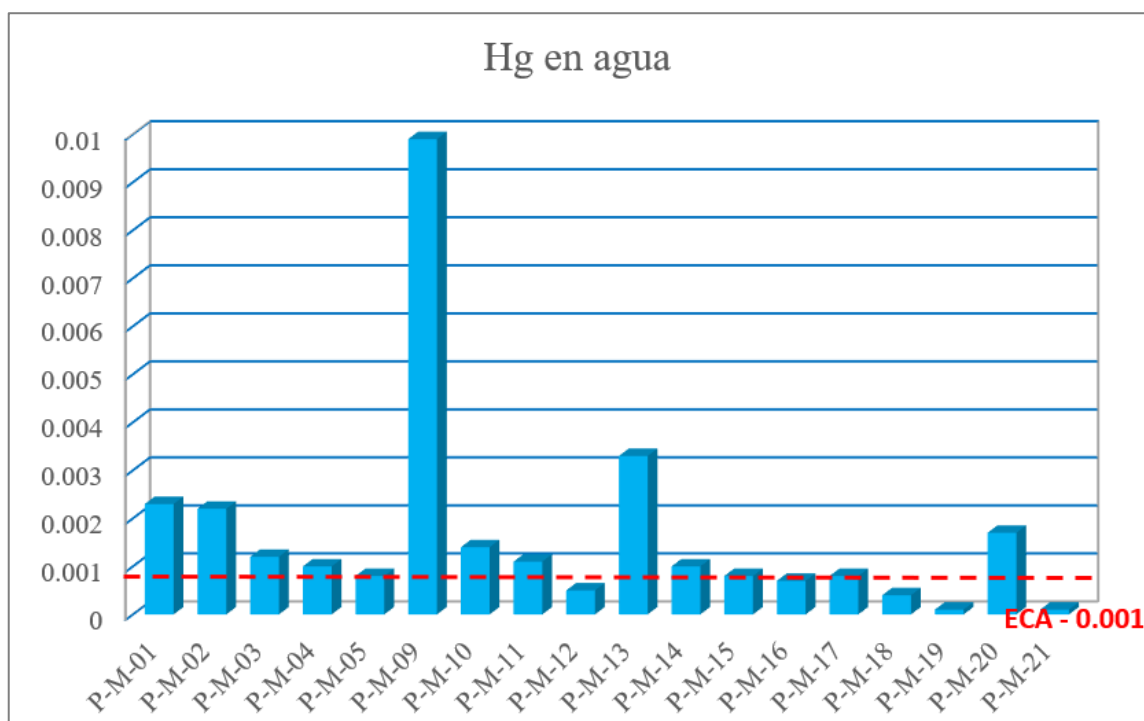


Figura 20. Concentración de Hg en los puntos de muestreo (ECA)

La concentración más alta de Hg se dio en el punto de muestreo P-M-09, llegando a alcanzar un valor de 0,0099 mg/L. luego en el punto P-M-13 la concentración ha llegado a valores de 0,0033 mg/L, que está ubicado en la zona industrial, así mismo el

punto P-M-20 representa un valor de 0,0017 mg/L, esto indica que está por encima del ECA para agua que establece el (MINAM, 2017).

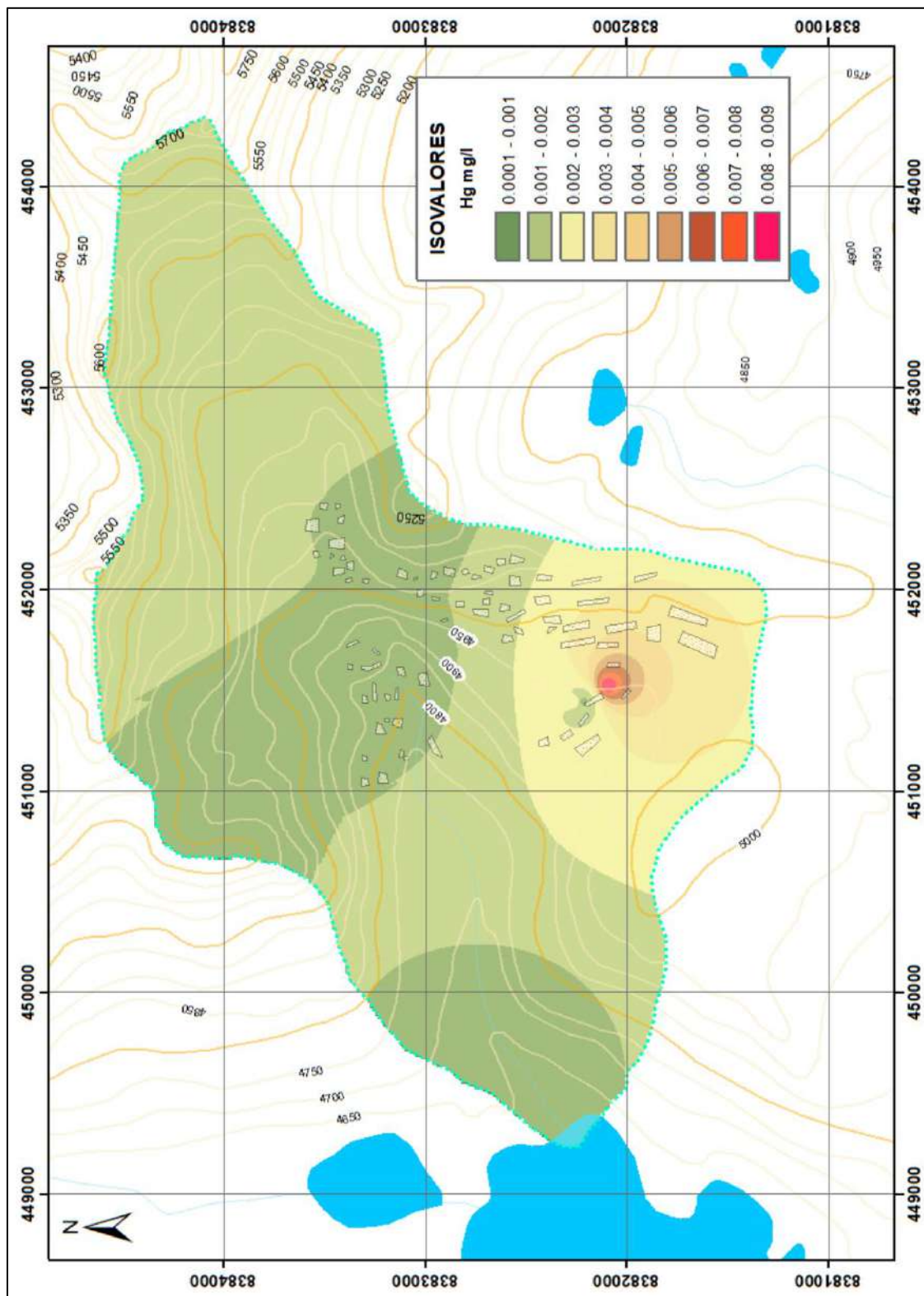


Figura 21. Isovalores de concentraciones de Hg en agua

Los Isovalores representa el nivel y alcance de concentraciones de mercurio en los diferentes sitios de muestreo de la microcuenca, de acuerdo a los rangos abarca el área y su alcance y extensión en niveles de contaminación al medio ambiente y su peligrosidad que causa según la estimación del riesgo ambiental en los entornos humano, ecológico y socioeconómico y utilizando la figura 22 de doble entrada con la probabilidad y la gravedad de las consecuencias (MINAM, 2010), donde los colores rojo amarillo y verde indican un riesgo significativo, moderado y leve respectivamente. Colocamos a los parámetros en el lugar que le corresponde y así leer los riesgos, y así se muestra el grado de significancia de riesgo, obtenido de los escenarios de riesgo en el entorno humano, natural y socioeconómico para el agua, respectivamente (MINAM, 2010).

		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1		Nuo <sup>1</sup>	T <sup>2</sup>	DBO <sub>5</sub> <sup>1</sup>	
	2			pH <sup>1</sup> , OD <sup>2</sup>		
	3		Nuo <sup>2</sup> , HEM <sup>2</sup>	T <sup>1</sup> , pH <sup>2</sup> , DQO <sup>1</sup> , OD <sup>1</sup> , HTP <sup>1</sup>	DBO <sub>5</sub> <sup>2</sup> ,	
	4		HEM <sup>1</sup>	HTP <sup>2</sup>	C.E. <sup>1,2</sup> , Cl <sup>2</sup>	
	5			DQO <sup>2</sup>		

Figura 22. Gravedad en el entorno humano para el agua

Fuente: (MINAM, 2010)

#### 4.3. Determinar la contaminación por efecto del mercurio en sedimentos

Para la determinación del objetivo específico 2, se ubicaron los puntos de muestreo mediante un equipo navegador GPS, se recolectaron un total de 18 muestras (figura 23) en distintos lugares según el criterio y observación en campo siguiendo los protocolos de recolección de muestras en suelos y sedimentos que establece (MINAM, 2014).

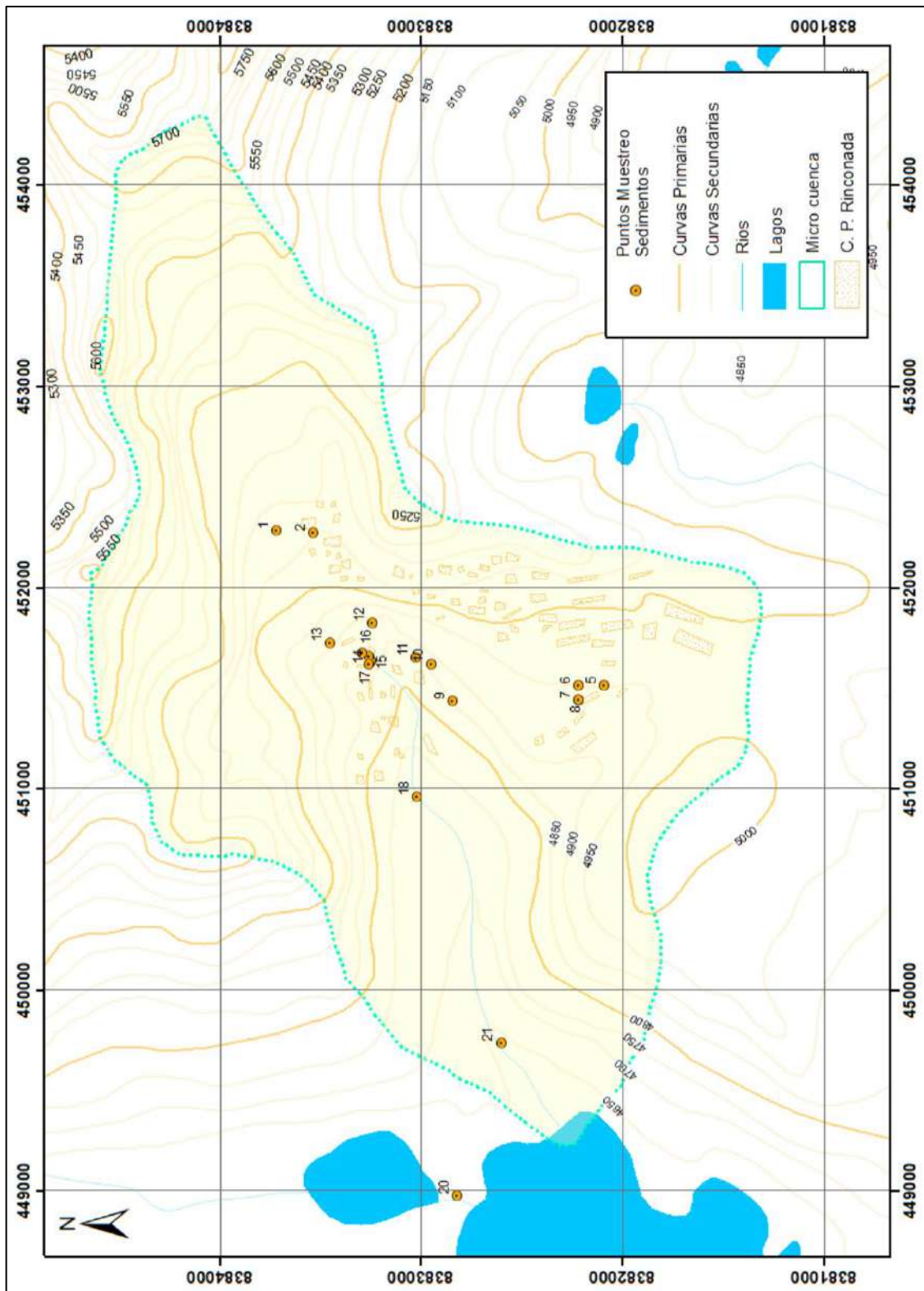


Figura 23. Puntos de muestreo en sedimentos

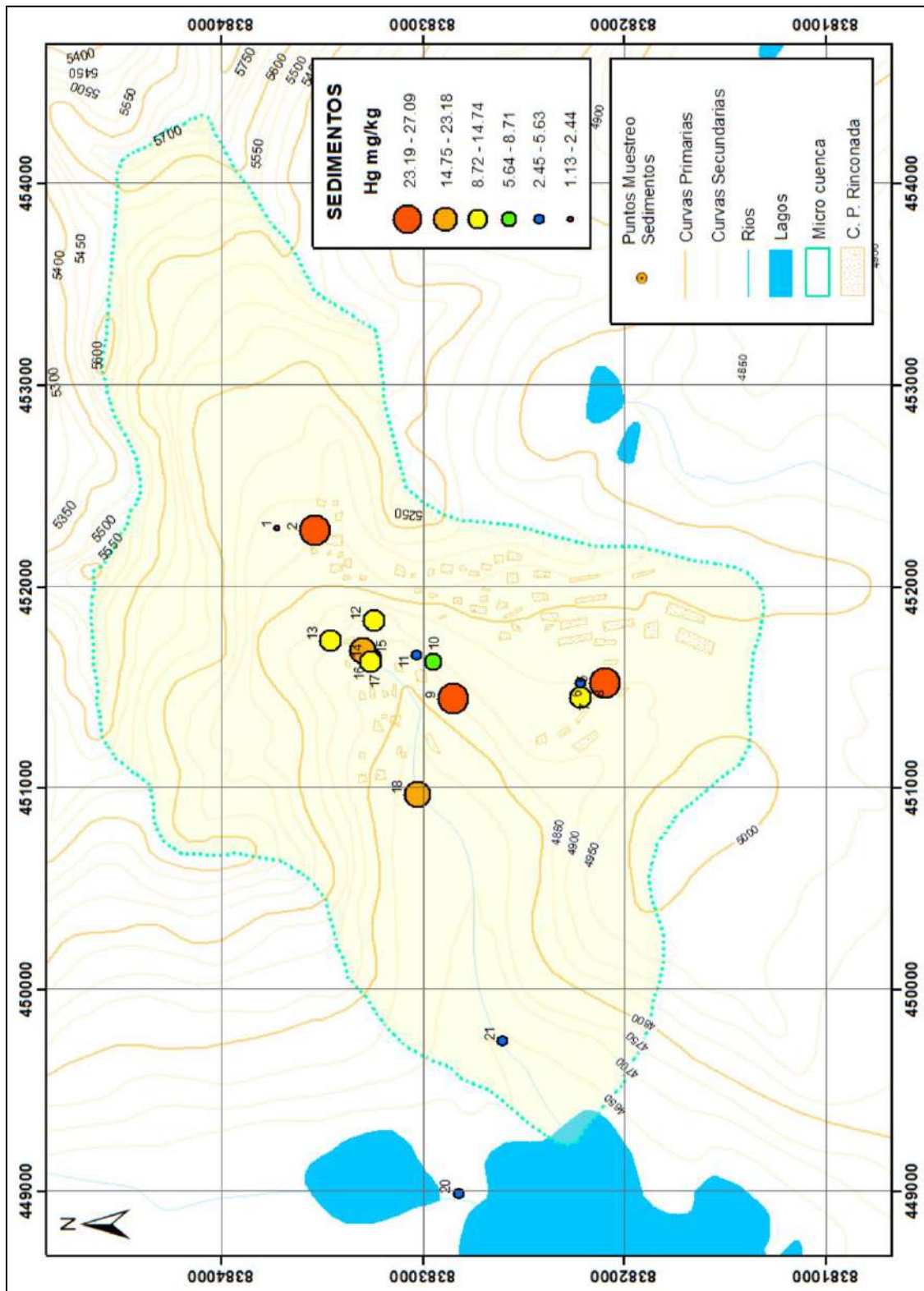


Figura 24. Concentración del mercurio en los puntos de muestreo

Los valores altos de Hg en sedimentos, se ubican a partir de la cabecera de la población de La Rinconada en el que existen trabajos de molienda y de recuperación metalúrgica obteniendo concentraciones entre 23,19 hasta 27,09 mg/kg de Hg, así mismo en la zona



industrial, en Cerro Lunar de oro en donde existen concentraciones desde 14,75 hasta 27,09 mg/kg de Hg según se observa en la (figura 24).

#### 4.3.1. Análisis y diseño práctico

Se ha realizado tres replicas por cada lugar de muestreo en diferentes periodos de tiempo, se obtuvieron un total de 18 muestras suelo y sedimentos, las concentraciones de mercurio se establecieron mediante el estudio de varianza (ANOVA) en diseño de bloque completo al azar (Astonitas *et al.*, 2021), fundamentado por los puntos de muestreo como tratamientos y los meses como bloques. Se aplicó la prueba de Tukey al encontrar diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) (Loza & Ccancapa, 2020).

Al hacer uso del método de hipótesis nula, los resultados indican que existe una hipótesis nula por lo que no todas las cuantificaciones son iguales, al menos en alguno de ellos es diferente (Patarachao *et al.*, 2021). Se presupuso igualdad de varianza para el análisis.

Tabla 19.

*Análisis de Varianza para suelos y sedimentos*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ID	17	85,503	5,0296	34,98	0
Error	36	5,176	0,1438		
Total	53	90,678			

En la tabla 19 se obtuvo el valor de la probabilidad, donde encontramos la fuente, el grado de libertad, el método de cálculo que hizo es de suma de cuadrados y en base a eso se determina el valor F estadístico de Fisher (Gammons *et al.*, 2006) en donde se obtiene el valor de 34,98 que vendría a ser rechazada la hipótesis nula.

Tabla 20.

*Resumen del modelo en suelos y sedimentos*

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,379173	94,29%	91,60%	87,16%

En la tabla 20 se obtiene el resumen del modelo (S) con un valor de 0,379173 el R cuadrado con valor 94,29 % y el R- Ajustado con valor de 91,60 % y el R-de predicción con un valor de 87,16 %, se concluye que el valor es alto y se ajusta al modelo planteado a los datos.

Tabla 21.

*Media, desviación estándar de los análisis en sedimentos*

ID	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
P-S-01	3	4,047	1,028	(3,603; 4,491)
P-S-02	3	6,957	0,388	(6,513; 7,401)
P-S-05	3	7,2133	0,0751	(6,7694; 7,6573)
P-S-06	3	4,403	0,593	(3,959; 4,847)
P-S-07	3	3,11	0,637	(2,666; 3,554)
P-S-08	3	6,48	0,1058	(6,0360; 6,9240)
P-S-09	3	7,157	0,397	(6,713; 7,601)
P-S-10	3	5,697	0,232	(5,253; 6,141)
P-S-11	3	4,65	0,0436	(4,2060; 5,0940)
P-S-12	3	6,2933	0,1002	(5,8494; 6,7373)
P-S-13	3	6,313	0,184	(5,869; 6,757)
P-S-14	3	5,74	0,215	(5,296; 6,184)
P-S-15	3	4,06	0,297	(3,616; 4,504)
P-S-16	3	7,3	0,1179	(6,8560; 7,7440)
P-S-17	3	6,317	0,263	(5,873; 6,761)
P-S-18	3	7,01	0,1323	(6,5660; 7,4540)
P-S-20	3	4,62	0,0557	(4,1760; 5,0640)
P-S-21	3	5,04	0,334	(4,596; 5,484)

Desviación Estándar agrupada = 0,379173

La tabla 21 representa la media, desviación estándar y los intervalos de confianza a un 95 %, es decir los datos de campo obtenidos en diferentes etapas de tiempo vendría a representar N=3 (Varol, 2020), seguidamente para la muestra P-S-05 su media vendría a ser 7,2133 y una desviación estándar de 0,0751 que estaría en un intervalo de confianza que varía entre (6,7694; 7,6573) y el punto de muestreo P-S-07 su media está representada por 3,11, la desviación estándar 0,637 y el intervalo de confianza (2,666;



3,554), por lo tanto existe significancia en las diferencias mencionadas (Loza y Ccancapa, 2020), ya que nos muestra el valor más alto de concentración de Hg y el más bajo en los diferentes sitios.

#### **4.3.2. Comparaciones en parejas de Tukey para sedimentos**

En la tabla 22 se obtiene resultados de la prueba Tukey, este método se ha utilizado para realizar las comparaciones entre los procesos agrupados (Loza & Ccancapa, 2020) que en este caso se tiene  $N=3$ , donde el grupo (A) en punto de muestreo P-S-16 tiene un valor media igual a 7,3, el punto de muestreo P-S-08 grupo (B) tenemos 6 puntos que vendrían a ser P-S-17, P-S-13, P-S-12, P-S-14, P-S-10 con sus respectivos valores, en el grupo (C) tenemos 5 valores que se asemejan, en el grupo (D) se tiene 6 datos semejantes, en el grupo (E) los puntos que con resultados de media diferentes (Ottenbros *et al.*, 2019). Por lo tanto, las medias son significativamente desiguales.

Tabla 22.

*Comparaciones en parejas de Tukey para sedimentos*

ID	N	Media	Agrupación			
P-S-16	3	7,3	A			
P-S-05	3	7,2133	A			
P-S-09	3	7,157	A			
P-S-18	3	7,01	A			
P-S-02	3	6,957	A			
P-S-08	3	6,48	A	B		
P-S-17	3	6,317	A	B		
P-S-13	3	6,313	A	B		
P-S-12	3	6,2933	A	B		
P-S-14	3	5,74		B	C	
P-S-10	3	5,697		B	C	
P-S-21	3	5,04		C	D	
P-S-11	3	4,65		C	D	
P-S-20	3	4,62		C	D	
P-S-06	3	4,403			D	
P-S-15	3	4,06			D	E
P-S-01	3	4,047			D	E
P-S-07	3	3,11				E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

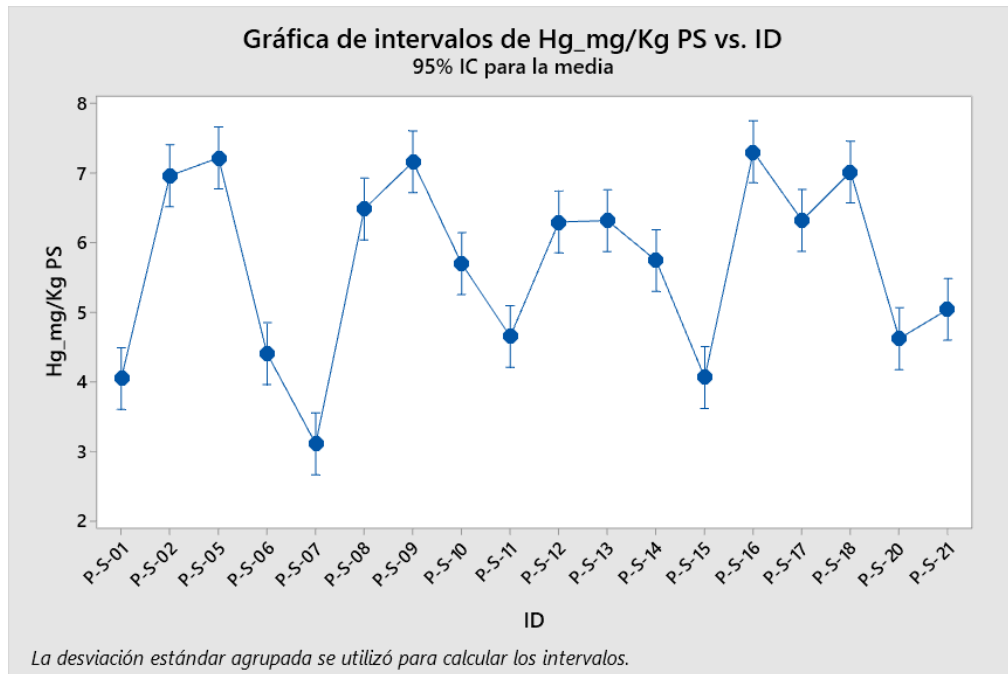


Figura 25. Intervalos de Hg mg/kg

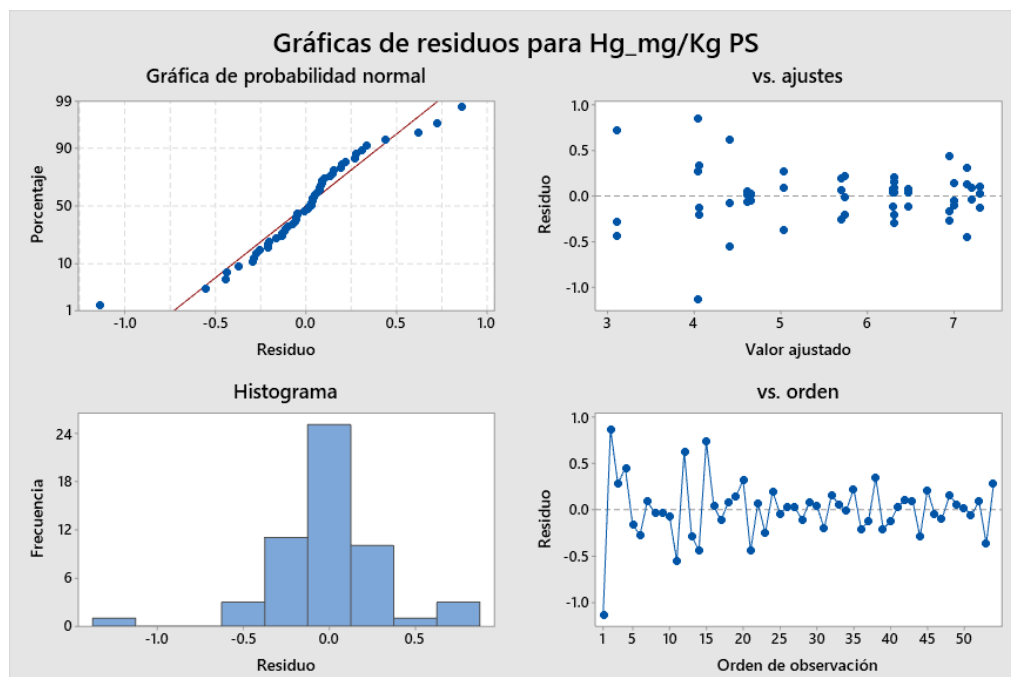


Figura 26. Gráfica de residuos para concentración de Hg en sedimentos

En las figuras 25 y 26 observamos la representación de los datos mediante las gráficas de probabilidad normal en el que los datos tiene correlación con respecto al ajuste del modelo planteado para la concentración mg/kg de mercurio en sedimentos, de acuerdo a los puntos de muestreo el punto P-S-07 presenta un valor de 3 mg/kg de Hg en

comparación a al punto P-S-16 presenta un valor de 7,5 mg/kg de Hg ajustado al 95% Intervalo de confianza.

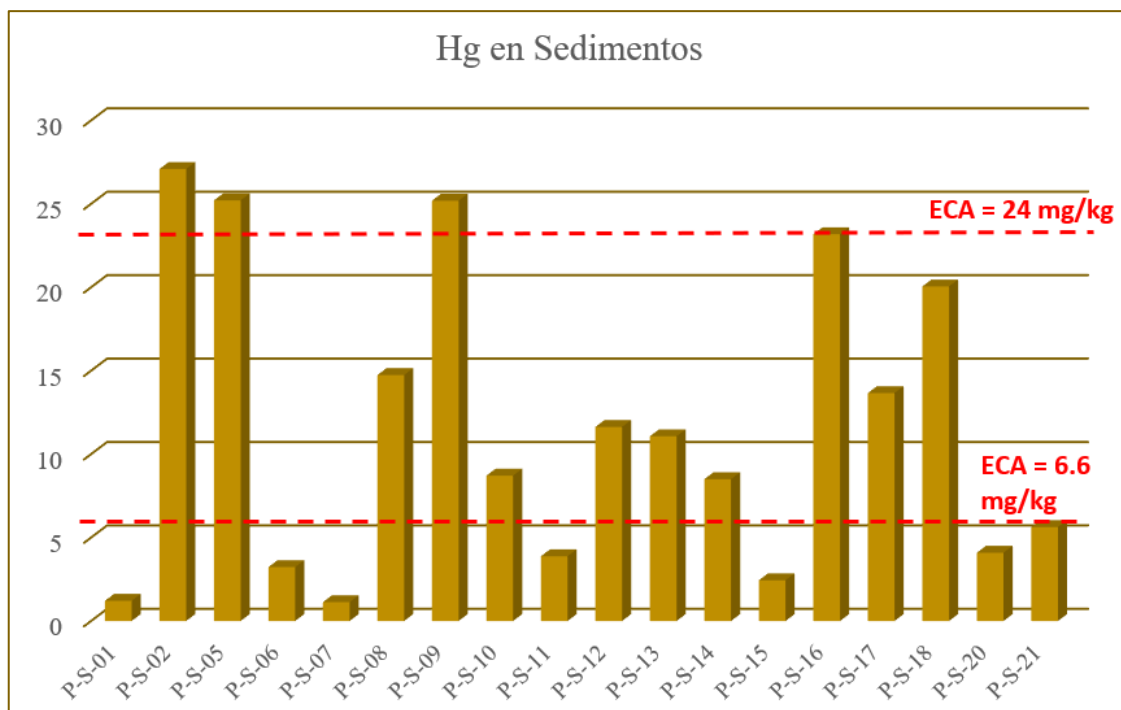


Figura 27. Mercurio en sedimentos (ECA)

En todas las muestras de sedimentos la mayoría presentaron elevados valores de mercurio (Hg), a excepción de los puntos (P-S-01, P-S-06, P-S-07, P-S-11, P-S-15 y P-S-20) que si se encuentran dentro de los límites máximos permisibles (MINAM, 2017) perteneciendo a la Categoría 3 **SUELO AGRICOLA** (6,6 mg/kg) dedicado a para la producción de forrajes, cultivos y el desarrollo de la ganadería, manteniendo un habitat para especies permanentes y transitorias y los puntos (P-S-08, P-S-10, P-S-12, P-S-13, P-S-14, P-S-17, P-S-18, P-S-21) se encuentran dentro de la Categoría 5 **SUELO INDUSTRIAL** (24 mg/kg) que se desarrolla y abarca la extracción de recursos naturales (actividad minera entre otros) según los estándares de calidad ambiental (ECA), Decreto Supremo N° 011- 2017 - (MINAM, 2017) y el resto de los puntos muestreados las concentraciones de mercurio (Hg) superaron ampliamente los valores el cual este metal causa efectos en la mayoría de los organismos bentónicos (SEL por sus siglas en inglés) que constituyen el límite de exposición para seguridad ocupacional y administración de salud (PEL) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos. En sus dos muestreos en el arroyo, (Gammons *et al.*, 2006), reportan valores de 228 mg/ kg de Hg cerca al poblado Lunar de Oro y

232 mg/kg en el sector Pampa Molinos, coincidiendo cercanamente con algunos de nuestros reportes así como misiona en su trabajo (Loza y Ccancapa, 2020).

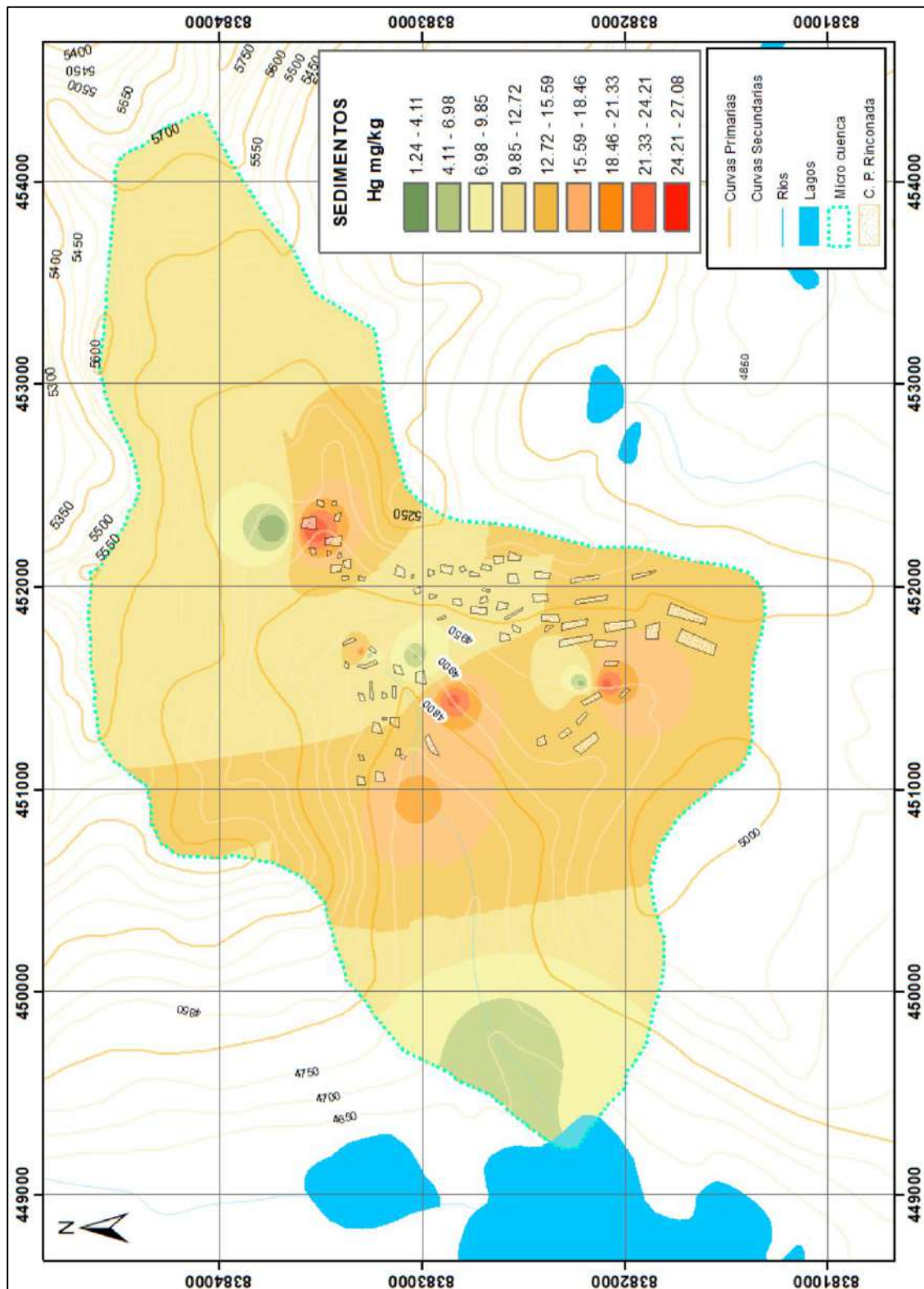


Figura 28. Isovalores de concentraciones del Hg en sedimentos

Cada punto de los isovalores (figura 28), presenta valores característicos, determinados por técnicas de interpolación, de tal forma que al unirlos generaron una curva que simboliza valores característicos bajo el análisis de concentración de mercurio (Hg) dando el punto más bajo 1,24 – 4,11 mg/kg representado por el color verde y la concentración mayor 24,21 – 27,08 mg/kg de Hg representado de color rojo dando un análisis de vulnerabilidad a la contaminación ambiental por la minería aurífera artesanal (Velásquez *et al.*, 2021). Siendo la gravedad del metal altamente toxico por los valores presentados, esto implica problemas serios de contaminación ambiental y salud humana (Vicente *et al.*, 2020).

El índice Igeo muestra la misma situación (Perez, 2021), calificando todo el ámbito como un ecosistema “extremadamente contaminado” con mercurio (Wei *et al.*, 2011), con un valor promedio de 1,45, siendo los tramos más contaminados la zona industrial donde se usa directamente el mercurio en el proceso de recuperación de oro, seguidamente la zona de la laguna colmatada ubicado en lunar de oro con concentraciones 18,46 mg/kg, así como lo indica investigaciones anteriores como el de (Loza y Ccancapa, 2020) seguidamente la zona de Ritty pata alcanzando valores de 1,2 kg/mg de Hg (figura 29).



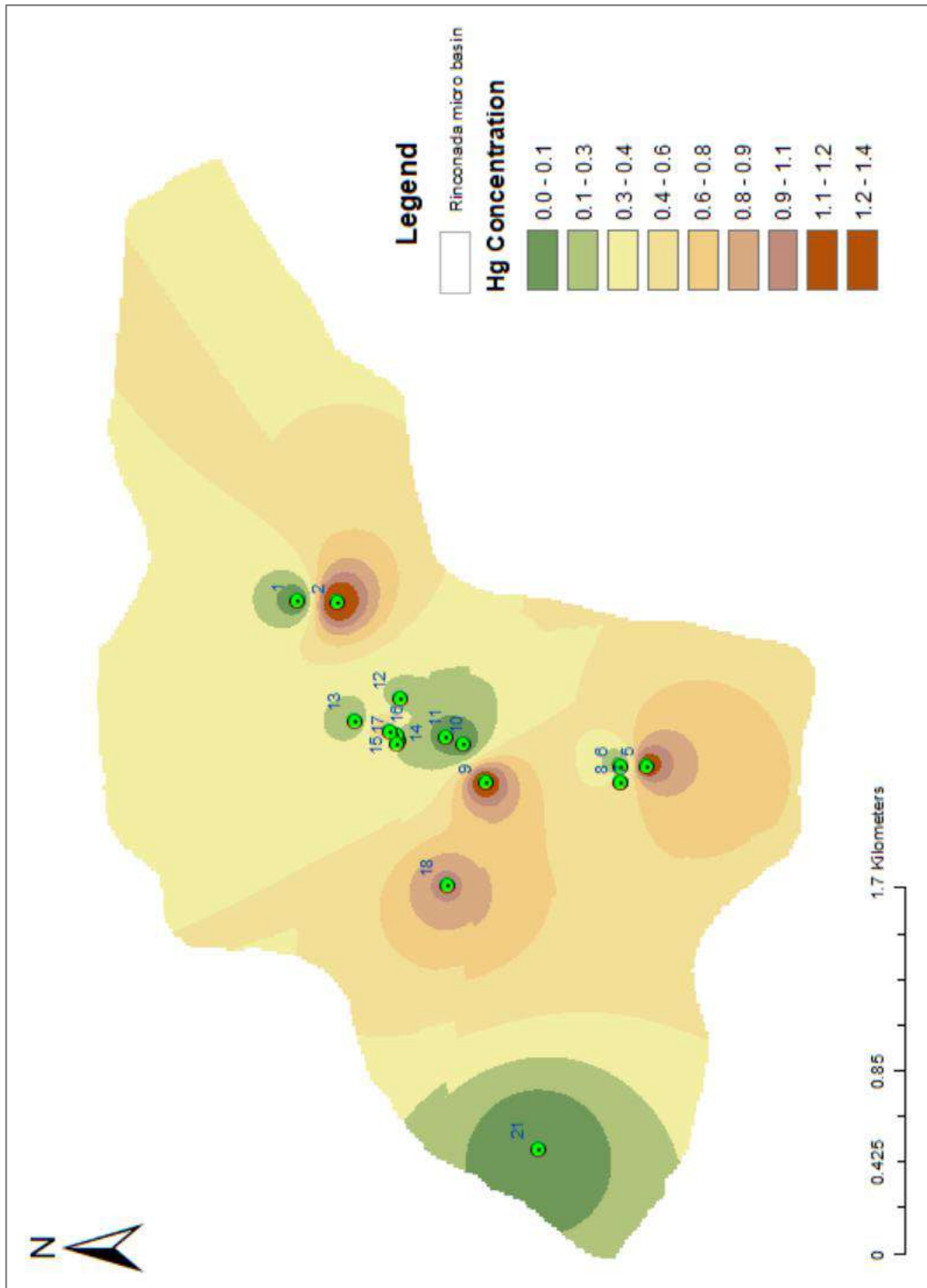


Figura 29. Concentración del Hg mediante el Igeo acumulación para sedimentos

## CONCLUSIONES

- Se ha determinado la concentración de mercurio en el Centro Poblado La Rinconada en agua y sedimentos; se estableció las características físicas y químicas del agua, así mismo revelaron niveles de concentraciones superiores a 0,001 mg Hg/L, 6,6 mg Hg/kg para suelo agrícola y 24 mg Hg/kg para suelo industrial, revelando una baja calidad propia del ecosistema completamente degradado. Su estado considerablemente ácido y los bajos niveles de oxígeno disuelto determinan que no son aptas para ningún tipo de uso en general. Los elevados niveles de SDT y conductividad eléctrica indican alta sedimentación de material particulado y presencia de sales y minerales que contienen diversos tipos de contaminantes.
- Las variaciones en concentraciones de mercurio del agua dependen de la época y extensión del caudal de la microcuenca, siendo mayores en los meses más secos y con menores caudales. Se determinó un promedio de pH de 4,5 en los lugares de muestreo logrando obtener valores inferiores a lo establecido por el (MINAM, 2017) para aguas superficiales, la fuente de consumo de agua en la zona Ritti cucho presenta concentraciones de mercurio sobre el Estándar de Calidad Ambiental, por lo que no es apto para el consumo humano, el valor más alto de concentración de Hg se obtuvo en el punto de muestreo P-M-09 = a 0,0088 mg Hg/L. Con los parámetros fisicoquímicos se aplicó la prueba de Tukey se encontró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), en el análisis de varianza; se determinó el valor F estadístico de Fisher, obteniendo un valor de 38,76 que vendría a ser rechazada la hipótesis nula.
- Las concentraciones de mercurio en sedimentos en el puntos de muestreo P-S-02, P-S-05 y P-S-09 fueron muy altas, superando los límites Máximos Permisibles señalados por (MINAM, 2017). Se ha determinado la concentración de mercurio en todos los puntos de muestreo y en la zona industrial. Los índices Igeo reflejan el gran riesgo eco toxicológico para la vida silvestre y la salud pública que representa este lugar de estudio, que constituye además una amenaza potencial para toda la cuenca en general, ya que estas cargas deben contribuir sustancialmente a las tasas de metilación y a fenómenos de bioacumulación y biomagnificación, sobre todo en receptores finales. Se aplicó la prueba de Tukey



encontrándose así diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Mediante el modelo (S) se obtuvo un valor de 0,379173 el R cuadrado con valor 94,29 %, se concluye que el valor es alto y se ajusta al modelo planteado a los datos.

## RECOMENDACIONES

- Se sugiere a las autoridades competentes tomar medidas para prevenir la contaminación por mercurio de agua y sedimentos mediante el control y aplicación de la norma que protege al cuidado de la salud y el medio ambiente.
- Se recomienda continuar evaluando los niveles de contaminación de agua en todo el Centro poblado La Rinconada porque es un foco principal de la cuenca del Titicaca que podría generar una contaminación global en toda la cuenca a su vez evaluar los parámetros fisicoquímicos que presentaron riesgo ambiental, tomando en cuenta que las predicciones periódicas indican que seguirán en aumento las concentraciones.
- Se sugiere desarrollar otra metodología de comparación de concentración como; en las muestras de cabello, sangre, orina en los seres vivos, aire y muestras orgánicas para evaluar la cantidad de Hg que afectan todo el ecosistema del entorno.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ali, M. M., Ali, M. L., Islam, M. S., & Rahman, M. Z. (2016). Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 5, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2016.01.002>
- Alvarez, R. J. (2018). *Evaluación de metales pesados en agua del río Ramis sector Crucero - San Antón y su interpretación en software* [Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8864?show=full>
- ANA, 2016. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales* (p. 59). [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j.\\_010-2016-ana\\_0.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._010-2016-ana_0.pdf)
- Aparicio, L. M. (2015). *El Mercurio en la Cuenca del Tambopata. Repercusiones en la Salud Humana y del Ecosistema* [Universidad Nacional Agraria la Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1164/T007356.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Astonitas, L. J., Pariente, E., & Milla Pino, M. E. (2021). Metodología de muestreo de suelos con fines de análisis químico para la detección de metales pesados. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 5(2), 77. <https://doi.org/10.25127/aps.20212.772>
- Balzino, M., Seccatore, J., Marin, T., De Tomi, G., & Veiga, M. M. (2015). Gold losses and mercury recovery in artisanal gold mining on the Madeira River, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 102, 370–377. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.012>
- Berzas Nevado, J. J., Rodríguez Martín-Doimeadios, R. C., & Moreno, M. J. (2009). Mercury speciation in the Valdeazogues River-La Serena Reservoir system: Influence of Almadén (Spain) historic mining activities. *Science of the Total Environment*, 407(7), 2372–2382. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.12.006>
- Blesa, M. A., & Castro, G. D. (2015). *Historia Natural y Cultural del Mercurio* (AAPC (ed.); Primera Ed). Asociación Argentina. [http://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2017/10/libro\\_historia\\_natural\\_cultural\\_mercurio.pdf](http://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2017/10/libro_historia_natural_cultural_mercurio.pdf)

- Brousett, M. A., Rondan-Sanabria, G. G., Chirinos-Marroquín, M., & Biamont-Rojas, I. (2021). Impacto de la Minería en Aguas Superficiales de la Región Puno - Perú. *Fides et Ratio - Revista de Difusión Cultural y Científica de La Universidad La Salle En Bolivia*, 21(21), 187–208. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-081X2021000100011&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v21n21/v21n21\\_a11.pdf](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-081X2021000100011&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v21n21/v21n21_a11.pdf)
- Camacho, A., Reboloso, C., Van Brussel, E., Flores, R., Carrizales, L., & Díaz-Barriga, F. (2016). Impact of artisanal mining of mercury on the natural environment. *Toxicology Letters*, 259, S166–S167. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2016.07.396>
- Campeau, A., Eklöf, K., Soerensen, A. L., Åkerblom, S., Yuan, S., Hintelmann, H., Bierozza, M., Köhler, S., & Zdanowicz, C. (2022). Sources of riverine mercury across the Mackenzie River Basin; inferences from a combined Hg–C isotopes and optical properties approach. *Science of the Total Environment*, 806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150808>
- Chamizo, J. A. (2018). *Química General* (F. de Química (ed.); Primera ed). [http://www.joseantoniochamizo.com/pdf/quimica/libros/002\\_Quimica\\_general.pdf](http://www.joseantoniochamizo.com/pdf/quimica/libros/002_Quimica_general.pdf)
- Chávez, A., Salas, G., Cuadros, J., & Gutiérrez, E. (1996). Geología de los cuadrángulos de Putina y La Rinconada, hojas: 30-x y 30-y – [Boletín A 66]. In *Instituto Geológico Minero y Metalúrgico* (p. 178). <https://hdl.handle.net/20.500.12544/188>
- Chen, J., Gao, Y. C., Guo, C., Wu, G. H., Chen, Y. C., & Lin, B. (2008). Facile synthesis of water-soluble and size-homogeneous cadmium selenide nanoparticles and their application as a long-wavelength fluorescent probe for detection of Hg(II) in aqueous solution. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 69(2), 572–579. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2007.05.005>
- Chen, X., Zheng, L., Sun, R., Liu, S., Li, C., Chen, Y., & Xu, Y. (2022). Mercury in sediment reflecting the intensive coal mining activities: Evidence from stable mercury isotopes and Bayesian mixing model analysis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 234(December 2021), 113392. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113392>

- Cheng, D., Ni, Z., Liu, M., Shen, X., & Jia, Y. (2021). Determination of trace Cr, Ni, Hg, As, and Pb in the tipping paper and filters of cigarettes by monochromatic wavelength X-ray fluorescence spectrometry. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 502(March), 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2021.06.004>
- Cuentas, M., & Velarde, J. (2019). Uso de mercurio en la Rinconada - Puno. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 4(1), 27–34. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2519-53522019000100003](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522019000100003)
- Escobar, R., Arista, F., & Jaramillo, M. (2019). Plataforma Integral de Minería a Pequeña escala. In *Programa de Minería de Solidaridad y la Plataforma Integral de Minería de Pequeña Escala*. [https://www.plataformaintegraldemineria.org/sites/default/files/2019-04/Formalización Minera de Pequeña Escala en Latinoamérica Colombia Ecuador Perú Bolivia\\_0.pdf](https://www.plataformaintegraldemineria.org/sites/default/files/2019-04/Formalización%20Minera%20de%20Peque%C3%B1a%20Escala%20en%20Latinoam%C3%A9rica%20Colombia%20Ecuador%20Per%C3%BA%20Bolivia_0.pdf)
- Espinoza, D. P. (2018). *Escalas de Contaminación por Mercurio y su Impacto Ambiental por la Minería, Provincia de Maynas – 2014* [Universidad Nacional Federico Villarreal]. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/2347>
- Fernandez, H. B., Mullisaca, E., & Huanchi, L. E. (2022). *Level of soil contamination with arsenic and heavy metals in Tiquillaca (Peru) Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) Share-Adapt.* 24(2), 131–138. <https://doi.org/https://doi.org/10.18271/ria.2022.416>
- Fierro, B. A. (2017). *Evaluación de los niveles de mercurio en agua, sedimento y peces del Lago Xolotlán: fuentes naturales y antropogénicas*. [Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/11012/1/1103.pdf>
- Gammons, C. H., Slotton, D. G., Gerbrandt, B., Weight, W., Young, C. A., McNearny, R. L., Cámac, E., Calderón, R., & Tapia, H. (2006). Mercury concentrations of fish, river water, and sediment in the Río Ramis-Lake Titicaca watershed, Peru. *Science of the Total Environment*, 368(2–3), 637–648. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.076>

- Goix, S., Maurice, L., Laffont, L., Rinaldo, R., Lagane, C., Chmeleff, J., Menges, J., Heimbürger, L. E., Maury-Brachet, R., & Sonke, J. E. (2019). Quantifying the impacts of artisanal gold mining on a tropical river system using mercury isotopes. *Chemosphere*, 219(2019), 684–694. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.036>
- Goyzueta, G., & Trigos, C. (2009). Riesgos de la salud pública en el centro poblado minero artesanal la rinconada (5200 msnm) en Puno, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica.*, 26(1), 41–44. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-46342009000100008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342009000100008&lng=es&tlng=es)
- Hasimuna, O. J., Chibesa, M., Ellender, B. R., & Maulu, S. (2021). Variability of selected heavy metals in surface sediments and ecological risks in the Solwezi and Kifubwa Rivers, Northwestern province, Zambia. *Scientific African*, 12, e00822. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00822>
- IDEAM, 2020. (2020). Instructivo de Ensayo Determinación de mercurio total en Sedimentos por ICP Óptico. SM. 3120B modificado y EPA 200.7. In *Suparyanto dan Rosad (2015 (Vol. 5, Issue 3, pp. 248–253)*. IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC-I085+INSTRUCTIVO+DE+ENSAYO+DETERMINACIÓN+DE+MERCURIO+TOTAL+EN+SEDIMENTOS+POR+ICP+ÓPTICO+v2.pdf/13dcf2da-4fc8-46a3-850c-b0c45da3d383?version=1.0](http://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC-I085+INSTRUCTIVO+DE+ENSAYO+DETERMINACIÓN+DE+MERCURIO+TOTAL+EN+SEDIMENTOS+POR+ICP+ÓPTICO+v2.pdf/13dcf2da-4fc8-46a3-850c-b0c45da3d383?version=1.0)
- Ilek, A., Kucza, J., & Witek, W. (2019). Using undisturbed soil samples to study how rock fragments and soil macropores affect the hydraulic conductivity of forest stony soils: Some methodological aspects. *Journal of Hydrology*, 570(2019), 132–140. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.067>
- Ímaz, M., Armienta, M. A., Lomnitz, E., & Torregrosa, M. F. (2018). Captación de agua de lluvia como una opción de agua potable en la Ciudad de México. *Sustainability*, 10(3890), 1–13. <https://doi.org/10.3390/su10113890>[www.mdpi.com/journal/sustainability](http://www.mdpi.com/journal/sustainability)



- INTI, 2018. (2018). Desarrollo de planes de gestión de riesgos del mercurio en los países de América Latina y el Caribe. In 2018. INTI (Ed.), *Https://Medium.Com/* (Primera ed). <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- Jaimes, F., & Trelles, G. (2021). *Geología de los cuadrángulos de Sandia (hojas 29y1, 29y2, 29y3, 29y4) y San Ignacio (hoja 29z4). INGEMMET, Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000)* (Primera ed, Vol. 1). <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3115>
- Kumar, A., Divoll, T. J., Ganguli, P. M., Trama, F. A., & Lamborg, C. H. (2018). Presence of artisanal gold mining predicts mercury bioaccumulation in five genera of bats (Chiroptera). *Environmental Pollution*, 236, 862–870. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.109>
- Laderriere, V., Le Faucheur, S., & Fortin, C. (2021). Exploring the role of water chemistry on metal accumulation in biofilms from streams in mining areas. *Science of the Total Environment*, 784, 146986. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146986>
- Lin, Y., Larssen, T., Vogt, R. D., & Feng, X. (2010). Identification of fractions of mercury in water, soil and sediment from a typical Hg mining area in Wanshan, Guizhou province, China. *Applied Geochemistry*, 25(1), 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2009.10.001>
- Liu, R., Xu, Y., Rui, H., Rm, E., & Dong, Y. (2021). China Geology Migration and speciation transformation mechanisms of mercury in undercurrent zones of the Tongguan gold mining area , Shaanxi Loess Plateau and impact on the environment. *China Geology*, 4(2), 311–328. <https://doi.org/10.31035/cg2021030>
- Loza, A. L., & Ccancapa, Y. (2020). Mercury in a high altitude andes stream with strong impact by artisanal aurifer mining (La rinconada, puno, Peru). *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 36(1), 33–44. <https://doi.org/10.20937/RICA.2020.36.53317>
- Mantey, J., Nyarko, K. B., Owusu-Nimo, F., Awua, K. A., Bempah, C. K., Amankwah, R. K., Akatu, W. E., & Appiah-Effah, E. (2020). Mercury contamination of soil and water media from different illegal artisanal small-scale gold mining operations (galamsey). *Heliyon*, 6(6), e04312. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04312>

- Marín, A., Gonzalez, V. H., Lapo, B., Molina, E., & Lemus, M. (2016). Niveles de mercurio en sedimentos de la zona costera de El Oro, Ecuador. *Gayana*, 80(2), 147–153. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382016000200147>
- Mason, R. P., Baumann, Z., Hansen, G., Yao, K. M., Coulibaly, M., & Coulibaly, S. (2019). An assessment of the impact of artisanal and commercial gold mining on mercury and methylmercury levels in the environment and fish in Cote d'Ivoire. *Science of the Total Environment*, 665, 1158–1167. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.393>
- Mendoza, R., & Espinoza, A. (2017). Guía Técnica para muestreo de suelos. In *Universidad Nacional Agraria* (Primera ed). Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services (CRS). <https://repositorio.una.edu.pe/3613/1/P33M539.pdf>
- MINAM. (2010). Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales. *Dirección General de Calidad Ambiental*, 1, 4–117. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-evaluacion-riesgos-ambientales>
- MINAM, 2014. (2014). Guía para muestreo de suelos. In *Ministerio del Ambiente*. Dirección General de Calidad Ambiental. [http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO\\_MINAM1.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf)
- MINAM, 2017. (2017). Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. In *El Peruano* (pp. 6–9). El Peruano. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Monaci, F., Ancora, S., Bianchi, N., Bonini, I., Paoli, L., & Loppi, S. (2021). Combined use of native and transplanted moss for post-mining characterization of metal(loid) river contamination. *Science of the Total Environment*, 750, 141669. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141669>
- Ñaupas, H., Mejia, E., Novoa, E., & Villagómez, A. (2014). *Metodología de la Investigación* (A. G. M (ed.); 4ta. Edici). Ediciones de la U. <http://librodigital.sangregorio.edu.ec/librosusgp/B0028.pdf>
- Niane, B., Guédron, S., Feder, F., Legros, S., Ngom, P. M., & Moritz, R. (2019). Impact of recent artisanal small-scale gold mining in Senegal: Mercury and methylmercury

- contamination of terrestrial and aquatic ecosystems. *Science of the Total Environment*, 669, 185–193. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.108>
- Obiri-Yeboah, A., Nyantakyi, E. K., Mohammed, A. R., Yeboah, S. I. I. K., Domfeh, M. K., & Abokyi, E. (2021). Assessing potential health effect of lead and mercury and the impact of illegal mining activities in the Bonsa river, Tarkwa Nsuaem, Ghana. *Scientific African*, 13, e00876. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00876>
- OEFA, 2013. (2013). *Directiva para la Identificación de Pasivos Ambientales en el Subsector Hidrocarburos a Cargo del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental-OEFA*. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.oefa.gob.pe/wp-content/uploads/2013/05/Directiva1.pdf](http://www.oefa.gob.pe/wp-content/uploads/2013/05/Directiva1.pdf)
- Ottenbros, I. B., Boerleider, R. Z., Jubitana, B., Roeleveld, N., & Scheepers, P. T. J. (2019). Knowledge and awareness of health effects related to the use of mercury in artisanal and small-scale gold mining in Suriname. *Environment International*, 122(October 2018), 142–150. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.10.059>
- Pabón, S., Benítez, R., Sarria, R., & Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9–18. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-83672020000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672020000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Parker, G. H., Gillie, C. E., Miller, J. V., Badger, D. E., & Kreider, M. L. (2022). Human health risk assessment of arsenic, cadmium, lead, and mercury ingestion from baby foods. *Toxicology Reports*, 9, 238–249. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.02.001>
- Patarachao, B., Tyo, D. D., Chen, D., & Mercier, P. H. J. (2021). Methodology development and optimization for direct quantification of total selenium concentration in mine water by total-reflection X-ray fluorescence spectrometry. *Spectrochimica Acta - Part B Atomic Spectroscopy*, 177(December 2020), 106053. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2020.106053>
- Peña, M. S., & Eddie, Z. N. (2017). *La Química en la Educación Superior* (Primera Ed, Issue March 2017).

- file:///C:/Users/PERSONAL/Downloads/LIBROQuimicaenlaEducacinSuperior.pdf
- Perez, W. H. (2021). Evaluación del índice de geoacumulación de algunos metales pesados en suelos de cultivo de hortalizas en la ribera del río Bogotá. *Revista ION*, 34(1), 37–45. <https://doi.org/10.18273/revion.v34n1-2021004>
- PNUMA, 2017. (2008). El uso del minería del oro artesanal y en pequeña escala. In *Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente*. [http://www.mesadialogopermanente.org/Mesa\\_de\\_Dialogo\\_Permanente/Mesa\\_de\\_Dialogo\\_Permanente/documentos\\_files/MERCURIO EN LA MINERIA DEL ORO MODULO 3.pdf?](http://www.mesadialogopermanente.org/Mesa_de_Dialogo_Permanente/Mesa_de_Dialogo_Permanente/documentos_files/MERCURIO_EN_LA_MINERIA_DEL_ORO_MODULO_3.pdf?)
- Posada, M. I., & Arroyave Maya, M. del P. (2006). Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales. *Revista EIA*, 57–67. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=32930366&lang=es&site=ehost-live>
- Qu, X., Chen, Y., Liu, H., Xia, W., Lu, Y., Gang, D. D., & Lin, L. S. (2020). A holistic assessment of water quality condition and spatiotemporal patterns in impounded lakes along the eastern route of China's South-to-North water diversion project. *Water Research*, 185, 116275. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116275>
- Rodriguez, R., Fabián, C., Choquehuanca, S., Sánchez, E., & Del Castillo, B. (2021). Geología de los cuadrángulos de Putina (hojas 30x1, 30x2, 30x3, 30x4) y La Rinconada (30y1, 30y3, 30y4). In *Ingemmet*. Ingemmet. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3113>
- Salas, D. (2018). Modelo geo estadístico del impacto sedimentario por metales pesados en lagos glaciares de los andes del Perú: Rinconada y Sibinacocha [Universidad Nacional del Altiplano]. In *Tesis*. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza\\_Mamani\\_Joel\\_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- SENAMHI. (2022). *Servicio Nacional de Metereologia e Hidrología*. 2022a. <https://www.gob.pe/senamhi>
- Sharma, B. M., Sánka, O., Kalina, J., & Scheringer, M. (2019). An overview of worldwide and regional time trends in total mercury levels in human blood and breast milk from

- 1966 to 2015 and their associations with health effects. *Environment International*, 125(February), 300–319. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.016>
- Sierra, C. (2019). *Calidad del Agua* (L. D. L. Escobar (ed.); 1Primera e). Medellín, Colombia.  
[https://www.academia.edu/9511155/Calidad\\_del\\_agua\\_evaluación\\_y\\_diagnóstico](https://www.academia.edu/9511155/Calidad_del_agua_evaluación_y_diagnóstico)
- Teixeira, R. A., Pereira, W. V. da S., Souza, E. S. de, Ramos, S. J., Dias, Y. N., Lima, M. W. de, de Souza Neto, H. F., Oliveira, E. S. de, & Fernandes, A. R. (2021). Artisanal gold mining in the eastern Amazon: Environmental and human health risks of mercury from different mining methods. *Chemosphere*, 284(June), 131220. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131220>
- Torres, M., Paz, K., & Salazar, F. G. (2016). *Métodos de Recolección de datos para una Investigación*. Indian Journal of Dental Research. <https://doi.org/10.4103/0970-9290.186230>
- Varol, M. (2020). Use of water quality index and multivariate statistical methods for the evaluation of water quality of a stream affected by multiple stressors: A case study. *Environmental Pollution*, 266, 115417. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115417>
- Velásquez, M. G., Vega, C. M., Gomringer, R. C., Pillaca, M., Thomas, E., Stewart, P. M., Gamarra Miranda, L. A., Dañobeytia, F. R., Guerrero Barrantes, J. A., Gushiken, M. C., Bardales, J. V., Silman, M., Fernandez, L., Ascorra, C., & Torres, D. del C. (2021). Mercury in soils impacted by alluvial gold mining in the Peruvian Amazon. *Journal of Environmental Management*, 288(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112364>
- Vicente, C., Frontino, J., Alves, D., De Castro, A. P., & Veronesi, F. (2020). Is mercury in fluorescent lamps the only risk to human health? A study of environmental mobility of toxic metals and human health risk assessment. *Chemosphere*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128107>
- Vieira, H. C., Bordalo, M. D., Rodrigues, A. C. M., Pires, S. F. S., Rocha, R. J. M., Soares, A. M. V. M., Rendón-von Osten, J., Abreu, S. N., & Morgado, F. (2021). Water temperature modulates mercury accumulation and oxidative stress status of common



- goby (*Pomatoschistus microps*). *Environmental Research*, 193, 110585.  
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110585>
- Wei, Z., Wang, D., Zhou, H., & Qi, Z. (2011). Assessment of soil heavy metal pollution with Principal component analysis and Geoaccumulation index. *Procedia Environmental Sciences*, 10(PART C), 1946–1952.  
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.305>
- Yevugah, L. L., Darko, G., & Bak, J. (2021). Does mercury emission from small-scale gold mining cause widespread soil pollution in Ghana? *Environmental Pollution*, 284, 116945. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116945>




## ANEXOS

## Anexo 1. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

10

NORMAS LEGALES

Miércoles 7 de junio de 2017 /  El Peruano

### Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO  
N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

#### Artículo 1.- Objeto de la norma

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

#### Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

#### Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

##### 3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

##### a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

##### - A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

##### - A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

##### - A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

##### b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:



## Anexo 2. D.S. N° 011-2017 MINAM (ECA)

12

NORMAS LEGALES

Sábado 2 de diciembre de 2017 / El Peruano

Que, de conformidad con lo previsto en el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la Publicidad, Publicación de Proyectos Normativos y Difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS, y el artículo 39 del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM; corresponde disponer la publicación de la propuesta de metodología en el Diario Oficial El Peruano, antes de la fecha prevista para su entrada en vigencia, con la finalidad de permitir a las personas interesadas formular los comentarios y aportes respectivos;

Con los vistos de la Secretaría General, la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la Oficina de Asesoría Jurídica, y en uso de las facultades conferidas en la Ley de Recursos Hídricos, el Reglamento de Organización y Funciones de esta autoridad, aprobado por Decreto Supremo N° 06-2010-AG, y modificado por Decreto Supremo N° 012-2016-MINAGRI;

SE RESUELVE:

**Artículo 1.-** Dispóngase la publicación de la presente resolución en el Diario Oficial El Peruano y del documento denominado "Metodología para la determinación del índice de calidad de agua para los recursos hídricos superficiales en el Perú ICA-PE", en el portal web de la Autoridad Nacional del Agua: [www.ana.gob.pe](http://www.ana.gob.pe), por el plazo de quince (15) días hábiles, a fin que los interesados remitan sus opiniones y sugerencias a la dirección electrónica siguiente: [IndiceCalidadAgua@ana.gob.pe](mailto:IndiceCalidadAgua@ana.gob.pe).

**Artículo 2.-** Encargar a la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la recepción y análisis de los aportes y comentarios que se presenten respecto al documento citado en el artículo precedente.

Regístrese, comuníquese y publíquese,

ABELARDO DE LA TORRE VILLANUEVA  
Jefe  
Autoridad Nacional del Agua

1593024-1

### AMBIENTE

#### Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

DECRETO SUPREMO  
N° 011-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo con lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, según lo dispuesto en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA, las que serán remitidas a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante decreto supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, esta entidad tiene como función específica elaborar los ECA, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante decreto supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM se aprueban los ECA para Suelo y, a través del Decreto Supremo N° 002-2014-MINAM se aprueban las disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 013-2015-MINAM se dictan las reglas para la presentación y evaluación del Informe de Identificación de Sitios Contaminados;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado

DIARIO OFICIAL DEL BICENTENARIO

# El Peruano

## REQUISITO PARA PUBLICACIÓN DE NORMAS LEGALES Y SENTENCIAS

Se comunica a las entidades que conforman el Poder Legislativo, Poder Ejecutivo, Poder Judicial, Organismos constitucionales autónomos, Organismos Públicos, Gobiernos Regionales y Gobiernos Locales, que para efectos de la publicación de sus disposiciones en general (normas legales, reglamentos jurídicos o administrativos, resoluciones administrativas, actos de administración, actos administrativos, etc) con o sin anexos, que contengan más de una página, se adjuntará un CD o USB en formato Word con su contenido o éste podrá ser remitido al correo electrónico [normaslegales@editoraperu.com.pe](mailto:normaslegales@editoraperu.com.pe).

LA DIRECCIÓN

ANEXO  
ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO

Parámetros en mg/kg PS <sup>(2)</sup>	Usos del Suelo <sup>(1)</sup>			Métodos de ensayo <sup>(7) y (8)</sup>
	Suelo Agrícola <sup>(3)</sup>	Suelo Residencial/ Parques <sup>(4)</sup>	Suelo Comercial <sup>(5)/ Industrial/ Extractivo<sup>(6)</sup></sup>	
<b>ORGÁNICOS</b>				
<b>Hidrocarburos aromáticos volátiles</b>				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 <sup>(9)</sup> EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos <sup>(10)</sup>	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
<b>Hidrocarburos poliaromáticos</b>				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
<b>Hidrocarburos de Petróleo</b>				
Fracción de hidrocarburos F1 <sup>(11)</sup> (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 <sup>(12)</sup> (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 <sup>(13)</sup> (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
<b>Compuestos Organoclorados</b>				
Bifenilos policlorados - PCB <sup>(14)</sup>	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
<b>INORGÁNICOS</b>				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total <sup>(15)</sup>	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 <sup>(16)</sup>
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/o ISO 17690:2015

Notas:

[\*\*] Este símbolo dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para el uso de suelo agrícola.

(1) **Suelo:** Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

(2) **PS:** Peso seco.

(3) **Suelo agrícola:** Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas.

(4) **Suelo residencial/parques:** Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento.

(5) **Suelo comercial:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.

(6) **Suelo industrial/extractivo:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes.

(7) Métodos de ensayo estandarizados vigentes o métodos validados y que cuenten con la acreditación nacional e internacional correspondiente, en el marco del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo de la *International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC)*. Los métodos de ensayo deben contar con límites de cuantificación que estén por debajo del ECA

Anexo 3. Resultados del análisis de agua por el laboratorio CERTIMIN

INFORME DE ENSAYO  
N° NOV1153.R21

**RESULTADOS**

Muestras		Ensayos												
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Limite de Detección ID	MOM0000 Fecha Monitoreo	MOM0000 Tipo Muestra	MA1000 Nor* WGS-84	MA1000 Est* WGS-84	MA1000 Altitud* msnm	MA1000 pH* Unid de pH	MA1000 Temperatura* °C	MA1000 Conductiv.* µS/cm	MA1000 Oxig(d)* mg/L	MA1000 salinidad* %	MA1000 T-Aire* °C		
1	P-M-01	2021-11-11 11:50	Agua de Laguna Artificial	8383801	452299	--	4.08	3.54	37	2.16	0.02	4.0		
2	P-M-02	2021-11-11 12:30	Agua de Laguna Artificial	8383746	452320	5054	4.50	0.10	13	4.19	0.01	4.0		
3	P-M-03	2021-11-11 12:55	Agua de Laguna Artificial	8383727	452317	5053	4.35	0.04	9	4.63	0.00	4.0		
4	P-M-04	2021-11-11 14:09	Aguas de Lixiviación	8383494	452324	5077	4.50	--	--	--	--	6.0		
5	P-M-05	2021-11-11 14:24	Aguas de Lixiviación	--	--	--	4.50	--	--	--	--	6.0		
6	P-M-06	2021-11-11 16:00	Agua Superficial	8381262	453992	4842	4.44	--	145	1.48	--	12.7		
7	P-M-07	2021-11-11 17:00	Agua de Laguna Artificial	8380936	454126	4873	4.73	9.02	40	3.29	0.02	6.0		
8	P-M-08	2021-11-11 17:30	Agua de Deposición Atmosférica	8381700	454256	4749	4.80	9.02	188	3.63	0.06	6.0		
9	P-M-09	2021-11-12 08:19	Aguas de Lixiviación	8382094	451523	4952	5.60	--	--	--	--	2.0		
10	P-M-10	2021-11-12 08:22	Aguas de Lixiviación	8382094	451523	4952	6.50	--	--	--	--	2.0		
11	P-M-11	2021-11-12 09:13	Aguas de Lixiviación	8382218	451442	4958	3.50	--	167	3.70	0.09	4.0		
12	P-M-12	2021-11-12 09:18	Agua de Deposición Atmosférica	8382218	451446	4958	4.70	10.00	75	2.64	0.04	3.5		
13	P-M-13	2021-11-12 09:10	Aguas de Lixiviación	8382248	451444	--	4.72	7.40	372	3.33	0.22	2.0		
14	P-M-14	2021-11-12 11:09	Agua Subterránea	8383031	451671	4852	4.77	12.00	791	2.18	0.44	4.0		
15	P-M-15	2021-11-12 11:44	Agua Subterránea	8383294	451833	4862	--	--	--	2.18	--	6.0		
16	P-M-16	2021-11-12 12:25	Agua Subterránea	8383457	451733	4855	4.72	10.89	403	2.91	2.22	7.5		
17	P-M-17	2021-11-12 13:40	Agua de Laguna Artificial	8383128	451440	4832	4.70	7.76	108	1.41	0.06	4.5		
18	P-M-18	2021-11-12 13:55	Agua de Laguna Artificial	8383128	451440	4822	4.69	7.76	108	1.41	0.06	5.5		
19	P-M-19	2021-11-12 14:25	Aguas de Lixiviación	8383238	451647	4840	4.74	9.65	683	2.83	0.38	6.9		
20	P-M-20	2021-11-12 15:45	Agua de Deposición Atmosférica	8382876	448982	4654	4.69	--	38	4.34	0.02	15.8		
21	P-M-21	2021-11-12 16:25	Aguas de Lixiviación	8382823	449743	4672	--	--	--	--	--	3.0		

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA. Los resultados de ensayos de la estación P-M-01, P-M-02, P-M-03, P-M-04, P-M-05, P-M-07, P-M-08, P-M-09, P-M-10, P-M-11, P-M-12, P-M-13, P-M-17, P-M-18, P-M-19, P-M-20, P-M-21 se encuentran fuera del alcance de la acreditación otorgada por INACAL-DA. Los resultados se emiten a solicitud del cliente. Las Coordenadas\*, Altitud\*, Temperatura\*, pH\*, Conductiv.\*, Oxig (d)\*, Salinidad\*, T-Aire\* : son datos proporcionados por el cliente. LD: Limite de Detección (Limite Reportable) que es tomado en base al Limite de Cuantificación del Método LCM.

**INFORME DE ENSAYO**  
**N° NOV1153.R21**

N°	Codigo de Servicio	Ensayo	Unidad	Limite de Detección	Ensayos																		
					MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747	MA0747			
					Al (t)	As (t)	B (t)	Ba (t)	Be (t)	Bi (t)	Ca (t)	Ce (t)	Cd (t)	Co (t)	Cz (t)	Cu (t)	Cs (t)	Fe (t)	Ga (t)	Ge (t)	Hg (t)	Hf (t)	
					mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	P-M-01				0.924	0.0887	0.007	0.01566	<0.0003	0.00037	3.57	0.00403	0.00024	0.01886	<0.0005	0.2884	0.00037	2.51	0.00007	0.00017	0.0023	<0.0003	
2	P-M-02				0.940	0.0290	<0.004	0.01995	<0.0003	0.00028	7.33	0.00153	0.00023	0.00116	<0.0005	0.3286	0.00019	1.23	0.00019	0.00007	0.0022	<0.0003	
3	P-M-03				0.800	0.0277	<0.004	0.01783	<0.0003	<0.00003	6.38	0.00127	0.00022	0.00257	<0.0005	0.3145	0.00021	0.95	0.00011	0.00007	0.0012	<0.0003	
4	P-M-04				15.488	0.6582	0.009	0.02647	0.0033	0.00012	28.14	0.03533	0.00155	0.09855	0.0478	0.3961	0.00142	58.70	0.00119	0.00280	0.0010	<0.0003	
5	P-M-05				9.057	0.0489	0.056	0.09181	0.0061	0.00006	36.38	0.04700	0.00262	0.21248	0.0030	0.2565	0.00411	75.95	0.00112	0.00348	0.0008	<0.0003	
6	P-M-06				0.208	0.0090	0.006	0.03642	<0.0003	0.00006	10.68	0.00058	0.00020	0.02588	<0.0005	0.2382	0.00038	3.13	0.00014	0.00006	0.0007	<0.0003	
7	P-M-07				0.020	0.0026	<0.004	0.00964	<0.0003	<0.00003	2.72	0.00010	0.00020	<0.00009	<0.0005	0.3226	0.00004	0.04	0.00003	0.00003	0.0007	<0.0003	
8	P-M-08				0.436	0.0171	<0.004	0.01972	<0.0003	0.00019	28.59	0.00699	0.00080	0.02665	<0.0005	0.3435	0.00165	0.52	0.00011	0.00005	0.0021	<0.0003	
9	P-M-09				11.193	0.3862	0.142	0.10461	0.0122	0.00010	421.09	0.05857	0.00082	0.01664	0.0049	0.2913	0.03847	73.37	0.00133	0.00368	0.0099	0.0004	
10	P-M-10				24.312	0.1961	0.084	0.14367	0.0179	<0.00003	275.79	0.05064	0.00024	0.00706	0.0981	0.2094	0.03024	98.53	0.00258	0.00411	0.0014	<0.0003	
11	P-M-11				26.880	0.0633	0.040	0.41787	0.0117	0.00008	34.38	0.04907	0.00144	0.03042	0.1243	0.2873	0.00322	160.42	0.00127	0.00618	0.0011	<0.0003	
12	P-M-12				0.230	0.0125	0.010	0.01338	<0.0003	0.00014	4.13	0.00085	0.00017	0.00206	<0.0005	0.3166	0.00042	1.42	0.00012	<0.00002	0.0005	<0.0003	
13	P-M-13				0.578	0.0506	6.813	0.31581	<0.0003	<0.00003	712.18	0.00007	0.00011	0.00010	0.0022	0.0765	0.01874	0.01	0.00147	<0.00002	0.0033	<0.0003	
14	P-M-14				0.509	0.0081	0.055	0.02723	0.0011	0.00007	54.10	0.00798	0.00068	0.01487	<0.0005	0.3144	0.00633	5.49	0.00017	0.00036	0.0010	<0.0003	
15	P-M-15				10.315	0.5261	0.019	0.02234	0.0088	0.00006	53.96	0.12030	0.00227	0.10991	0.0059	0.3709	0.00901	25.14	0.00301	0.00280	0.0008	<0.0003	
16	P-M-16				20.435	1.2781	0.023	0.05562	0.0121	<0.00003	91.63	0.16943	0.00803	0.19810	0.0342	0.3860	0.00607	102.94	0.00457	0.00633	0.0007	<0.0003	
17	P-M-17				0.422	0.0067	0.015	0.00931	<0.0003	0.00006	7.12	0.00039	0.00070	0.00520	<0.0005	0.2754	0.00015	0.05	<0.00002	<0.00002	0.0008	<0.0003	
18	P-M-18				1.118	0.0622	0.009	0.01284	<0.0003	0.00007	7.91	0.00196	0.00091	0.02244	<0.0005	0.3321	0.00040	1.75	0.00010	0.00002	0.0004	<0.0003	
19	P-M-19				50.320	1.4355	<0.004	0.04286	0.0397	<0.00003	158.45	0.57208	0.01921	0.63251	0.0330	0.4856	0.01500	116.95	0.01513	0.01344	<0.0001	0.0003	
20	P-M-20				0.069	0.0129	<0.004	0.00927	<0.0003	0.00016	3.83	0.00047	0.00011	0.00055	<0.0005	0.2900	0.00014	0.85	0.00002	0.00005	0.0017	<0.0003	
21	P-M-21				157.437	4.7252	0.049	0.32345	0.0472	0.00032	271.91	0.56468	0.02260	0.57438	0.4078	0.5231	0.01560	529.64	0.02743	0.02712	<0.0001	<0.0003	

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

**INFORME DE ENSAYO  
N° NOV1153.R21**

N°	Muestras QC		Ensayos													
	Código de Servicio	Ensayo Unidad	MA0747 Fe (t) mg/L 0.01	MA0747 Ga (t) mg/L 0.00002	MA0747 Ge (t) mg/L 0.00002	MA0747 Hg (t) mg/L 0.0001	MA0747 Hf (t) mg/L 0.0003	MA0747 In (t) mg/L 0.00005	MA0747 K (t) mg/L 0.01	MA0747 La (t) mg/L 0.00001	MA0747 Li (t) mg/L 0.0006	MA0747 Lu (t) mg/L 0.00006	MA0747 Mg (t) mg/L 0.0003	MA0747 Mn (t) mg/L 0.00005	MA0747 Mo (t) mg/L 0.00005	MA0747 Na (t) mg/L 0.01
1	Adición (% Recup.)		100.0	105.2	98.5	97.6	107.4	98.2	100.0	100.9	105.0	98.8	102.4	98.4	94.6	100.0
2	Adición (% Recup.)		100.0	95.1	98.6	95.4	102.2	94.1	100.0	98.8	98.8	103.4	96.2	101.9	98.7	100.0
3	Adición Rango (%)		85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0
4	STD - Recuperación Obtenido (%)		100.0	95.1	98.6	95.6	102.0	94.1	100.0	98.8	98.8	103.3	96.2	101.9	98.7	100.0
5	STD - Rango (%)		85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0	85.0 - 115.0
6	STD - Recuperación Obtenido (%)		100.0	105.2	98.5	97.6	107.0	98.2	100.0	100.9	105.0	98.8	102.4	98.4	94.6	100.0
7	P-M-10 (Original)		98.53	0.00258	0.00411	0.0014	<0.0003	<0.00005	115.83	0.02777	0.4337	0.00047	22.5844	3.84888	0.00041	351.21
8	P-M-10 (Dup)		98.45	0.00250	0.00410	0.0011	<0.0003	<0.00005	115.71	0.02733	0.4437	0.00043	22.5607	3.81927	0.00037	349.11
9	P-M-21 (Original)		529.64	0.02743	0.02712	<0.0001	<0.0003	0.00024	33.14	0.27287	0.6673	0.00330	87.4190	13.78483	0.00335	50.29
10	P-M-21 (Dup)		530.36	0.02761	0.02740	<0.0001	<0.0003	0.00024	33.19	0.27170	0.6657	0.00320	86.3637	13.49918	0.00344	50.13
11	Blanco		<0.01	<0.00002	<0.00002	<0.0001	<0.0003	<0.00005	<0.01	<0.00001	<0.0006	<0.00006	<0.0003	<0.00005	<0.00005	<0.01
12	Blanco		<0.01	<0.00002	<0.00002	<0.0001	<0.0003	<0.00005	<0.01	<0.00001	<0.0006	<0.00006	<0.0003	<0.00005	<0.00005	<0.01

Anexo 4. Resultados del análisis del Hg en suelo/sedimentos por CERTIMIN

Muestras		Ensayos									
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Limite de Detección LD	MA1124 Se mg/Kg PS 0.9	MA1124 Sn* mg/Kg PS 10	MA1124 Sr* mg/Kg PS 0.5	MA1124 Ti* mg/Kg PS 100	MA1124 Tl mg/Kg PS 0.03	MA1124 V mg/Kg PS 2	MA1124 Zn mg/Kg PS 0.5	MA0370 Hg mg/Kg PS 0.01		
1	P-S-01 Ritipata desmonte Zona Pallaqueo	<0.9	<10	53.4	<100	0.47	9	98.6	1.21		
2	P-S-02 Riticucho 4 amigos	1.5	<10	12.5	158	0.08	7	99.0	27.09		
3	P-S-03 Lago Chauliani Comunid. Sta. Rosa Pokera	<0.9	<10	12.3	<100	0.15	26	164.8	1.56		
4	Lago Chauliani C. Sta. Rosa Pokera	<0.9	<10	17.1	<100	0.65	21	179.2	1.79		
5	S-M-05 Planta Villa Sol Sedimento Rinconada	<0.9	<10	20.1	<100	0.14	4	112.5	25.21		
6	S-M-06 Poza de drenaje final P. Villasol Rinconada	0.9	<10	27.8	201	0.18	10	143.5	3.23		
7	S-M-07 Canaleta Planta Cotahuasi	<0.9	<10	12.1	198	0.06	9	83.1	1.13		
8	S-M-08 Sedimento Salida Canaleta Trapiche	<0.9	<10	6.8	183	0.08	7	84.5	14.74		
9	S-M-09 Planta Molienda Chalaco Pto. Amalgama.	<0.9	<10	10.7	<100	0.06	22	85.8	25.19		
10	S-M-10 Ladera Corporación Minera Amanea	<0.9	<10	15.2	129	0.20	11	95.3	8.71		
11	S-M-11 Bocamina Lunar (Ingreso)	1.5	<10	13.8	<100	0.23	22	99.7	3.88		
12	S-M-12 Bocamina: Nuevo Horizonte Lunar	<0.9	<10	19.1	220	0.09	10	73.3	11.63		
13	S-M-13 Bocamina: Constantino Lunar	<0.9	<10	10.2	203	0.08	8	61.7	11.07		
14	S-M-14 Lago Lunar Colmatada por sedimento (I)	<0.9	<10	10.7	210	0.07	9	65.2	8.50		
15	S-M-15 Lago Lunar Colmatada (Central)(II)	<0.9	<10	10.5	204	0.10	8	57.8	2.44		
16	S-M-16 Lago Colmatado Canaleta Sedim. (III)	<0.9	<10	10.1	240	0.10	11	70.7	23.18		
17	S-M-17 Lago Lunar Colmatado lado Sur (IV)	0.9	<10	15.8	196	0.13	11	124.9	13.66		
18	S-M-18 Quebrada Lunar lado Sur	<0.9	<10	10.7	117	0.14	8	92.7	20.05		
19	S-M-19 Pte. Casablanca lado Sur de Lunar	<0.9	<10	4.5	<100	0.10	18	96.4	0.65		
20	S-M-20 Pto. descarga agua de mina Lago Rinconada	1.1	<10	10.7	155	0.09	10	74.2	4.09		
21	S-M-21 Ingreso a Lago natural de aguas de mina	<0.9	<10	12.4	170	0.17	17	123.6	5.63		

Muestras QC		Ensayos			
N°	Codigo de Servicio Ensayo Unidad Limite de Detección LD	MA1124 Tl mg/Kg PS 0.03	MA1124 V mg/Kg PS 2	MA1124 Zn mg/Kg PS 0.5	MA0370 Hg mg/Kg PS 0.01
1	Adición (% Recup.)	91.2	99.5	94.0	97.5
2	Adición (% Recup.)	86.6	102.0	89.0	90.0
3	Adición (% Recup.)	89.6	95.0	89.2	92.5
4	Adición (% Recup.)	89.4	103.0	90.1	97.5
5	Adición Rango (%)	80.0 - 120.0	80.0 - 120.0	80.0 - 120.0	80.0 - 120.0
6	STD - Recuperación Obtenido (%)	100.0	99.4	100.1	99.4
7	STD - Rango (%)	97.1-102.9	98.2-101.8	97.4-102.6	91.7-108.3
8	STD - Recuperación Obtenido (%)	100.4	100.6	101.6	98.1
9	P-S-02 Riticucho 4 amigos (Original)	--	--	--	27.09
10	P-S-02 Riticucho 4 amigos (Dup)	--	--	--	27.18
11	Lago Chaullani C. Sta. Rosa Pokera (Original)	0.65	21	179.2	--
12	Lago Chaullani C. Sta. Rosa Pokera (Dup)	0.64	21	180.0	--
13	S-M-21 Ingreso a Lago natural de aguas de mina (Original)	0.17	17	123.6	5.63
14	S-M-21 Ingreso a Lago natural de aguas de mina (Dup)	0.17	16	124.4	6.98
15	Blanco	<0.03	<2	<0.5	<0.01
16	Blanco	<0.03	<2	<0.5	<0.01





Anexo 6. Parámetros de campo en muestras de agua

**CERTIMIN S.A. VºBº FECHA**  
*01/11/21*

**REPORTE DE PARÁMETROS DE CAMPO DE AGUA**

RECEPCIÓN 2 : *11/11/21*

INSPECCIÓN : *11/11/21*

OBSERVACIÓN : *---*

Página *01* de *06*

EMPRESA/UNIDAD/PRODUCTO : *UNAP con poco VIRIUS*

CLIENTE : *UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO*

N°	Etiquetado de Muestra	Referencia y/o Descripción	Coordenadas Geográficas		Temperatura		pH		Oxígeno disuelto		Conductividad		Sólidos		Oxígeno Consumido		Oxígeno Libre		Oxígeno Total		Observaciones
			UTM	ZONA: PSAD 56 (WGS 84)	N: <i>83833801</i>	E: <i>4522299</i>	Altitud: <i>5054</i>	T(°C) Ambiente	T(°C) Agua	pH	Conductividad (µmhos/cm)	Oxígeno (ppm)	Conductividad (µmhos/cm)	Sólidos Totales (ppm)	Sólidos Suspensos (ppm)	Sólidos Disueltos (ppm)	Consumido (ppm)	Libre (ppm)	Total (ppm)		
01	P-M-01 Agua para deshielo superficial	Deshielo por agua de acople de elemento de rocas			<i>11/11/21</i>	<i>11:50 am</i>	<i>4°C</i>	<i>3.54°C</i>	<i>4.08</i>	<i>37.45/cm</i>	<i>2.16 ppm</i>	<i>0.02</i>									Desmenu de rocas y deshielo por agua de acople de rocas.
02	P-M-02 Agua para deshielo superficial	Agua artificial para deshielo			<i>11/11/21</i>	<i>12:30</i>	<i>4°C</i>	<i>0.1°C</i>	<i>4.5</i>	<i>18</i>	<i>4.19</i>	<i>0.01</i>									Poco de agua de acople de rocas del deshielo superficial
03	P-M-03 Agua para deshielo superficial	Agua artificial para deshielo			<i>11/11/21</i>	<i>12:55</i>	<i>4°C</i>	<i>0.04°C</i>	<i>4.35</i>	<i>9</i>	<i>4.63</i>	<i>0.00</i>									Poco de agua de acople de rocas del deshielo superficial
04	P-M-04 Agua para deshielo superficial	Agua artificial para deshielo			<i>11/11/21</i>	<i>14:08</i>	<i>6°C</i>		<i>4.5</i>												Agua de rocas del deshielo superficial

**Equipos Utilizados en Campo**

CONDUCTIVIDAD: *HI 9142*

TEMPERATURA: *HI 9142*

PH: *HI 9142*

OXIGENO DISUUELTO: *HI 9142*

OXIGENO LIBRE: *HI 9142*

OXIGENO TOTAL: *HI 9142*

**Equipos Utilizados en Laboratorio**

CONDUCTIVIDAD: *HI 9142*

TEMPERATURA: *HI 9142*

PH: *HI 9142*

OXIGENO DISUUELTO: *HI 9142*

OXIGENO LIBRE: *HI 9142*

OXIGENO TOTAL: *HI 9142*

**Equipos Utilizados en Oficina**

CONDUCTIVIDAD: *HI 9142*

TEMPERATURA: *HI 9142*

PH: *HI 9142*

OXIGENO DISUUELTO: *HI 9142*

OXIGENO LIBRE: *HI 9142*

OXIGENO TOTAL: *HI 9142*

**Equipos Utilizados en Laboratorio**

CONDUCTIVIDAD: *HI 9142*

TEMPERATURA: *HI 9142*

PH: *HI 9142*

OXIGENO DISUUELTO: *HI 9142*

OXIGENO LIBRE: *HI 9142*

OXIGENO TOTAL: *HI 9142*

**Equipos Utilizados en Oficina**

CONDUCTIVIDAD: *HI 9142*

TEMPERATURA: *HI 9142*

PH: *HI 9142*

OXIGENO DISUUELTO: *HI 9142*

OXIGENO LIBRE: *HI 9142*

OXIGENO TOTAL: *HI 9142*

Anexo 7. Cadena de custodia en muestras sólidas

**CERTIMIN S.A. VºBº FECHA**  
RECEPCIÓN SOLIDAS 03/11/20

RECIBO Nº: 01/2020-01/0074

RECEPCIÓN 2: 11/11/20  
Nº DE ORDEN DE TRABAJO: 03/11/20

INSPECCIÓN: 11/11/20  
Nº DE CADENA DE CUSTODIA: 11/11/20

RESERVA: 11/11/20  
Nº SOLICITUD DE SERVICIOS ARBITRALES: SSA N° 503/2020

**CADENA DE CUSTODIA PARA EL MUESTREO SOLIDAS**

NOMBRE O RAZÓN SOCIAL DEL CLIENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO  
EMPRESA / UNIDAD: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO CONVENIO VITRUCOS  
UBICACIÓN DEL MUESTREO (DISTRITO / PROVINCIA / DEPARTAMENTO): Ci. La Rinconada, c.p. Cerro Luner, Ananea, Putina - Puno

REFERENCIA: Dra. Myrian Eugenia Pacheco Torales

CONTACTO: Dra. Myrian Eugenia Pacheco Torales

N°	IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO	TIPO (*)	FECHA	HORA	UBICACIÓN GEOGRÁFICA (UTM) Zona: PUNO 84 WGS 84	INCRUSTACIÓN DEL MUESTREO (m)	ENSAYOS O PARÁMETROS SOLICITADOS			DESCRIPCIÓN / OBSERVACIONES	
							MA0395	MA1124	MA0370		
01	P-501 Ritipata desmonte Zona Pallaquec	2	11/12/20	13:29 pm	N: 8 3 8 3 7 2 3 E: 0 4 5 2 2 4 0 Altitud: 5 0 6 4 (m.s.n.m.)	0.30 m	X	X	X	DESCRIPCIÓN: Sedimento fino de material de vesta OBSERVACION: Lugar de poliquec (Ritipata)	
02	P-5-02 Ritipata 4 campos	2	11/12/20	13:50	N: 8 3 8 3 5 3 6 E: 0 4 5 2 2 8 0 Altitud: 5 0 7 5 (m.s.n.m.)	0.30 m	X	X	X	DESCRIPCIÓN: <u>Sediment sólido de material (Ritipata)</u> OBSERVACION: <u>Sede ment</u>	
03	P-5-03 Lago Chaulani (Conocido: Sta. Rosa Pura)	3	11/12/20	16:05	N: 8 3 8 1 2 6 7 E: 0 4 5 4 0 1 1 Altitud: 4 8 3 4 (m.s.n.m.)	0.20 m	X	X	X	DESCRIPCIÓN: <u>Material relave sedimentado</u> OBSERVACION: <u>Cauce riachuelo lago Chaulani</u>	
04	Lago Chaulani c. Sta. Rosa Pura	2	11/12/20	16:27	N: 8 3 8 1 2 6 2 E: 0 4 5 3 9 9 5 Altitud: 4 8 3 4 (m.s.n.m.)	0.20 m	X	X	X	DESCRIPCIÓN: <u>Sedimento sólido de lagunas c.p.</u> OBSERVACION: <u>Lagunas Chaulani</u>	
05	S-14-05 Plantita Villacal Sedimento arcilloso	1	12/11/20	08:25	N: 8 3 8 2 0 9 4 E: 0 4 5 1 5 2 3 Altitud: 4 9 5 2 (m.s.n.m.)	0.20 m	X	X	X	DESCRIPCIÓN: <u>Residuo de medidor (Ritipata)</u> OBSERVACION: <u>Sediment</u>	
06	S-17-06 Pizarra de cerro yojani P. Villacal Puno-ah	2	12/11/20	08:30	N: 8 3 8 2 0 9 4 E: 0 4 5 1 5 2 3 Altitud: 4 9 5 1 (m.s.n.m.)	0.20 m	X	X	X	DESCRIPCIÓN: <u>Sedimento de medidor nueva</u> OBSERVACION: <u>Material Pizarra de Sedimentación</u>	
07	S-19-07 Cauce de planta Cotachaca	1	12/11/20	09:00	N: 8 3 8 2 2 1 8 E: 0 4 5 1 4 4 6 Altitud: 4 9 5 2 (m.s.n.m.)	0.30 m	X	X	X	DESCRIPCIÓN: <u>Sediment sólido por recibido</u> OBSERVACION: <u>Sedimento de Pizarra de Sedimentación</u>	
Observaciones al muestreo							Responsable del Muestreo:	Firma	Fecha	Hora	
							<u>Ornel A. Velazquez Vije</u>	<u>[Firma]</u>	<u>11/11/20</u>	<u>13:29</u>	<u>08:25</u>
Observaciones en la Recepción de Muestras							Fiscalizador o Supervisor:	Firma	Fecha	Hora	Hora
							<u>Fidel Huasa Mamani</u>	<u>[Firma]</u>	<u>11/11/20</u>	<u>13:29</u>	<u>08:25</u>
							Recibido por:	Firma	Fecha	Hora	Hora
							<u>Dra. Myrian E. Pacheco Torales</u>	<u>[Firma]</u>	<u>21-11-20</u>	<u>15:00</u>	<u>15:00</u>

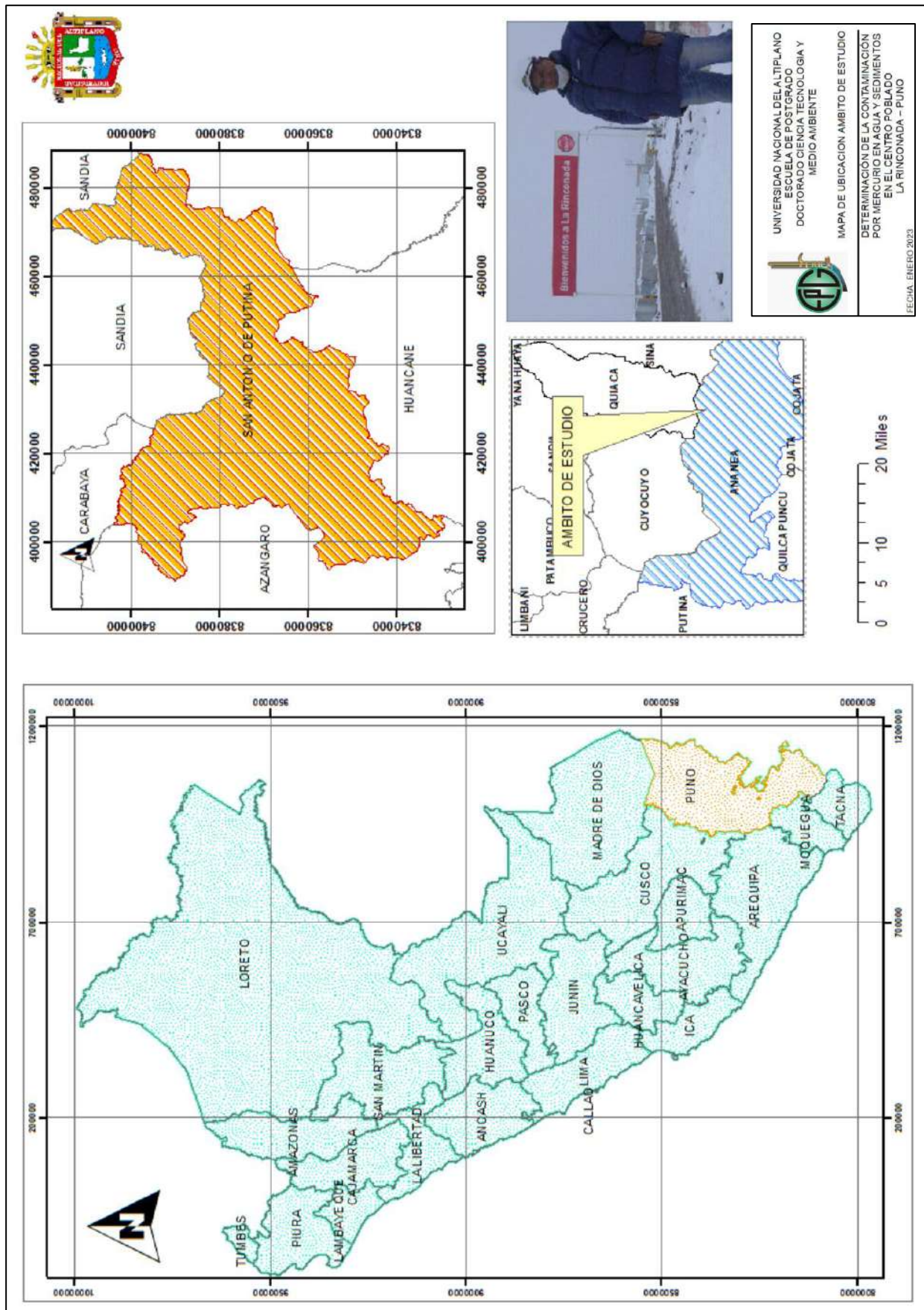
Tipo (\*): 1: Suelos 2: Sedimentos 3: Relave 4: Desmonte 5: Otros: .....

Referencia: IC-MCN-17; Protocolo para la toma de muestras de calador para las muestras sólidas.

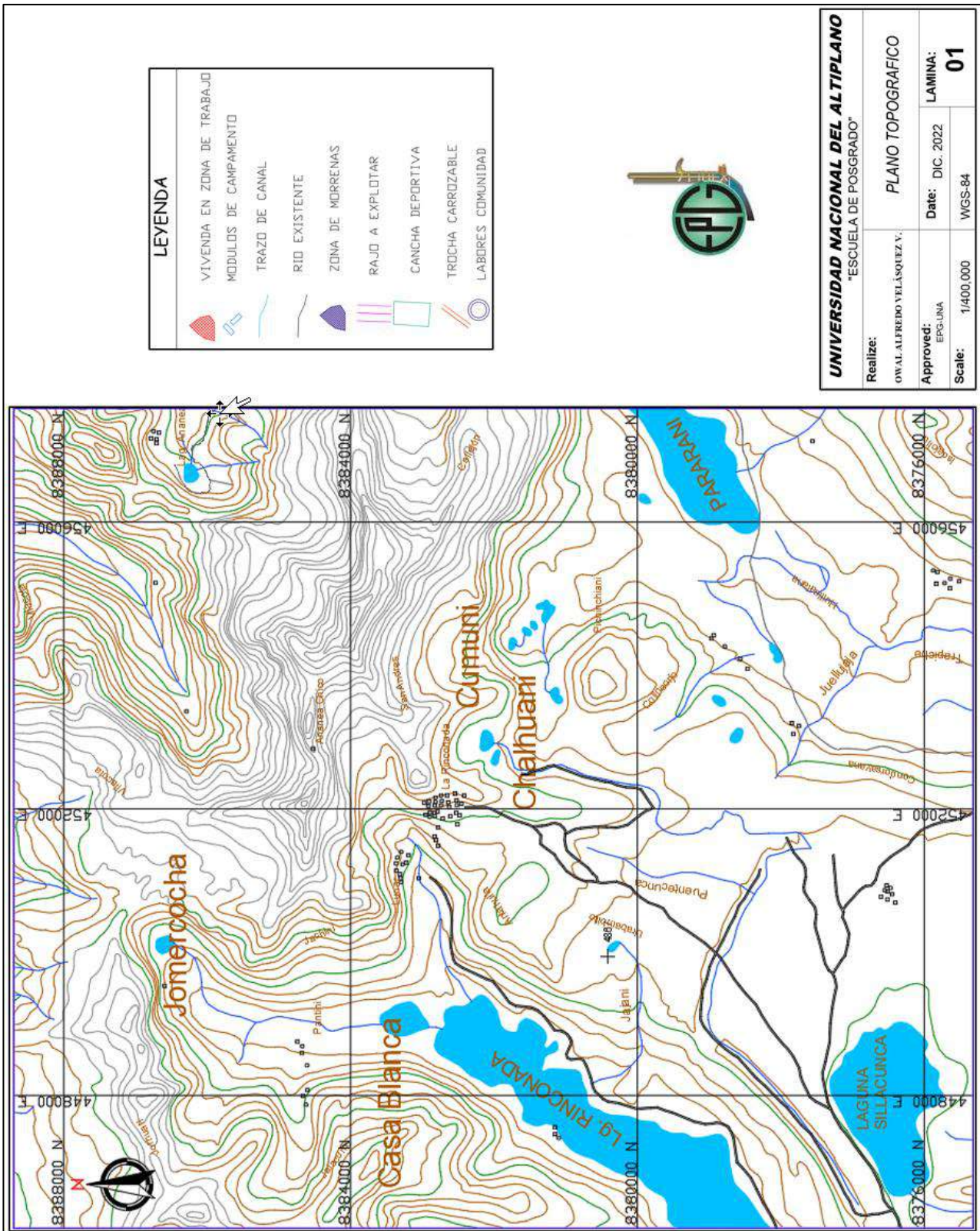
Av. Las Vegas N° 845 San Juan de Miraflores-Lima, Lima - Perú, Telf: 205-6656, Email: certimin@certimin.pe

COTAS 1031021

Anexo 8. Mapa de ubicación del sitio de investigación



Anexo 9. Plano topográfico del ámbito de estudio



### Anexo 10. Fotografías del ámbito de estudio



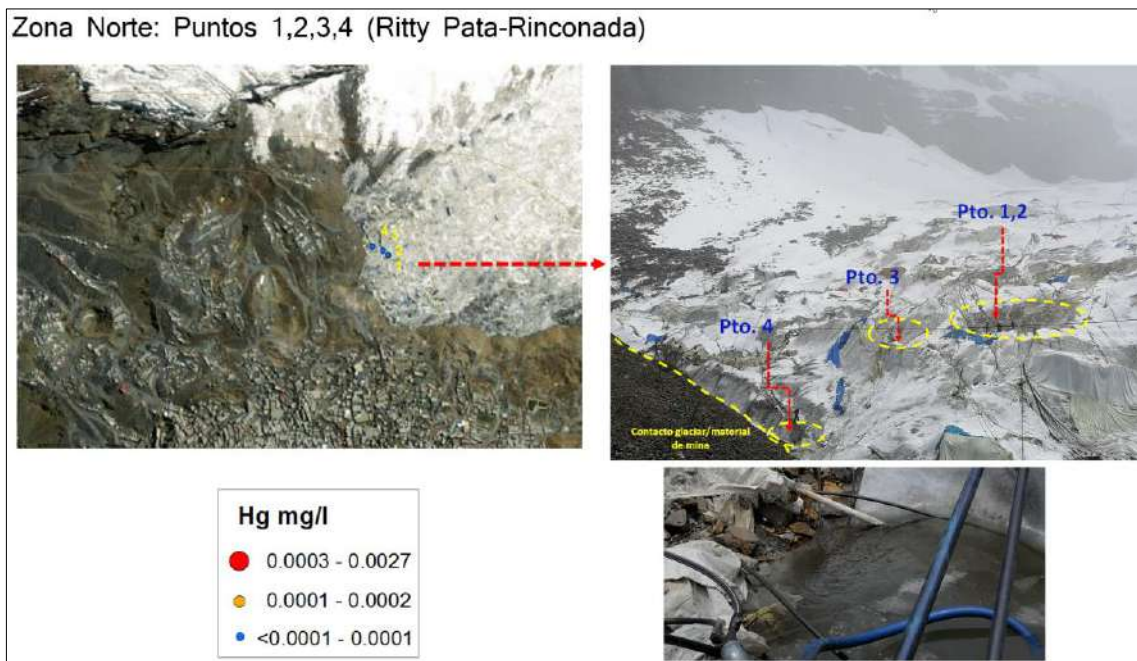
Vista panorámica de la zona Lunar de oro



Ingreso al Centro Poblado La Rinconada



Materiales y equipos de muestreo de agua y sedimentos



Zona Minerita: Punto 5 (Capilla NE)



Tanque de agua para consumo



Hg mg/l

- 0.0003 - 0.0027
- 0.0001 - 0.0002
- <0.0001 - 0.0001

Zona Industrial: Puntos 6,7,8 (Antahuila)

Pto. 7  
Planta molienda Surupana  
(comprado agua Ananea)



Pto. 6  
Captación de agua de calamina

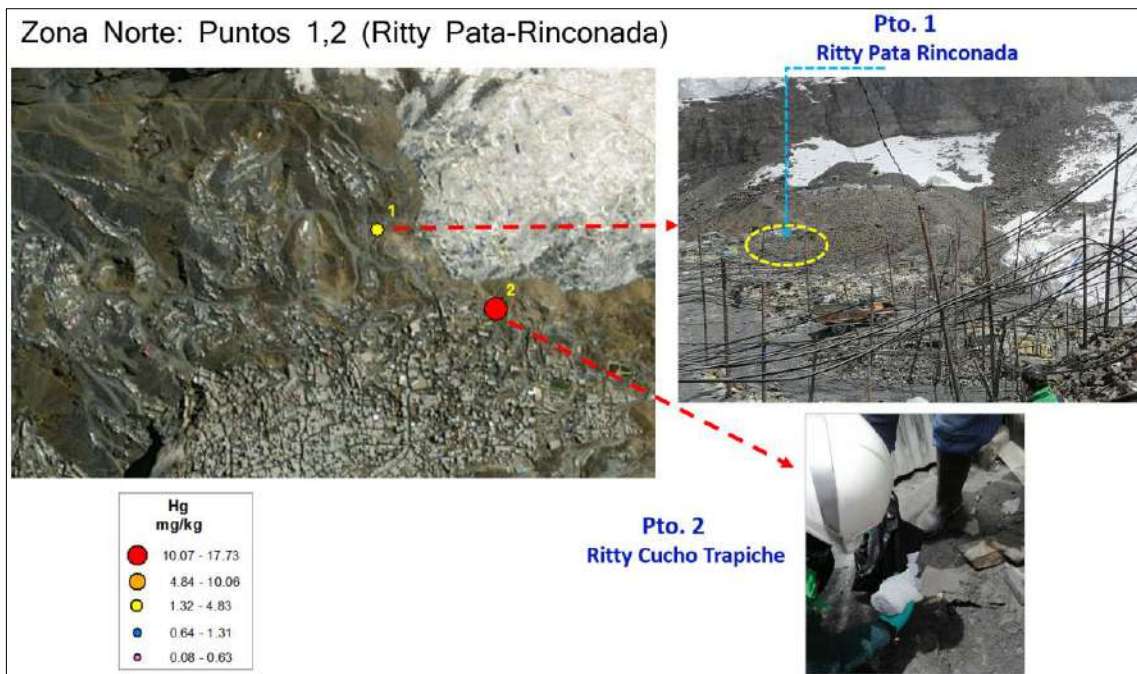
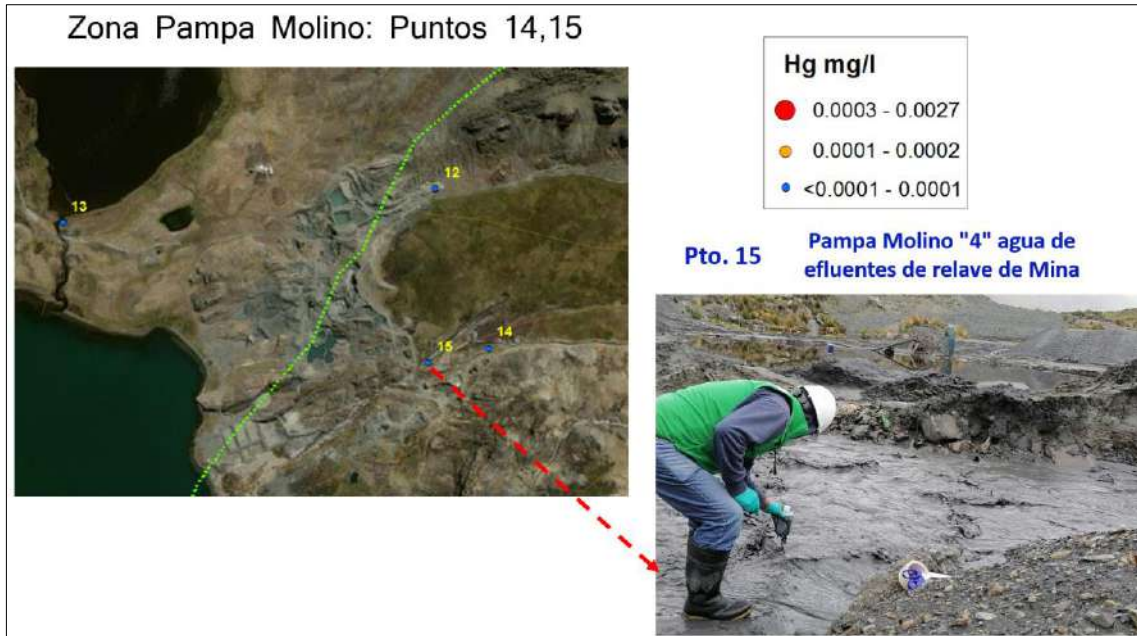


Pto. 8  
Agua para reutilizar



Hg mg/l

- 0.0003 - 0.0027
- 0.0001 - 0.0002
- <0.0001 - 0.0001





Zona Industrial: Punto 7 (Quebrada Parque Ind.)



Hg mg/kg	
● (Red)	10.07 - 17.73
● (Orange)	4.84 - 10.06
● (Yellow)	1.32 - 4.83
● (Blue)	0.64 - 1.31
● (Purple)	0.08 - 0.63

Pto. 7  
Quebrada parque industrial



Zona Cerro Lunar de Oro: Puntos 8,9 Laguna Colmatada



Hg mg/kg	
● (Red)	10.07 - 17.73
● (Orange)	4.84 - 10.06
● (Yellow)	1.32 - 4.83
● (Blue)	0.64 - 1.31
● (Purple)	0.08 - 0.63

Laguna colmatada  
Ptos. 8 y 9





Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo OWAL ALFREDO VELASQUEZ VIZA  
identificado con DNI 01214148 en mi condición de egresado de:

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

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

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

" DETERMINACION DE LA CONTAMINACION POR MERCURIO EN  
AGUA Y SEDIMENTOS EN EL CENTRO POBLADO LA RINCONADA  
- 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 14 de Julio del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

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

Por el presente documento, Yo OWAL ALFREDO VELASQUEZ VIZA  
identificado con DNI 01214148 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

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

" DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN AGUA  
Y SEDIMENTOS EN EL CENTRO POBLADO LA RINCONADA - PUNO "

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

DOCTORIS SCIENTIAE EN: CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

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 14 de Julio del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella