

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**DOCTORADO EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO**

**AMBIENTE**



**TESIS**

**EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DEL  
RÍO LORIPONGO AFECTADO POR LOS PASIVOS AMBIENTALES DE LA  
MINA GAVILÁN DE PLATA - LARAQUERI - PUNO**

**PRESENTADA POR:**

**ANDRES OLIVERA CHURA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

**PUNO, PERÚ**

**2019**

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



TESIS

EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DEL  
RÍO LORIPONGO AFECTADO POR LOS PASIVOS AMBIENTALES DE LA  
MINA GAVILÁN DE PLATA - LARAQUERI - PUNO

PRESENTADA POR:

ANDRES OLIVERA CHURA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

  
.....  
Ph.D. SABINO ATENCIO LIMACHI

PRIMER MIEMBRO

  
.....  
Dr. OSCAR ELOY LLANQUE MAQUERA

SEGUNDO MIEMBRO

  
.....  
Dr. PEDRO ÁLVARO EDWIN GALLEGOS PASCO

ASESOR DE TESIS

  
.....  
Dr. VLADIMIRO IBAÑEZ QUISPE

Puno, 12 de diciembre de 2019

ÁREA: Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

TEMA: Evaluación Ambiental del índice de calidad de agua del Río Loripongo.

LÍNEA: Evaluación Tecnológica y del Medio Ambiente

## DEDICATORIA

A Dios creador del universo por mostrarme  
el camino verdadero.

El sol de la esperanza está por encima de  
las nubes de tristezas y tragedias.

A mi madre Emerenciana, por su abnegado  
sacrificio en el logro de mis ansiados ideales.

A mi esposa Frecia Beatríz, mis hijos:  
Andrés Lyncol, Beatríz Saraí, con mucho  
amor, por su constante apoyo y aliento, son  
mi fuente de inspiración.

Lo mejor está por venir.

A mis hermanos, hermanas, sobrinos y  
sobrinas, por el desinteresado e  
incondicional apoyo.

## AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, Escuela de Posgrado, Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- A la plana Docente del Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, quienes supieron impartir sus conocimientos y experiencias durante los años de estudio.
- A mis jurados de Tesis Ph.D. Sabino Atencio Limachi, Dr. Oscar Eloy Llanque Maquera, Dr. Pedro Edwin Álvaro Gallegos Pasco, por su tiempo, experiencia, conocimiento en la mejora del presente trabajo.
- A mi asesor Dr. Vladimiro Ibañez Quispe, por las sugerencias y apoyo en la culminación del presente trabajo de investigación.
- A mis colegas M.Sc. Róger Gonzales Aliaga, M.Sc. Jaime César Rodrigo Martínez, por sus valiosos e incondicional apoyo en la parte experimental, Dr. Martín Choque Yucra, por apoyo y aliento.
- A mis compañeros de estudios del Doctorado promoción 2011, por los alientos, amistad y gratos momentos.
- A mis familiares, amigos, que directa o indirectamente contribuyeron en la culminación del presente trabajo de investigación.



**ÍNDICE GENERAL**

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1

**CAPÍTULO I****REVISIÓN DE LITERATURA**

1.1 Marco teórico	3
1.1.1 Medio ambiente	3
1.1.2 Salud ambiental	3
1.1.3 Línea Base	4
1.1.4 Degradación ambiental	4
1.1.5 Contaminación ambiental	5
1.1.5.1 Impacto ambiental	5
1.1.5.2 Identificación del impacto ambiental	6
1.1.5.3 Evaluación del impacto ambiental	7
1.1.5.4 Valoración del impacto ambiental	7
1.1.6 Riesgo ambiental	8
1.1.6.1 Riesgos sobre el ambiente, flora y fauna	8
1.1.6.2 Riesgos sobre la salud pública	8
1.1.7 Ruta de exposición	9
1.1.8 Pasivos ambientales mineros	9
1.1.9 El pH	9
1.1.10 Conductividad Eléctrica.	9
1.1.11 Metales pesados	10
1.1.12 Plomo	10
1.1.13 Arsénico	10

1.1.14	Cadmio	11
1.1.15	Límite Máximo Permissible para el agua	11
1.1.16	Monitoreo	12
1.1.17	Muestreo	12
1.1.18	Espectroscopia atómica	12
1.1.19	Marco Legal	13
1.1.20	Estándares de Calidad Ambiental	14
1.1.21	Gestión ambiental minera	14
1.1.22	Agua	15
1.1.23	Contaminación del agua	16
1.1.24	ECAs del agua D.S. 004-2017 - MINAM	16
1.1.25	El Método de Battelle-Columbus como instrumento para evaluar la importancia del Impacto Ambiental	20
1.1.25.1	Fundamento	21
1.1.25.2	Medición, Evaluación y Preferencia	22
<b>CAPÍTULO II</b>		
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>		
2.1	Identificación del problema	24
2.2	Formulación del problema de investigación	25
2.2.1	Problema General	25
2.2.2	Problemas Específicos de Investigación	25
2.3	Objetivos	25
2.3.1	Objetivo General	25
2.3.2	Objetivos Específicos	26
2.4	Hipótesis	26
2.4.1	Hipótesis General	26
2.4.2	Hipótesis Específicas	26
2.5	Justificación	26
<b>CAPÍTULO III</b>		
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>		
3.1	Lugar de estudio	28
3.1.1	Accesibilidad	28
3.2	Litoestratigrafía de la zona de estudio	30
3.2.1	Mesozoico	30

3.2.2	Cenozoico	31
3.3	Mineralización	34
3.4	Alteraciones en rocas ocasionadas por hidrotermalismo	35
3.4.1	Argílica	35
3.4.2	Propilítica	36
3.4.3	Clorítica	37
3.4.4	Oxidación	37
3.5	Geomorfología	40
3.5.1	Montaña de lavas volcánicas erosionadas	40
3.5.2	Montaña estructural metamórfica- sedimentaria	40
3.5.3	Laderas depositacionales de origen glaciar	41
3.5.4	Terraza aluvial	41
3.5.5	Rio, lecho fluidal	41
3.6	Información climatológica	43
3.6.1	Precipitación	43
3.1.1.	Evaporación	44
3.1.2.	Temperatura	45
3.1.3.	Humedad Relativa	47
3.2.	Flora de la zona	48
3.7	Niveles de contaminación del agua	52
3.7.1	Ubicación puntos de muestreo en el área de estudio	53
3.8	Muestra	54
3.8.1	Muestreo de aguas	54
3.9	Métodos	57
3.9.1	Descripción de métodos por objetivos	57
3.9.2	Mediciones Insitu	57
3.9.3	pH	57
3.9.4	Conductividad	58
3.9.5	Turbidez	58
3.9.6	Demanda química de oxígeno	59
3.9.7	Total de sólidos disueltos	59
3.9.8	Oxígeno disuelto en el agua	59
3.9.9	Determinación de los metales pesados	59

## CAPÍTULO IV

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Características fisicoquímicas del agua del río Loripongo	61
4.1.1	Medidas estadísticas descriptivas	61
4.1.2	Análisis de varianza	62
4.1.3	Análisis de correlación	66
4.1.4	Análisis de componentes principales	68
4.1.5	Determinación de los parámetros fisicoquímicos	69
4.1.5.1	Acidez o alcalinidad del agua (pH)	69
4.1.6	Potencial de óxido reducción (ORP)	72
4.1.7	Demanda de oxígeno (DO)	74
4.1.8	Conductividad eléctrica (CE)	76
4.1.9	Total de sólidos en suspensión (TDS)	78
4.1.10	Salinidad (PSU)	80
4.1.11	Turbidez (FNU)	82
4.1.12	Temperatura	84
4.2	Determinación de la incidencia de los pasivos de la mina en la calidad de agua análisis químico	86
4.2.1	Aluminio	92
4.2.2	Arsénico	94
4.2.3	Bario	96
4.2.4	Boro	98
4.2.5	Calcio	100
4.2.6	Cobre	102
4.2.7	Hierro	104
4.2.8	Litio	106
4.2.9	Magnesio	108
4.2.10	Manganeso	110
4.2.11	Mercurio	112
4.2.12	Níquel	114
4.2.13	Plomo	116
4.2.14	Zinc	118
4.2.15	Análisis de componentes principales de los resultados químicos	120

4.3 Evaluación del grado de contaminación del agua del río Loripongo mediante la matriz Bettelle Colombus	126
CONCLUSIONES	131
RECOMENDACIONES	133
BIBLIOGRAFÍA	134
ANEXOS	139

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Estándares de Calidad del Agua	17
2. Límites Máximos Permisibles actividades Minero-Metalúrgicas	20
3. Vías de acceso a la zona de estudio	28
4. Precipitación total mensual en (mm)	44
5. Promedio mensual de evaporación (mm).	45
6. Promedio mensual Temperatura máxima en °C.	46
7. Promedio mensual Temperatura mínima en °C.	46
8. Promedio mensual humedad relativa (%)	47
9. Ubicación de Puntos de Muestreo	54
10. Medidas estadísticas descriptivas	61
11. Variables para análisis de varianza-ANOVA	63
12. Matriz de correlación de PEARSON sobre los parámetros obtenidos en el río Loripongo.	66
13. Análisis de componentes principales de los parámetros obtenidos en el río Loripongo.	69
14. Puntos de Muestreo para análisis de Laboratorio.	86
15. Resultados de análisis químicos por 35 elementos de la zona de estudio.	87
16. Resultados de análisis químicos por 35 elementos de la zona de estudio (continuación).	88
17. Estadística descriptiva de 8 muestras por análisis químico de 35 elementos.	89
18. Resultados de análisis de correlación de Pearson con datos de elementos químicos y parámetros fisicoquímicos.	90
19. Resultados de análisis de correlación de Pearson con datos de elementos químicos	91
20. Varianza total explicada	121
21. Matriz de componentes rotados	123
22. Comparación de los análisis químicos del agua en los puntos de muestreo con los ECAs de la normativa peruana	125
23. Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica	143
24. Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos y orgánicos	144
25. Variable de respuesta: pH	146

26. Prueba de comparación de promedio de tukey ( $p \leq 0,05$ ) para la variable pH.---	146
27. Analysis of Variance para la variable conductividad eléctrica.	146
28. Analysis of Variance Table	147
29. Analysis of Variance Table	148
30. Prueba de comparación de promedios para la variable TDS	148

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Categoría 4 Conservación del ambiente acuático	19
2. Normas legales del agua	20
3. Mapa de ubicación de la zona de estudio.	29
4. Afloramiento de roca sedimentaria que ocurre en la zona de estudio; caliza micrítica cortada por venillas de calcita.	31
5. Depósitos aluviales en terrazas moderadamente erosionadas y depósitos fluviales, que muestran material retrabajado con formas redondeadas y con estratificación gradada.	34
6. Tipo de mineralización en la zona de estudio.	35
7. Alteración de roca de tipo argílica, en inmediaciones de una estructura mineralizada con sulfuros de Plata.	36
8. Alteración de roca de tipo propilítica, con presencia de aluminosilicatos.	37
9. Alteración de roca de tipo óxido, con presencia de limonita.	38
10. Plano Geológico	39
11. Vista de valles en forma de “V”.	42
12. Vista de valles en forma de “U”.	42
13. Calibración y utilización de equipo HANNA 2859 en la zona de estudio, mina Gavilán de Plata.	53
14. Plano de Muestreo, Parámetros Físico Químicos	55
15. Plano de Muestreo, Análisis Químico	56
16. Comparación de datos fisicoquímicos parámetro pH, entre los tres instrumentos.	64
17. Comparación de datos fisicoquímicos parámetro CE, entre los tres instrumentos.	65
18. Comparación de datos fisicoquímicos parámetro T°, entre los tres instrumentos.	65
19. Comparación de datos fisicoquímicos parámetro TDS entre los tres instrumentos	66
20. Diagramas de esparcimiento que muestran la correlación desde muy alta correlación lineal a correlaciones lineales bajas, de la zona de estudio.	68
21. Producto de lixiviación de sulfuros en interior mina y con la consiguiente generación de Fe <sup>+3</sup> . DAM. Muestra JAY-07.	69
22. Distribución espacial del pH en la zona de estudio, histograma, diagrama box plot y grafico de mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	71



23. Distribución espacial de ORP en la zona de estudio, mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	73
24. Distribución espacial de DO en la zona de estudio, mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	75
25. Distribución espacial de la CE en la zona de estudio, mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	77
26. Distribución espacial de TDS en la zona de estudio, mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	79
27. Distribución espacial de PSU en la zona de estudio, mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	81
28. Distribución espacial de FNU en la zona de estudio, mina Gavilán de Plata.	83
29. Distribución espacial de la Temperatura en la zona de estudio, mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	85
30. Concentraciones geoquímicas del aluminio en las aguas de que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	93
31. Concentraciones geoquímicas del arsénico en las aguas de que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	95
32. Concentraciones geoquímicas del bario en las aguas que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	97
33. Concentraciones geoquímicas del boro en las aguas que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	99
34. Concentraciones geoquímicas del calcio en las aguas que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	101
35. Concentraciones geoquímicas del cobre en las aguas que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	103
36. Concentraciones geoquímicas del hierro en las aguas que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	105
37. Concentraciones geoquímicas del litio en las aguas que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	107
38. Concentraciones geoquímicas del magnesio en las aguas que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	109
39. Concentraciones geoquímicas del manganeso en las aguas que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	111

40. Concentraciones geoquímicas del mercurio en las aguas que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	113
41. Concentraciones geoquímicas del níquel en las aguas que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	115
42. Concentraciones geoquímicas del plomo en las aguas que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	117
43. Concentraciones geoquímicas del zinc en las aguas que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.	119
44. Principales componentes	122
45. Círculo de correlaciones	122
46. Calificación del impacto	127
47. Calidad Ambiental	128
48. Importancia Negativa del Impacto Ambiental	128
49. Magnitud del impacto del proyecto	129
50. Impacto ambiental final	130
51. Pasivos de la mina	155
52. Pasivos de la mina	155
53. Presencia de pasivos	156
54. Zonas de alteración	156
55. Toma de datos parámetros físico químicos	157
56. Toma de muestras para análisis químico	157
57. Toma de datos parámetros físico químicos	158
58. Muestras para su análisis en Laboratorio	158

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Formatos de cadenas de custodia	140
2. Protocolos de muestreo.	141
3. Límites máximos permisibles	143
4. Análisis ANOVA	146
5. Varianza total	149
6. Vectores propios – círculo de correlaciones	153
7. Panel fotográfico del Proyecto	155
8. Certificado de Laboratorio	159

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el distrito de Pichacani- Puno, zona de Laraqueri, mina Gavilán de Plata. Las características fisicoquímicas y la calidad del agua de río Loripongo, son afectadas por los pasivos ambientales mineros, motivo por el cual se tiene por objetivo evaluar el índice de la calidad de agua del río Loripongo afectado por los pasivos ambientales mina Gavilán de Plata, identificar las características físico químicas, determinar la incidencia en la calidad del agua, verificar el grado de contaminación del agua del río Loripongo, determinación de metales pesados y los parámetros fisicoquímicos que influyen en el proceso de contaminación del río. La metodología utilizada está basada en las Normas y la Guía del MINAM. La investigación se basa en un enfoque cuantitativo y es de tipo descriptivo y experimental. Se hizo un mapa de diseño del muestreo el cual contempla cubrir la zona de alteración hidrotermal y áreas circundantes que puedan ser afectadas por el drenaje ácido de mina (DAM) y las aguas ácidas provenientes por contaminación natural (DAR). Los resultados obtenidos de los parámetros físicos químicos son: pH, media de 8.584, Potencial de óxido reducción, media 128.97 mv, Demanda de oxígeno una media de 5.349 ppm, Conductividad eléctrica una media de 479.5 ms, Total de sólidos en suspensión una media de 0.2733 ppm, Salinidad una media de 0.1324 ppm, Turbidez, una media de 12.11 UNT. Los resultados de los análisis químicos, considerados como contaminantes son: Arsénico, promedio 0.00235 mg/l; Cadmio promedio 0.00066 mg/l; Mercurio, promedio 0.00005 mg/l; Plomo, promedio 0.00682 mg/l. Para los criterios de evaluación ambiental se ha tomado en cuenta los ECAs para el agua. Los valores de los parámetros fisicoquímicos de agua obtenidos en campo y análisis químico obtenido en laboratorio están dentro de los límites máximos permisibles, considerados para descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas. Los análisis de los componentes principales de los resultados químicos presentan 6 componentes principales con un 98.42% de variabilidad lo cual es confiable.

Palabras clave: Contaminación, evaluación, límites máximos permisibles, metales pesados, minería, parámetros físico químicos y pasivos ambientales.

## ABSTRACT

The research work was carried out in the Pichacani- Puno district, Laraqueri area, Gavilán de Plata mine. The physicochemical characteristics and water quality of the Loripongo River are affected by the mining environmental liabilities, which is why the objective is to evaluate the water quality index of the Loripongo River affected by the environmental liabilities of the Gavilán de Plata mine, to identify the physical chemical characteristics, determine the incidence in the quality of the water, verify the degree of contamination of the water of the Loripongo river, determination of heavy metals and the physicochemical parameters that influence the process of contamination of the river. The methodology used is based on the Standards and the MINAM Guide. The research is based on a quantitative approach and is descriptive and experimental. A sampling design map was made which covers the area of hydrothermal alteration and surrounding areas that may be affected by acid mine drainage (DAM) and acidic water from natural pollution (DAR). The results obtained from the chemical physical parameters are: pH, average of 8,584, Oxide potential reduction, average 128.97 mv, Oxygen demand an average of 5,349 ppm, Electrical conductivity an average of 479.5 ms, Total suspended solids an average of 0.2733 ppm, Salinity an average of 0.1324 ppm, Turbidity, an average of 12.11 UNT. The results of the chemical analyzes, considered as contaminants are: Arsenic, average 0.00235 mg / l; Average cadmium 0.00066 mg / l; Mercury, average 0.00005 mg / l; Lead, average 0.00682 mg / l. For the criteria of environmental evaluation, ECAs for water have been taken into account. The values of the physicochemical parameters of water obtained in the field and chemical analysis obtained in the laboratory are within the maximum permissible limits, considered for the discharge of liquid effluents from mining - metallurgical activities. The analyzes of the main components of the chemical results present 6 main components with a 98.42% variability which is reliable.

**Keywords:** Environmental liabilities, evaluation, heavy metals, maximum permissible limits, mining, physical chemical parameters and pollution.

## INTRODUCCIÓN

La evaluación ambiental es un proceso permanente en el que deben de desarrollarse esfuerzos constantemente para de esa manera preservar, conservar el medio ambiente.

La evaluación de impacto ambiental es un proceso orientado a mejorar el sistema de toma de decisiones, encaminado a garantizar que las opciones de proyectos o programas sean ambiental y socialmente sustentables (Franco, 2015).

La explotación de los minerales como la arsenopirita, galena, argentita, calcita, de la mina Gavilán de Plata en el centro poblado de Laraqueri, distrito de Pichacani, por falta de una visión responsable, de una fiscalización del Estado Peruano, ha generado pasivos ambientales mineros, los cuales producen sulfuros al ambiente que da origen al drenaje ácido de mina (DAM), los cuales liberan metales pesados y junto a los drenajes de ácido de roca (DAR), generan contaminación en las aguas del río Loripongo, afectando el índice de calidad del agua. El cual representa un riesgo ambiental para su entorno directo e indirecto

La agricultura en el centro poblado de Laraqueri y comunidades aledañas se encontrarían amenazadas por la influencia del río Loripongo debido a sus aguas contaminadas con metales pesados (elementos tóxicos) producto de los pasivos ambientales de la mina Gavilán de Plata.

En ese contexto el presente trabajo de investigación tiene por objetivo. Evaluar el índice de calidad del agua del río Loripongo afectado por los pasivos ambientales de la mina Gavilán de Plata.

Por lo que la evaluación del riesgo ambiental que representan los pasivos ambientales de la mina de Gavilán de Plata, son de relevancia para establecer los mecanismos de protección ambiental para su entorno y las zonas bajas de la cuenca como son las poblaciones del centro poblado de Laraqueri.

En la investigación se evaluó el índice de calidad del agua, nivel de contaminación, los parámetros físicos y químicos, grado de acidez o basicidad (pH), potencial óxido de reducción (ORP), demanda de oxígeno (DO), conductividad eléctrica (CE), total de sólidos disueltos (TDS), salinidad (PSU), turbidez (FNU), temperatura (T°), Los niveles

de concentración de los metales pesados plomo, arsénico, cadmio, y otros con su respectiva valoración como consecuencia de la evaluación ambiental.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1 Marco teórico

##### 1.1.1 Medio ambiente

Es el conjunto de elementos naturales, artificiales o creados por el hombre, físicos, químicos y biológicos que posibilitan la existencia, transformación y desarrollo de organismos vivos entre sí y sobre el ambiente en un determinado espacio que interactúan entre sí con la precisión de que estas interacciones provocan la aparición de nuevas propiedades globales, no inherentes a los elementos aislados, que constituyen el sistema (Andía, 2013).

Medio ambiente comprende los elementos físicos, químicos y biológicos de origen natural o antropogénico que en forma individual o asociada, conforman el medio en el que se desarrolla la vida, siendo los factores que aseguran la salud individual y colectiva de las personas y la conservación de los recursos naturales (Andía, 2016).

##### 1.1.2 Salud ambiental

Está relacionada con todos los factores físicos, químicos y biológicos externos de una persona. Es decir, que engloba factores ambientales que podrían incidir en la salud y se basa en la prevención de las enfermedades y en la creación de ambientes propicios para la salud. Por consiguiente, queda excluido de esta definición cualquier comportamiento relacionado con el entorno social y económico y con la genética (Arellano & Guzmán, 2016).



La Organización Mundial para la Salud adopta la concepción de salud como aquellos aspectos de la salud humana, incluida la calidad de vida, que son determinados por factores ambientales físicos, químicos, biológicos, sociales y psicosociales. También se refiere a la teoría y práctica de la evaluación, corrección, control y prevención de los factores ambientales que pueden afectar en forma adversa la salud de las generaciones presentes y futuras.

### **1.1.3 Línea Base**

La información incluida en la línea de base deberá servir como punto de referencia, frente a lo cual se medirá la magnitud y significancia de los impactos positivos y negativos del proyecto, (ley nacional de políticas sobre el medio ambiente, comúnmente conocida como NEPA 2017).

Es una auditoría del "estado del medio ambiente". Esta permite desarrollar un marco de referencia para poder controlar adecuadamente los cambios medioambientales generados durante y después de la actividad minera. La investigación cubre los siguientes parámetros: características de la zona de influencia, físico, biológico, socioeconómico (May, 2010).

### **1.1.4 Degradación ambiental**

El daño ambiental consiste en el desgaste de recursos que se origina como consecuencia de la contaminación y degradación ambiental, ocasionado en el proceso de producción, distribución y comercialización de todo aquello que solo atiende a las nuevas necesidades ficticias o superfluas que debiera ser orientado a producir, en mayor cantidad y menor precio, bienes y servicios de carácter indispensable, para ponerlos al alcance de una mayor porción de la población (Andía, 2013).

Es la pérdida progresiva de la aptitud de los recursos naturales para prestar bienes y servicios a la humanidad, así como la del medio físico para albergarnos en condiciones de sanidad y dignidad. Se trata normalmente de procesos que paulatinamente van restando aptitud a los recursos para brindar los bienes y servicios que según su naturaleza están destinados a ofrecer y que, en casos extremos, supone la pérdida total de tal aptitud; estos procesos también conllevan a la modificación del medio físico restándole calidad para una vida sana y digna.

La degradación ambiental se produce por contaminación del ambiente y también por depredación de los recursos naturales. (Andaluz, 2011).

### **1.1.5 Contaminación ambiental**

Se define como la presencia de sustancias, energía u organismos extraños en un ambiente determinado en cantidades, tiempo y condiciones tales, que causen desequilibrio ecológico (Arellano & Guzmán, 2016).

Es la alteración nociva del estado natural de un medio como consecuencia de la introducción de un agente totalmente ajeno a ese medio (contaminante), causando inestabilidad, desorden, daño o malestar en un ecosistema, en un medio físico o en un ser vivo.

El contaminante puede ser una sustancia química, energía o incluso genes. A veces el contaminante es una sustancia extraña o una forma de energía y otras veces una sustancia natural. La contaminación es siempre una alteración negativa del estado natural del medio y por lo general, se genera como consecuencia de la actividad humana considerándose una forma de impacto ambiental (Andía, 2013).

#### **1.1.5.1 Impacto ambiental**

Se refiere a cualquier cambio, modificación o alteración de los elementos del medio ambiente o de las relaciones entre ellos, causadas por una o varias acciones humanas.

Es importante tener en cuenta que una acción no suele tener únicamente repercusiones en un único elemento ambiental o en una única variable, sino que normalmente afectará a varios factores ambientales incluso puede tener valoraciones diferentes para cada uno de ellos.

La definición de impacto ambiental necesita de al menos dos valores:

Primero, el cambio que produce en el factor ambiental estudiado (magnitud).

Segundo, el valor que tiene este cambio con respecto a la calidad de los elementos ambientales estudiados o de la calidad ambiental (Andía, 2016).

Toda acción humana produce un efecto ambiental, la cual describe un cambio en el ambiente producido por una actividad humana. Para que el efecto se convierta en impacto ambiental se tiene que valorarlo como positivo o negativo (Garmendia, 2010).

### **1.1.5.2 Identificación del impacto ambiental**

La identificación de los impactos ambientales, es una de las tareas más complejas, y como ya se ha señalado, su realización implica una serie de pasos y actividades previas, estas actividades básicamente pueden resumirse dentro de los siguientes puntos:

- Conocer el proyecto y sus alternativas
- Conocer el ambiente o entorno donde se desarrollará el proyecto
- Determinar las interacciones entre ambos (relaciones reciprocas entre ambos).

Sin el desarrollo y conocimiento de cada uno de los puntos señalados anteriormente, no es posible realizar la identificación de los impactos ambientales, ya que esta actividad se desarrolla en dos líneas paralelas, una que analiza el proyecto y que desemboca en la identificación de acciones susceptibles de generar impactos significativos y otra que analiza el entorno afectado para identificar los factores del medio que presumiblemente serán alterados por aquellas acciones. (Canter, 2002).

El impacto ambiental se origina en una acción humana y se manifiesta según distintas opciones como:

- La modificación de alguno de los factores ambientales o del conjunto del sistema ambiental.
- La modificación del valor del factor alterado o del conjunto del sistema ambiental.
- La interpretación o significado ambiental de dichas modificaciones y para la salud y calidad de vida humana.

Se dice que hay impactos ambientales, cuando una actividad o acción producen una alteración favorable o desfavorable en el ambiente o sobre alguno de sus componentes. Sin embargo, hay que hacer notar que no todos los impactos son necesariamente negativos, si se considera la existencia de impactos positivos (Franco, 2015).

### **1.1.5.3 Evaluación del impacto ambiental**

A la evaluación de impacto ambiental es un instrumento de planificación ambiental incluido en la gestión ambiental y que abarca un conjunto de acciones orientadas a alcanzar la máxima racionalidad en la toma de decisiones, con respecto a la conservación de los elementos del ambiente y la viabilidad de los proyectos de desarrollo o productivos, sujetos a esta evaluación.

La evaluación de impacto ambiental es un proceso orientado a mejorar el sistema de toma de decisiones, encaminado a garantizar que las opciones de proyectos o programas sean ambiental y socialmente sustentables (Franco, 2015).

### **1.1.5.4 Valoración del impacto ambiental**

La valoración del impacto ambiental tiene lugar en la última fase del estudio de impacto ambiental y consiste en transformar los impactos, medidos en unidades heterogéneas, a unidades homogéneas de impacto ambiental, de tal manera que permita comparar alternativas diferentes de un mismo proyecto y aún de proyectos distintos (Andía, 2016).

Se reconoce que el proceso de valoración de los impactos ambientales tiene un componente subjetivo basado en el juicio de valor o criterio profesional de los expertos involucrados en el estudio de impacto. Como este criterio es variable entre los distintos expertos, dependiendo de su profesión y del grado de desarrollo de las teorías fundamentales de cada disciplina, es recomendable que la valoración la realice un grupo interdisciplinario de expertos a fin de incrementar la validez de la tarea. Más aún, los distintos métodos desarrollados apuntan a asegurar que la identificación y valoración de los impactos se fundamente en juicios de

valor explícitos, de modo de poder ser inspeccionados o analizados por colegas que sean técnicamente aceptables (Gómez, 2003).

### **1.1.6 Riesgo ambiental**

El riesgo ambiental, está relacionado a los daños que pueden producirse por factores del entorno, ya sean propios de la naturaleza o provocados por el ser humano. La actividad productiva o económica y la ubicación geográfica son cuestiones que pueden dejar a una persona o a un grupo de individuos en una situación de riesgo ambiental. (Pérez & Merino, 2016).

De acuerdo a la Guía de Evaluación Ambiental (MINAM, 2010) el riesgo ambiental se define como “Probabilidad de ocurrencia que un peligro afecte directa o indirectamente al ambiente y a su biodiversidad, en un lugar y tiempo determinado, el cual puede ser de origen natural o antropogénico.

#### **1.1.6.1 Riesgos sobre el ambiente, flora y fauna**

- Alteración del hábitat y paisaje.
- Se manifiesta en lagos, cursos de agua, ríos, la dinámica fluvial, destrucción de la vida acuática.
- En suelos, la minería en general impide el crecimiento de la vegetación. El polvo impide la respiración de las plantas, y el ruido hace emigrar especies animales de su hábitat natural (Mejía, 1999).

#### **1.1.6.2 Riesgos sobre la salud pública**

- Los contaminantes atmosféricos: CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, plomo.
- Los contaminantes hídricos y del suelo: bacterias, parásitos, pesticidas, químicos (metales pesados); provocan: dolor de cabeza, fatiga, enfermedades respiratorias, enfermedades cardiovasculares, gastroenteritis, riesgo de cáncer, náuseas, irritación de la piel (Andía, 2013).

### **1.1.7 Ruta de exposición**

La trayectoria que sigue un tóxico desde la fuente de emisión hasta el contacto con las poblaciones previamente seleccionadas como potencialmente expuestas, incluyendo la vía de ingreso del tóxico a los organismos expuestos, se denomina ruta de exposición. Una ruta está completa si hay una liberación de una sustancia desde una fuente, un escenario de exposición donde pueda ocurrir un contacto y una vía de exposición o ingreso (MINAM, 2010).

### **1.1.8 Pasivos ambientales mineros**

Son considerados aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonada o inactiva y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad.

Toda persona o entidad que haya generado pasivos ambientales mineros es responsable de la remediación ambiental correspondiente, bajo sanción.

La Ley N°. 28271-2004, ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera.

Decreto Supremo N°. 059-2005-EM, Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera (Andía & Andía, 2016).

### **1.1.9 El pH**

Es una medida convencional de la acidez o basicidad de soluciones acuosas y constituye un parámetro de interés en la caracterización de un cuerpo de agua, su variación indica las alteraciones producidas por agentes extraños. Por definición el pH de una solución es el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrogeno (Hamilton, Simpson & Bills, 1988).

### **1.1.10 Conductividad Eléctrica.**

Este parámetro depende de la concentración total de sustancias iónicas disueltas en el agua y la temperatura a la cual se hace la medida, estos iones son capaces de transportar electricidad y a ellos se debe que las soluciones sean buenas conductoras de la corriente eléctrica (Hamilton, Simpson & Bills, 1988).

En aguas residuales domésticas, la conductividad puede demostrar el grado de degradación de las características el servicio de abastecimiento del lugar. Algunas aguas industriales pueden llegar a tener conductividad sobre los 1000 mS/m (Romero, 1999).

#### **1.1.11 Metales pesados**

Se denomina metales pesados a aquellos elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg) y que presentan un peso específico superior a 4 g/cm<sup>3</sup>. Lo que hace tóxicos a los metales no son en general sus características esenciales, sino las concentraciones en las que pueden presentarse y más importante el tipo de especie que forman en un determinado medio (Duffus, 2002).

#### **1.1.12 Plomo**

El plomo participa en reacciones biológicas que determinan su absorción por los organismos. En general actúa como inhibidor de enzimas, alterando el metabolismo celular y por bioacumulación, tiende a depositarse en el tejido óseo. Es un metal muy tóxico para los organismos acuáticos y sobre todo para los peces.

Puede ser inhalado y absorbido a través del sistema respiratorio o ingerido y absorbido por el tracto gastrointestinal; en el organismo circula en sangre periférica y se deposita sobre todo (90%), en los huesos. El plomo provoca lesiones encefálicas difusas, efectos desmielinizantes sobre el SNP (sistema nervioso periférico), afección hepática y renal, disminución de la espermatogénesis y la barrera hematoencefálica, puede causar daños neurológicos irreversibles, enfermedades renales, efectos hematológicos, gastrointestinales, reproductivos y en el desarrollo (Valdivia, 2005).

#### **1.1.13 Arsénico**

El arsénico es un elemento natural de la corteza terrestre, distribuido en todo el medio ambiente y presente en el aire, el agua y la tierra; siendo también causal de contaminación por actividades antropogénicas.

En Latinoamérica, se estima que por lo menos 4,5 millones de personas beben en forma permanente agua con niveles de arsénico que ponen en riesgo su salud. La

cantidad de arsénico en el agua, especialmente en el agua subterránea, llega en algunos casos a superar la concentración de 1 000  $\mu\text{g/L}$ . En Perú, su presencia en las fuentes de agua para consumo humano se puede deber a factores naturales de origen geológico, a la explotación minera y a la refinación de metales por fundición. Se han reportado niveles de arsénico en agua de consumo humano por encima del actual límite máximo permisible recomendado por la OMS en agua potable de 10  $\mu\text{g/L}$ , y en la mayoría de los casos los niveles eran superiores a 50  $\mu\text{g/L}$ , (límite anterior recomendado). Por ejemplo, en el año 2002 se encontraron niveles de arsénico en el río Rímac, de hasta 780  $\mu\text{g/L}$ . Esto tiene mucho impacto considerando que este río abastece de agua a la ciudad de Lima, donde se concentra la mayor población urbana del país. En la zona sur, se determinó que el agua de los ríos Callazas y Salado, tiene niveles tan altos como 640 y 1 680  $\mu\text{g/L}$ , respectivamente, también se detectó arsénico en aguas subterráneas en zonas de Puno, Tacna y Moquegua (Medina *et al.*, 2018).

#### **1.1.14 Cadmio**

El cadmio no se encuentra en estado libre en la naturaleza y la greenokita (sulfuro de cadmio), único mineral de cadmio no es una fuente comercial de metal. Casi todo el que se produce es obtenido como subproducto de la fundición y refinamiento de los minerales de zinc.

Los alimentos que son ricos en cadmio, como los mariscos, mejillones, cacao, champiñones y algas secas, pueden incrementar la concentración de cadmio en los humanos.

El humo del tabaco transporta el cadmio a los pulmones. La sangre transportará el cadmio al resto del cuerpo donde puede incrementar los efectos por potenciación del cadmio que está ya presente por comer comida rica en cadmio.

#### **1.1.15 Límite Máximo Permisible para el agua**

Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o a una emisión que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.



Según el parámetro en particular a que se refiera, concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.

Los ECA y LMP deben ser coherentes entre sí. La implementación de estos instrumentos debe asegurar que no se exceda la capacidad de carga de los ecosistemas, de acuerdo con las normas sobre la materia (Andía & Andía, 2016).

#### **1.1.16 Monitoreo**

El monitoreo es un instrumento para mantener un diagnóstico actualizado de una situación ambiental específica. En este sentido, es sumamente importante asegurar la obtención de muestras representativas, seleccionando adecuadamente las estaciones de muestreo, el tipo de muestras y la frecuencia de recolección. (Industria Turismo, Integración y Negociaciones Comerciales Internacionales R.M. 026-2000 ITINCI/DM).

#### **1.1.17 Muestreo**

Es una herramienta de la investigación científica. Su función básica es determinar que parte de una realidad en estudio (población o universo) debe examinarse con la finalidad de hacer inferencias sobre dicha población. El error que se comete debido sobre cierta realidad a partir de la observación de solo muestreo. Obtener una muestra adecuada significa lograr que reproduzca de algún modo sus rasgos básicos (Camacho, 2000).

#### **1.1.18 Espectroscopia atómica**

Es un método instrumental que está basado en la atomización del analito en matriz líquida y que utiliza comúnmente un nebulizador pre- quemador (o cámara de nebulización) para crear una niebla de la muestra y un quemador con forma de ranura que da una llama con una longitud de trayecto más larga. Es decir para obtener espectros atómicos de ultravioleta y visible, es necesario atomizar la muestra. En este proceso las moléculas constituyentes se descomponen y se convierten en partículas gaseosas elementales. El espectro de emisión, absorción o fluorescencia de un elemento atomizado está constituido por una cantidad relativamente limitada de líneas discretas a longitudes de onda características para cada elemento (Skoog & Holler, 2007)

### 1.1.19 Marco Legal

- Constitución Política del Perú - 1993
- Ley N° 28611 - 2005, Ley General del Ambiente
- Ley N° 28271 - 2004, ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera.
- Ley N° 28526 - 2005, modifica la Ley N° 28271
- D.L. N° 1042 - 2008, modifica la Ley N° 28271
- D.S. N° 059-2005-EM, aprueba el Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera
- D.S. N° 003-2009-EM, modifica el D.S. N° 059-2005-EM.
- D.S. N°. 019-2009-MINAM, Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental
- Resolución Ministerial N° 290-2006-MEM/DM, aprueba el Inventario Inicial de Pasivos Mineros
- D.S. N°. 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) para Agua
- R.M. N° 102-2015-MEM-DM, actualiza el inventario inicial de los pasivos ambientales mineros
- Resolución Directoral N° 088-2012-MEM/DGM, aprueba el Plan de Manejo de Pasivos Ambientales Mineros.
- Ley N°. 27446 – 2009, Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental
- Ley N°. 29338 – 2010, Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento
- Ley N°. 30640 – 2017, Ley que modifica Ley 29338, Recursos Hídricos
- D.S. N°. 004 – 2017 MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

### **1.1.20 Estándares de Calidad Ambiental**

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni el ambiente (Andía & Andía, 2016).

Los estándares están de acuerdo con el uso designado al cuerpo de agua; con respecto a la designación de usos, los estados especifican en función de sus objetivos y expectativas para sus aguas y si acuerdan cambiarlo, necesitan previa aprobación de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2011).

Los Límites Máximos Permisibles (LMP), regulan la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a un efluente o emisión de una operación, teniendo en consideración criterios específicos de la capacidad de dilución de la descarga del cuerpo receptor y que se obtienen midiéndolos directamente de la fuente contaminadora, mientras que los ECA establecen el nivel de calidad adecuado de los cuerpos receptores como el mar, la atmósfera, un río, un lago, entre otros. (De la Puente, 2008).

### **1.1.21 Gestión ambiental minera**

El diseño de un marco legal de protección en cuanto a la actividad minero metalúrgica ha pretendido ser visto como un escenario acabado que aseguraba criterios de sustentabilidad en las zonas mineras. Este ha sido un argumento oficial bastante utilizado: Las evaluaciones ambientales preliminares, los estudios de impacto ambiental, los programas de adecuación ambiental y los propios planes de cierre exigidos, son parte de este andamiaje formal construido que debió garantizar una adecuada gestión ambiental en el país (Massolo, 2015).

El éxito de las políticas de protección ambiental implica una participación activa de las poblaciones y actores involucrados con esta problemática y se contradice con el manejo poco transparente, ineficaz y sin fiscalización, como ha sido hasta ahora el caso, en cuanto al estudio de impacto ambiental e información que en esta material se ha producido en el país (Massolo, 2015).

Pero este tema de la gestión ambiental minera en nuestro país ha sido hasta el momento abordado casi exclusivamente por entidades especializadas, ya sea pública o privada, empresas mineras y algunos otros organismos competentes. Pero nadie podrá negar que se está frente a un tema de interés para las poblaciones, especialmente las que están vinculadas de alguna manera u otra a esta actividad, ya que el objetivo de cualquier política de protección ambiental es el de conservar ecosistemas saludables y el contar con marcos de regulación realmente efectivos en el marco de un concepto de minería social y ecológicamente responsable (Obando, 1999).

### **1.1.22 Agua**

Es uno de los compuestos más abundantes en la naturaleza ya que cubre aproximadamente tres cuartas partes de la superficie total de la Tierra. Sin embargo, a pesar de esta aparente abundancia, existen diferentes factores que limitan la cantidad de agua disponible para el consumo humano (Arellano & Guzmán, 2016).

El agua es un elemento fundamental para el ecosistema y la vida humana y como insumo para su utilización en las actividades económicas y productivas. Más aún, si se tiene en cuenta que gran parte del cuerpo humano está constituido por agua. Desde la sangre hasta la piel todo el organismo debe nutrirse con líquidos. En nuestro cuerpo el agua se encuentra: (10%) en la sangre, (20%) en el espacio intercelular de los tejidos y el (70%) en el líquido celular (Andía, 2013).

Según reciente información estadística, el 75% de nuestro planeta está cubierto por agua. De esa masa de agua, el 97%, aproximadamente es agua salada. El 2% se encuentra congelado en los polos, mientras que el 1% restante es el agua que consumimos y que nos provee de vida, gracias a las fuerzas de la naturaleza es purificado una y otra vez. Es el recurso más importante en la vida de los seres vivos, ella actúa de intermediario, transportando las sustancias activas y alimentos a los diversos órganos, es por eso que el cuerpo humano dispone de una reserva de agua.

La educación es un elemento determinante para promover la utilización razonable y el aprovechamiento de los bienes de la naturaleza, que se constituye en una

valiosa herramienta para preservar el recurso acuífero (Andía, 2013).

El agua es vital para el ser humano, como el aire y los alimentos. Los humanos pueden vivir solo unos minutos sin oxígeno, una semana sin agua, y un mes sin alimentos (Theis & Tomkin, 2013).

### **1.1.23 Contaminación del agua**

La Organización Mundial de la Salud considera que el agua está contaminada o polucionada, cuando su composición o estado se encuentran alterados de tal modo que no reúne las condiciones para la utilización a la que se hubiera destinado en su estado natural. La liberación de residuos y contaminantes que drenan a las escorrentías y luego son transportados hacia ríos, penetrando en aguas subterráneas o descargando en lagos o mares (Andía, 2013).

Los estándares más comunes utilizados para evaluar la calidad del agua se relacionan con la salud de los ecosistemas, seguridad de contacto humano y medio ambiente.

Decir que el agua se encuentra contaminada o no, es un concepto, de alguna manera relativa, ya que no se puede hacer una clasificación absoluta de la “calidad” del agua. El agua destilada que, desde el punto de vista de la pureza, tiene el más alto grado de calidad, no es adecuada para beber, esto es porque el grado de calidad del agua ha de referirse a los usos a que se destina.

### **1.1.24 ECAs del agua D.S. 004-2017 - MINAM**

Según las normas del ministerio del ambiente los parámetros a evaluar se considerarán de acuerdo a sus órganos competentes como MINSA, MINAM, ANA, y OEFA.

Tabla 1  
Estándares de Calidad del Agua

N°	Parámetro	Unidad	AGUA SUPERFICIAL		OMS Organización Mundial de la Salud	AGUA PARA CONSUMO HUMANO		EFLUENTES LIQ. DE ACTIVIDAD MINERO- METALÚRGICO		LBC-PMR Promedio de los valores registrados en ríos alejados de actividades humanas
			D.S. N° 002-2008-MINAM 30 Julio 2008	ECA Categoría 1-A1		ECA Categoría 3	Para riego de vegetales de tallo alto y bajo con desinfección	D.S. N° 031- 2010-SA 25	D.S. N° 010-2010-MINAM 20 Agosto 2010	
<b>FISICOQUÍMICOS</b>										
1	Conductividad Eléctrica	uS/cm	1500	<2000	...	1500	NN	NN	NN	455
2	Turbiedad	UNT	5	NN	...	5	NN	NN	NN	3.2
3	Cianuro (CN <sup>-</sup> )	mg/L	NN	NN	0.07	0.07	1	0.8	0.008	0.008
4	Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	10	10	10	50	NN	NN	NN	0.10
5	Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	mg/L	250	300	250	250	NN	NN	NN	122
<b>INORGÁNICOS</b>										
6	Antimonio (Sb)	mg/L	0.006	NN	0.02	0.02	NN	NN	NN	<0.010*
7	Arsénico (As)	mg/L	0.01	0.05	0.01	0.01	0.1	0.08	0.015	0.015
8	Cadmio (Cd)	mg/L	0.003	0.005	0.003	0.003	0.05	0.04	<0.010*	<0.010*
10	Mercurio (Hg)	mg/L	0.001	0.001	0.006	0.001	0.002	0.0016	0.0004	0.0004
11	Plomo (Pb)	mg/L	0.01	0.05	0.01	0.01	0.2	0.16	<0.0210*	<0.0210*
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>										
11	Coliformes Totales	NMP/100mL	50	5000**	0	=<1.8	NN	NN	NN	90.12
12	Coliformes Fecales	NMP/100mL	0	1000**	0	=<1.8	NN	NN	NN	29.79

(\*) Valor del límite de detección del método utilizado.

(\*\*) Valor para tallo bajo

Fuente: (Ministerio del Ambiente D.S. 004 – 2017 MINAM, 2017)

**Categoría 4: Conservación del ambiente acuático**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

**a) Subcategoría E1: lagunas y lagos**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

**b) Subcategoría E2: ríos**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección.

**Categoría 4 Conservación del ambiente acuático**

<b>18</b>						
<b>NORMAS LEGALES</b>						
Miércoles 7 de junio de 2017 / <b>El Peruano</b>						
<b>Categoría 4: Conservación del ambiente acuático</b>						
Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
<b>INORGÁNICOS</b>						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
<b>ORGÁNICOS</b>						
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles</b>						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
<b>BTEX</b>						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

Figura 1. Categoría 4 Conservación del ambiente acuático  
Fuente: (Ministerio del Ambiente D.S. 004 – 2017 MINAM, 2017)



El Peruano / Miércoles 7 de junio de 2017		NORMAS LEGALES				19	
Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos		
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos	
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036	
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**	
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	
<b>Carbamato</b>							
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015	
<b>MICROBIOLÓGICO</b>							
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000	

Figura 2. Normas legales del agua

Fuente: (Ministerio del Ambiente D.S. 004 – 2017 MINAM, 2017)

Tabla 2

*Límites Máximos Permisibles actividades Minero-Metalúrgicas*

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH		6-9	6-9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo Hexavalente(*)	mg/L	0,1	0,08
Cobre Total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo Total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

Fuente: Decreto Supremo N°. 010-2010-MINAM.

Nota: Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero - Metalúrgicas

### 1.1.25 El Método de Battelle-Columbus como instrumento para evaluar la importancia del Impacto Ambiental

Entre los especialistas de impacto ambiental es muy conocido el método de Battelle-Columbus como un método cuantitativo de evaluación de la magnitud del impacto ambiental; incluso así lo refiere Conesa (2010). Sin embargo, dicho método, en sentido estricto, es un método cualitativo o semicuantitativo de

valoración de la importancia del impacto, a través de la estimación de un índice de calidad ambiental.

El método de Battelle-Columbus es subjetivo, pues incluye la valoración de una calidad ambiental, expresada como valores subjetivos de 0 a 1, a partir de los cuales se interpreta o califica cada magnitud o dato de la variable de impacto, como un valor en una escala de calidad ambiental. Pues la calidad ambiental es una variable subjetiva por naturaleza; no hay artificio matemático que la convierta en una variable objetiva.

El método de Battelle-Columbus no determina la magnitud del impacto. Es otra forma de valorar la importancia del impacto a partir de un concepto particular de calidad ambiental.

#### **1.1.25.1 Fundamento**

Los Términos de Referencia (TdR) de los Estudios de Impacto Ambiental (EsIA), en el Perú, por ejemplo, el que corresponde a los estudios de impacto ambiental detallados de las operaciones mineras metálicas PERÚ-MEM (2015), señalan que la “caracterización de impactos ambientales comprenderá la identificación, evaluación cualitativa y cuantitativa de los impactos” y que deberá precisarse “las herramientas y criterios para la identificación, análisis y cuantificación de los impactos”. Los mencionados TdR también indican que “se utilizarán variables ambientales representativas para identificar los impactos ambientales, justificando la escala, el nivel de resolución y el volumen de los datos, la replicabilidad de la información mediante el uso de modelos matemáticos adecuados en la determinación de impactos significativos negativos y positivos”.

La exigencia de la cuantificación de los impactos, que exigen los TdR en el Perú, viene siendo interpretada por muchos analistas de impactos y revisores de EIA como la obligación de emplear el método de Battelle-Columbus. El argumento de tal interpretación estaría en la aseveración que hacen (Dee et al. 1973), autores del referido método, sobre la medición del impacto.: “La The Environmental Evaluation System (EEE)

proporciona un medio para medir o estimar los impactos ambientales que ocasionan los proyectos de recursos hídricos, de gran escala, en unidades conmensurables denominadas “unidades de impacto”.

#### **1.1.25.2 Medición, Evaluación y Preferencia**

La evaluación es un proceso entre la medición y la preferencia. No es un proceso objetivo, porque las evaluaciones son las percepciones individuales, realizadas sin el uso de un instrumento unívoco como en el caso de la medición. Sin embargo, es una operación que quiere ser empírica: el significado de las apreciaciones personales intangibles es circunscrito por medio de un proceso exógeno de definición semántica (mediante algún instrumento no físico). Los sujetos que evalúan están llamados a cumplir con este proceso para lograr empiricidad (Cecconi *et al.*, 2006).

La empiricidad es el resultado de observaciones, hay empiricidad cuando la relación es observable, es decir, la propiedad del objeto puede ser bien definida y caracterizada sin ambigüedad. La objetividad implica resultados independientes de los sujetos, así los experimentos pueden ser repetidos por diferentes observadores y cada uno llegará al mismo resultado (Cecconi *et al.*, 2006).

Los autores del Método Battelle-Columbus han adoptado el concepto de medición en el sentido que propone Hernández et al. (2010), “proceso de vincular conceptos abstractos con indicadores empíricos”. Es el caso cuando los mencionados autores señalan “la medición de la calidad ambiental”, “medición del impacto ambiental”. El concepto pertinente sería evaluación de la calidad ambiental o evaluación del impacto ambiental, si nos atenemos a lo que señala Cecconi et al. (2006). Por lo señalado el método mencionado no mide sino evalúa. Los autores del Método de Battelle-Columbus señalan que utilizaron técnicas de escalamiento socio-psicológico y el procedimiento Delphi para cuantificar los juicios de valor. Entendemos que con ello se pretendía lograr empiricidad.

El Método Battelle-Columbus es reconocido por sus autores como Sistema de Evaluación Ambiental y no sistema de medición o método cuantitativo. Es (Conesa, 2010) quien lo denomina “Método cuantitativo del Instituto Battelle-Columbus” y no los propios autores. Cuando se revisa el artículo de los autores, (Dee et al., 1973), se aprecia que ellos no hacen una referencia a un método cuantitativo; se remiten a nominarlo Sistema de Evaluación Ambiental, y precisar que es una metodología para el análisis de impacto ambiental.

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1 Identificación del problema

La minería en el Perú y por ende en la región de Puno se viene desarrollando desde épocas prehispánicas, actividad que se ve incrementada en tamaño y volumen por efecto de la revolución industrial que demanda mayor cantidad de minerales.

La actividad minera es un factor de suma importancia y preocupante de la gestión del agua, en todas las cuencas donde hay actividad minera, no por su volumen de demanda que es relativamente mínimo 2% a nivel nacional, sino por el alto riesgo de su contaminación debido al vertimiento después del procesamiento de los minerales.

La contaminación por elementos tóxicos y el incremento de sedimentos en los ríos, constituyen un riesgo por el potencial de redisolución, en consecuencia, por medio de aguas superficiales, éstos llegan al suelo y pueden ser absorbidos por las plantas con la capacidad de biotransformar, bioacumular y llevar los contaminantes a la cadena alimenticia.

El inadecuado manejo de los residuos y la inexistencia de normas específicas antes de 1992 que regulen los cierres y abandono de minas, han ocasionado una acumulación de pasivos ambientales mineros; la explotación de los minerales como la arsenopirita, galena, argentita, calcita, de la mina Gavilán de Plata en el centro poblado de Laraqueri, distrito de Pichacani, por falta de una visión responsable, de una fiscalización del Estado Peruano, ha generado pasivos ambientales mineros, los cuales producen sulfuros al ambiente que da origen al drenaje ácido de mina (DAM), los cuales liberan metales pesados y junto a los drenajes de ácido de roca (DAR), generan contaminación en las

aguas del río Loripongo. El cual representa un riesgo ambiental para su entorno directo e indirecto

Por lo que la evaluación del riesgo ambiental del índice de calidad del agua del río Loripongo afectado por los pasivos ambientales de la mina de Gavilán de Plata, son de relevancia para establecer los mecanismos de protección ambiental para su entorno y las zonas bajas de la cuenca como son las poblaciones de Laraqueri.

## **2.2 Formulación del problema de investigación**

### **2.2.1 Problema General**

¿Cómo beneficia la Evaluación Ambiental del índice de calidad del agua del río Loripongo afectado por los pasivos ambientales de la mina Gavilán de Plata, Laraqueri - Puno?

### **2.2.2 Problemas Específicos de Investigación**

1. ¿En qué medida las características físico químicas del río Loripongo son afectados por los pasivos ambientales de la mina Gavilán de Plata, Laraqueri – Puno?
2. ¿Cuáles son las incidencias de los pasivos ambientales en la calidad del agua del río Loripongo de la mina Gavilán de Plata, Laraqueri – Puno?
3. ¿Cuál es el grado de contaminación del río Loripongo afectado por los pasivos ambientales de la mina Gavilán de Plata, Laraqueri – Puno?

## **2.3 Objetivos**

### **2.3.1 Objetivo General**

Determinar en qué medida beneficia la evaluación ambiental del índice de la calidad del agua del río Loripongo afectado por los pasivos ambientales de la mina Gavilán de Plata, Laraqueri – Puno.

### 2.3.2 Objetivos Específicos

1. Identificar en qué medida las características físico químicas del agua del río Loripongo, son afectados por los pasivos ambientales de la mina Gavilán de Plata, Laraqueri - Puno.
2. Determinar las incidencias de los pasivos ambientales en el índice de calidad del agua del río Loripongo, debido a la mina Gavilán de Plata, Laraqueri – Puno.
3. Verificar el grado de contaminación del río Loripongo que es afectado por los pasivos ambientales de la mina Gavilán de Plata, Laraqueri - Puno.

## 2.4 Hipótesis

### 2.4.1 Hipótesis General

La evaluación ambiental del índice de calidad del agua del río Loripongo, tiene un beneficio directo en los pasivos ambientales de la mina Gavilán de Plata – Laraqueri –Puno.

### 2.4.2 Hipótesis Específicas

1. Las características fisicoquímicas del agua del río Loripongo son afectadas directamente por los pasivos ambientales de la mina Gavilán de Plata – Laraqueri.
2. Los pasivos ambientales de la mina Gavilán de Plata determinan el índice de calidad del agua del río Loripongo - Laraqueri.
3. El grado de contaminación del río Loripongo, tiene incidencia de los pasivos ambientales de la mina Gavilán de Plata Laraqueri – Puno.

## 2.5 Justificación

Los pasivos ambientales mineros constituyen una de las principales fuentes de contaminación del recurso hídrico, por que exponen al ambiente los sulfuros y como resultado, estos producen drenaje ácido de mina (DAM). Estas aguas ácidas liberan los metales y metaloides como: plomo (Pb), cadmio (Cd), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc

(Zn), arsénico (As). Los cuales son transportados por cursos de aguas y pueden llegar hasta el hombre por medio de la bioacumulación en la cadena trófica.

También se generan aguas ácidas provenientes del drenaje ácido de roca (DAR).

Por lo que es de suma importancia realizar la evaluación del índice de calidad del agua del río Loripongo afectado por los pasivos ambientales de la mina Gavilán de Plata.

Los criterios tomados en cuenta para la evaluación de la calidad del agua son los valores de los parámetros físicos y químicos de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua, modificadas en el D.S. N°. 015 – 2015-MINAM, D.S. N°. 010 – 2010-MINAM, D.S. N°. 004 – 2017-MINAM.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Lugar de estudio

La zona de estudio mina Gavilán de Plata, políticamente está ubicada en el distrito de Pichacani, provincia de Puno y región de Puno.

Esta mina está clasificada según su escala de producción como pequeña minería y se ubica a una altitud de 4625 a 5187 “msnm”, es un yacimiento cuya mineralización está emplazada en forma de vetas, los minerales predominantes son: arsenopirita (FeAsS), galena (PbS), argentita (Ag<sub>2</sub>S), calcita (CaCO<sub>3</sub>) y otros.

##### 3.1.1 Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio es posible por vía terrestre la misma que se circunscribe a la carretera Puno – Moquegua.

Tabla 3  
*Vías de acceso a la zona de estudio*

TRAMO	DISTANCIA (Km)	CARRETERA
Puno – Laraqueri -(Jayu Jayu)	50	Asfaltado
Jayu Jayo – Mina Gavilán de Plata	4	Trocha

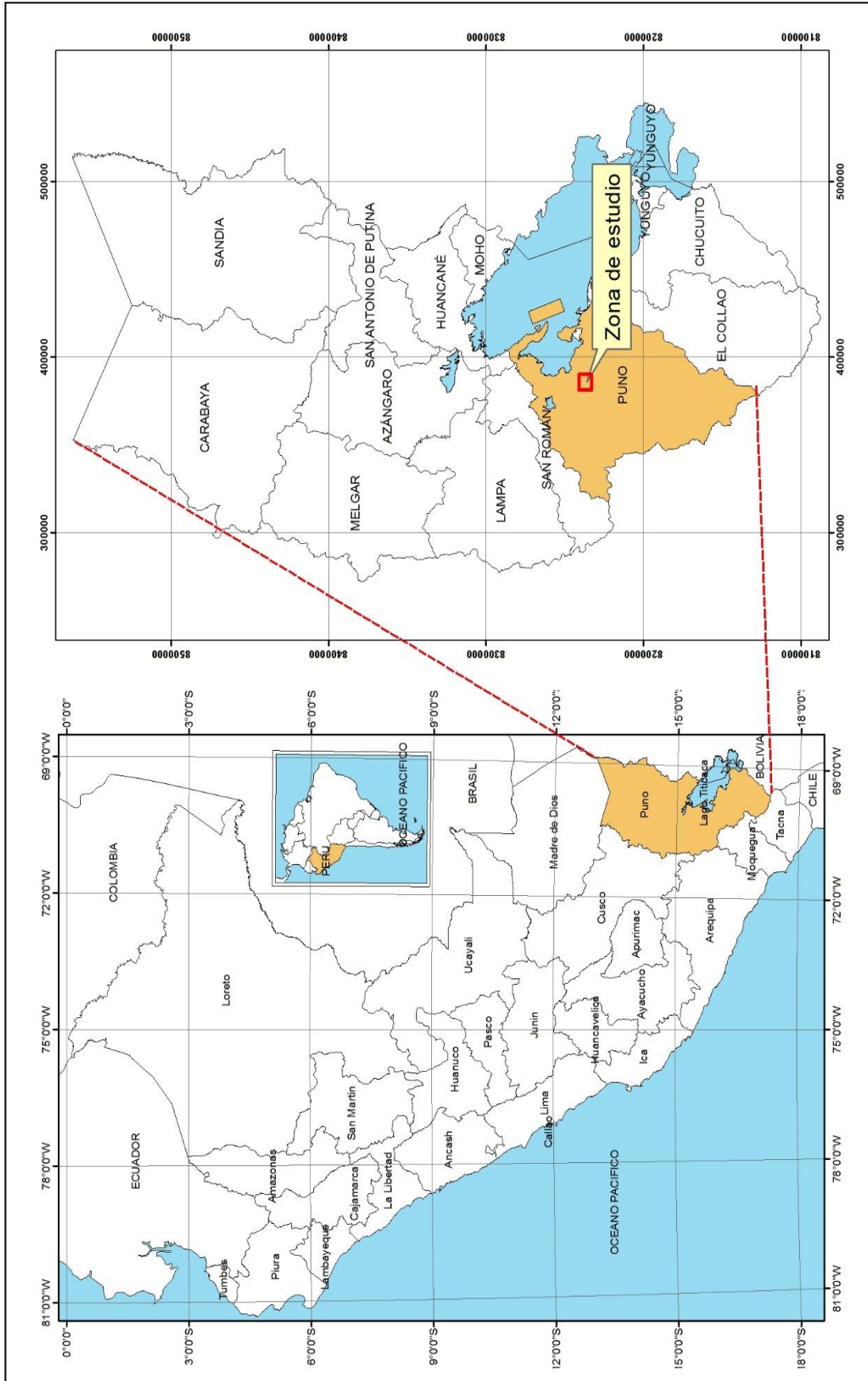


Figura 3. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

### **3.2 Litoestratigrafía de la zona de estudio**

En el área de estudio afloran rocas de diferente naturaleza y de amplio rango cronoestratigráfico; estos afloramientos tienen edades desde el Jurásico Superior, Cretácico, Paleógeno y Neógeno. En la zona existen afloramientos de rocas subvolcánicas, volcánicas, volcanosedimentarias, sedimentarias y metamórficas.

#### **3.2.1 Mesozoico**

##### **a) Jurásico superior Formación Labra**

Según, (Valencia, M. & Rosell, W 2001), esta formación está dividida en dos unidades litoestratigráficas. Una secuencia inferior compuesta por areniscas cuarzosas líticas interestratificadas con limoarcillitas y una segunda secuencia superior compuesta por areniscas cuarzosas blancas con laminación paralela.

En la zona de estudio esta unidad estratigráfica se encuentra en un plegamiento de tipo anticlinal, presenta litología de areniscas de color blanco con ciertas tonalidades rojizas, que cerca del yacimiento se encuentran débilmente silicificadas y cubierto por depósitos coluviales y morrénicos.

##### **b) Jurásico superior/inferior Formación Gramadal**

(Valencia, M. & Rosell, W 2001), describen a esta unidad con litología que contiene dos facies, una superior con calizas micríticas esparíticas masivas con niveles fosilíferos y otra inferior que circunscribe conglomerados polimícticos con clastos redondeados en matriz arcósica rojiza.

En la zona de estudio la unidad estratigráfica, solo se observa en los cortes que hacen los riachuelos, su litología está compuesta por calizas fracturadas con venillas milimétricas rellenas de calcita y pátinas oxidadas, los estratos tienen espesores mayores a 1 m, estas se intercalan con lutitas negras con potencias menores a 1m. La facie de conglomerado de esta unidad se encuentra alterado por propilitización y cloritización, como se puede observar en la quebrada Ventilla.



Figura 4. Afloramiento de roca sedimentaria que ocurre en la zona de estudio; caliza micrítica cortada por venillas de calcita.

### c) Cretácico inferior. Formación Hualhuani (Ki-hu)

Rodríguez *et al.*, (2000) describe una litología que consta de areniscas cuarzosas blancas de grano fino a medio sacaroidea, cuarcitas blancas con laminación sesgada y oblicua. Esta unidad forma cuerpos alargados con dirección noroeste - sureste entre el cerro Jayo Jayune, estos presentan cierta silicificación por los efectos hidrotermales.

Los estratos de cuarcita blanca de grano presentes en la zona de estudio tienen espesores que van de 2m hasta los 3m, se encuentran muy fracturados, dichas fracturas se encuentran rellenas de calcedonia con óxidos de Fe de manera puntual, este último producto de la lixiviación posiblemente de piritita u otros sulfuros.

### 3.2.2 Cenozoico

#### a) Paleógeno

**Oligoceno. Formación Pichu (P-pi).**- Evidenciado por primera vez por Marocco & Del Pino (1953), esta unidad stratigráfica aflora solamente en el sector suroeste de la región (cerro Huiru Huiru y cerro Hullaque).

En la zona de estudio la unidad estratigráfica se restringe al sector suroeste, el cual consta de rocas de origen volcanosedimentario retrabajados con colores grises y verdosos presentan clastos de 2-10 cm; con matriz cloritizada y cemento de carbonatos. También tiene presencia de niveles calcáreos y lutitas y volcanosedimentarios sin presencia de niveles calcáreos.

#### **b) Neógeno**

##### **Mioceno. Volcánico Caraycasa (PN-tc).**

Esta unidad estratigráfica pertenece al Grupo Tacaza, el cual fue descrito por primera vez por Jenks (1946) y publicado formalmente por Newell (1949) y subido a la categoría por Marocco y Del Pino (1966).

En la zona de estudio, está conformado por flujos de lavas andesíticas de color verde con textura afanítica. Andesitas basálticas de color gris con venillas de calcita. Brechas andesíticas monomítica con clastos de 0.5 cm a 20 cm con diseminación de pirita y marcasita, la cual esta cloritizada y presenta calcita. También se observan un dique de composición andesítica, con ocurrencia de magnetita que la diferencia de los demás flujos lávicos, algunas lavas andesíticas presentan fenocristales de plagioclasa. Las rocas andesíticas se encuentran cloritizadas y contienen venillas milimétricas que muestran también coloraciones rojizas con diferentes direcciones que van de 160° a 95°.

#### **c) Pleistoceno. Depósitos morrénicos (Q-mo)**

Formada por promontorios de origen glaciario, ubicados en las laderas de las montañas las cuales actualmente se encuentran disectados por pequeñas quebradas; no presentan estratificación, sus clastos están pobremente clasificados y tienen diferentes tamaños que llegan al tamaño de bloques muy dispersos. La matriz que soporta estos fragmentos son arenas guijarrosas o gravas arenosas, y en algunos casos llegan al tamaño de arcillas con colores gris amarillento.

#### **d) Holoceno. Depósitos aluviales en terrazas (Qh-alt)**

Esta unidad está restringida solamente en los bordes del río Loripongo y quebrada Ventilla, se caracterizan por presentar gravas, arenas y limos en terrazas que llegan a tener espesores de 0.5 m a 2.10 m. Se observan en dichos depósitos costras de



sulfatos y carbonatos adheridos a los cantos rodados, lo cual indica que las aguas cuando formaron estas terrazas se encontraban cargadas con iones los cuales llegaron a precipitar por saturación y adhesión. Estas terrazas tienen una capa A (orgánica) poco desarrollada con estratificación gradada, en la circunscripción del centro poblado Ventilla, son utilizados para pastoreo, dependiendo del grado de erosión que sufrieron estas terrazas.

#### **e) Holoceno. Depósitos aluviales recientes**

En el área se observan depósitos aluviales esparcidos y aledaños al cauce de los ríos y quebradas, en donde ocurren frecuentes inundaciones por las subidas del nivel del río en épocas de lluvia, también se observa precipitación de sulfatos y carbonatos mezclados con suelos de la capa A y organismos vegetales. Su litología comprende gravas, arenas, limos y arcillas, en algunos llegan a formar terrazas con espesores que llegan hasta los 50cm.

#### **f) Holoceno. Depósitos coluviales (Q-co)**

Se encuentran en las laderas de los cerros Jayo Jayune y Laramaque, aquí se observan depósitos coluviales con diferente tipo de litología, poco transportada, presenta generalmente bloques de rocas dispersos, junto a material no consolidado.

#### **g) Holoceno. Depósitos de bofedal (Q-bo)**

En el área de estudio se presentan junto a la ocurrencia de agua en el cual forman zonas hidromórficas con vegetación, el cual está relacionado a niveles freáticos surgentes. Esta vegetación se mantiene viva durante las estaciones del año, los cuales son aprovechados para pastoreo.

#### **h) Holoceno. Depósitos fluviales (Q-fl)**

Constituido predominantemente por cantos, gravas, guijarros y arenas ubicados en el lecho de los ríos y quebradas; estos fueron derivados a partir de la erosión de rocas en las nacientes de las cuencas, por su reabajamiento muestran formas redondeadas y alargadas. Parte de estos detritos también fueron originados a partir de depósitos glaciares y fluvioglaciares.



*Figura 5.* Depósitos aluviales en terrazas moderadamente erosionadas y depósitos fluviales, que muestran material retrabajado con formas redondeadas y con estratificación gradada.

### 3.3 Mineralización

La mineralización está constituida principalmente por minerales de plata, como argentita y galena argentífera y otros minerales que no son explotados como marcasita, calcopirita, arsenopirita. También se presentan minerales de óxidos Fe, como: goethita, limonita, y hematita; estos minerales se encuentran asociado a minerales de ganga. Los minerales de ganga están conformados por calcita principalmente, calcedonia, cuarzo, pirita, entre otros. La estructura principal vetiforme tiene un espesor de 0.1m hasta los 0.25m. Tiene un buzamiento de 71°NW y un rumbo N36°E.



Figura 6. Tipo de mineralización en la zona de estudio.

### 3.4 Alteraciones en rocas ocasionadas por hidrotermalismo

El área de alteración tiene una extensión superficial de 4.162 Km<sup>2</sup>, el cual se elonga con una orientación casi Norte Sur, ésta varía en cotas que van desde los 4075 y llegan a los 4550 “msnm”. (promedio de 475 metros de espesor), esta alteración afectó a rocas de origen volcánico y sedimentario. Las cotas más altas en donde se observa mejor la alteración argílica es en el cerro Jayo Jayune, sector Este del cerro Pacocollo y cúspide del cerro Cachicollo. La alteración propilitica se encuentra en cotas más bajas, como es el caso de la quebrada Ventilla en donde se puede observar diseminaciones de sulfuros asociados a la alteración propilítica.

#### 3.4.1 Argílica

La alteración argílica se presenta englobando a las estructuras mineralizadas y ocurre en rocas volcánicas explosivas, como tufos volcánicos. Los colores que se observan en este tipo de alteración son el blanco y que a veces llegan a tonalidades grises y amarillos, el mineral que predomina en esta alteración es la caolinita  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ , que forma grandes extensiones del área de alteración. Una característica de esta alteración es que presenta vetilleos con espesores que llegan a los 2cm y forman enmallados tipo stockwork en inmediaciones de las vetas



mineralizadas con sulfuros de plata; el relleno de estas vetillas son óxidos de hierro; hematitas y limonitas, producto de la lixiviación de sulfuros con contenidos de hierro.



*Figura 7.* Alteración de roca de tipo argílica, en inmediaciones de una estructura mineralizada con sulfuros de Plata.

### 3.4.2 Propilítica

La coloración de esta alteración, es de un típico color verde claro, esto por la presencia de aluminosilicatos tipo clorita  $(Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2(Mg,Fe)_3(OH)_6$ , además presenta diseminaciones y vetillas rellenas de calcita  $CaCO_3$ . En sectores esta alteración presenta una coloración rojiza por la oxidación de minerales sulfurados que contienen hierro. Espacialmente esta alteración se encuentra alejada o bordeando a la alteración argílica y se observa mejor en los cortes de las quebradas, como en el centro poblado de Ventilla.



*Figura 8.* Alteración de roca de tipo propilítica, con presencia de aluminosilicatos.

### 3.4.3 Clorítica

Esta alteración tiene ensamble característico de cuarzo- clorita, este se encuentra alrededor del yacimiento y es la última alteración horizontal. En la zona de diques basálticos se presenta como minerales de cuarzo, clorita y calcita en la zona volcánico –sedimentaria, se considera a la clorita como mineral que se forma en condiciones de pH neutro a levemente alcalino. En la roca volcánica de intensidad moderada-pervasiva, se presenta en la caliza oxidada cerca al dique. También en roca volcánica andesita brechada con clastos grandes y abundante clorita, epidota y calcita. Se encontró pirita diseminada y presenta alteración selectiva débil a moderada con clorita.

### 3.4.4 Oxidación

Este tipo de alteración tiene ensamble mineralógico esencialmente con óxidos de Fe, engloba la limonitización y hematización. Es el principal indicio de mineralización que existe en el cuerpo mineralizado de la zona de estudio, y está compuesto por óxidos de Fe y venillas de calcita, en una estructura brechada de roca volcánica de composición andesita, esta alteración presenta una coloración amarillo-anaranjado y va junto con la silicificación y argilización.





*Figura 9.* Alteración de roca de tipo óxido, con presencia de limonita.

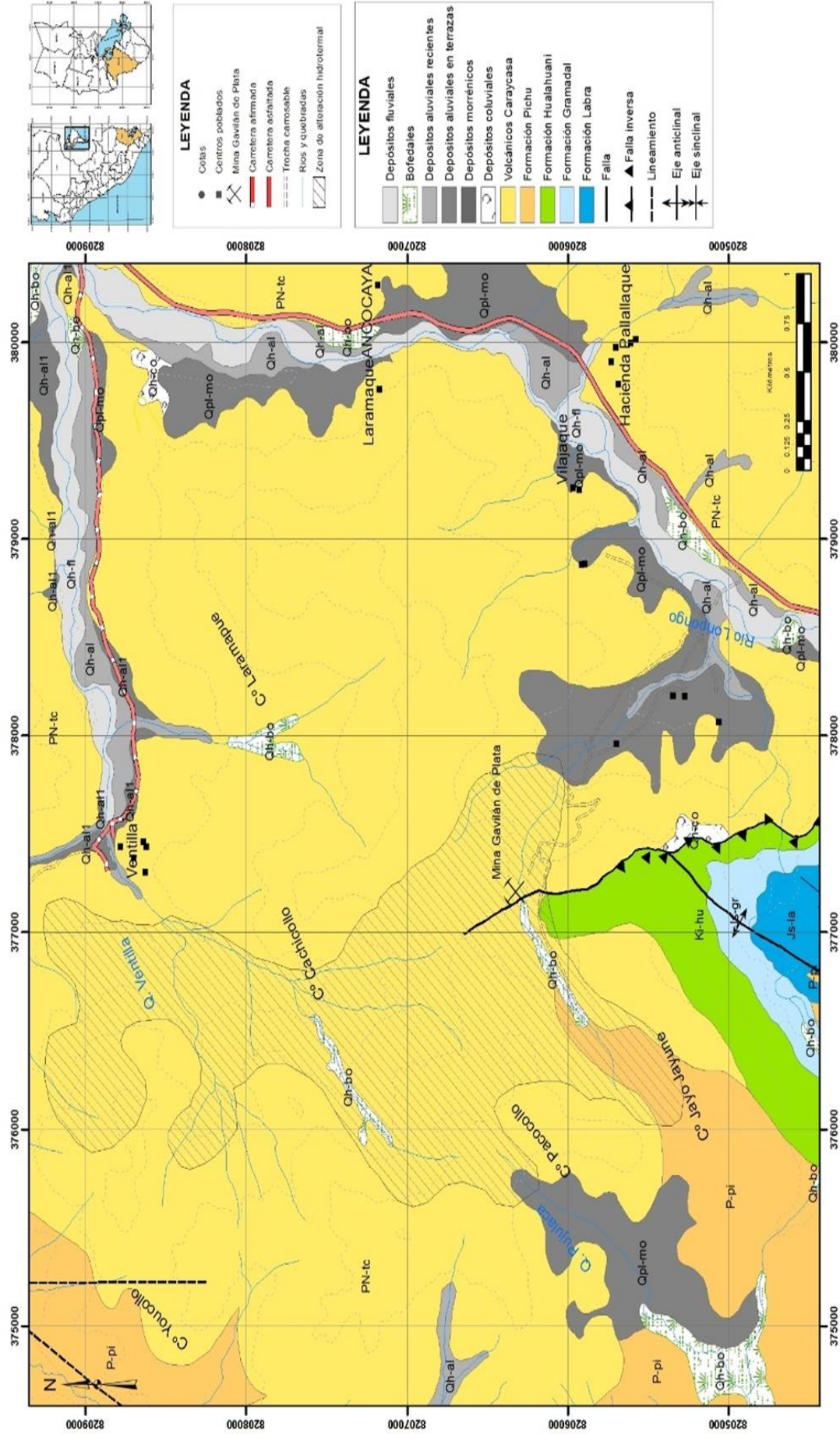


Figura 10. Plano Geológico



### 3.5 Geomorfología

La zona de estudio se encuentra en la gran unidad morfoestructural Cordillera Occidental, comprende frecuentemente áreas con elevaciones que sobrepasan los 5000 “msnm”. Esta cordillera tiene un ancho máximo en la región de 139 km y un ancho mínimo de 69 km, su orientación es NO-SE con una longitud de 333 km; alberga una notoria franja de conos volcánicos dispersos de edad Neógeno a Cuaternaria llamada Arco Volcánico Terciario (Neógeno), este vulcanismo es producto de la fusión de rocas que ocurren en la subducción de la Placa de Nazca con el Continente Sudamericano (Gonzales, 2015).

Los factores morfogenéticos que dieron origen al paisaje actual de la zona de estudio son:

- Factores volcanogenéticos
- Factores tectónicos
- Factores antrópicos
- Factores hidroclimáticos

#### 3.5.1 Montaña de lavas volcánicas erosionadas

Tienen una conspicua agrupación de morfoestructuras volcánicas ubicadas en los sectores, Noreste de la zona de estudio, compuesta por los cerros Youcollo, Laramaque y Cachicollo, todos se encuentran compuestas por flujos lávicos de composición andesítica, tufos volcánicos, andesitas porfiríticas, brechas volcánicas y tobas soldadas. La degradación de esta unidad geomorfológica está de acuerdo al tipo de litología que componen las geoformas, tiene pendientes que fluctúan de los 20% hasta 50%, las altitudes que alcanzan estas unidades sobrepasan los 4350 “msnm”.

#### 3.5.2 Montaña estructural metamórfica- sedimentaria

Esta unidad geomorfológica tiene una orientación NO-SE, está restringida al sur de la zona de estudio y se ubica en el cerro Jayo Jayune. Se encuentra conformada por calizas, gris oscuras de grano fino, areniscas cuarzosas gris blanquecinas, intercaladas con areniscas calcáreas y volcanosedimentarias. Tienen pendientes que se encuentran entre los 25% hasta los 75%, sus altitudes llegan hasta los 5000 “msnm”. La erosión en esta unidad geomorfológica es de tipo diferencial, ya que

los afloramientos alterados por silicificación son muy compactos y resistentes a la meteorización.

### **3.5.3 Laderas depositacionales de origen glaciar**

Conformada por clastos de origen volcánico que fueron erosionados por la actividad glaciar de edad Cuaternaria-Pleistoceno; estos depósitos se encuentran generalmente en las laderas de montaña. Las geoformas descritas están esparcidas dentro de la zona de estudio, muestra una estratificación incipiente con clastos de rocas angulosas de diferentes tamaños, el cual alcanza hasta los 3m de espesor, son áreas altamente erosionadas, presentan surcos o pequeñas quebradas que las cortan, esto por la poca resistencia a la meteorización, sus pendientes oscilan entre los 4% hasta 50%.

### **3.5.4 Terraza aluvial**

Conformada por depósitos de edad cuaternaria de origen aluvial; consta de intercalaciones de estratos de cantos, gravas, limos y arcillas, algunos de estos restringidos al lecho del río. En la zona de estudio estas geoformas están restringidas en la quebrada Ventilla y río Loripongo, estos sectores tienen pendientes casi subhorizontales de 0 a 4%, están ubicadas en altitudes que oscilan entre 4000 hasta menos de los 4050 “msnm”. Las terrazas relacionadas a esta unidad son dos una antigua que tiene un espesor de 2m y se encuentra muy erosionada entre la trocha carrozable que va a centro poblado de Ventilla. La otra terraza tiene menos espesor y está compuesta solamente gravas y arenas.

### **3.5.5 Río, lecho fluidal**

Unidad geomorfológica que está circunscrita por vertimientos entre el río Loripongo y quebrada Ventilla, está compuesta por gravas, arenas y limos; de edad actual. Tienen pendientes de 0-4% y cortan depósitos y afloramiento de rocas de diversos orígenes; sus altitudes van desde los 4000 hasta los 4050 “msnm”.



*Figura 11.* Vista de valles en forma de “V”.



*Figura 12.* Vista de valles en forma de “U”.

## 3.6 Información climatológica

### 3.6.1 Precipitación

Estación de Laraqueri

Latitud 16° 09' 16.09" Longitud 70° 03' 59.7"

Altitud: 3900 "msnm".



Tabla 4

*Precipitación total mensual en (mm)*

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2016	96.0	187.7	23.1	87.9	0.0	3.0	9.0	5.5	0.0	53.5	23.3	64.3	553.3
2017	271.4	169.1	122.2	37.2	10.5	0.0	10.6	0.0	32.4	54.8	14.2	85.2	807.6
2018	141.5	213.2	73.5	50.7	6.7	28.9	30.3	0.0	3.2	66.7	48.6	108.0	771.3
2019	158.8	177.6	62.5	43.0	18.4	8.7	2.5	0.0	0.0				471.5

Fuente: SENAMHI - Puno 2019

En la Estación de Laraqueri se puede observar que la precipitación mensual es variable durante todo el año, siendo el año 2017 donde se produjo la mayor precipitación, con 807.6 mm, precipitación total anual. El mes de más alta precipitación es enero con 271.4 mm del año 2017 y la precipitación más baja se presenta en el mes de julio con 2.5 mm, del año 2019.

### 3.1.1. Evaporación

Estación de Laraqueri

Latitud 16° 09' 16.09" Longitud 70° 03' 59.7"

Altitud: 3900 "msnm".

Tabla 5  
*Promedio mensual de evaporación (mm).*

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2016	4.7	3.9	4.4	3.7	3.7	3.6	3.6	3.8	4.5	4.6	4.8	4.7	4.17
2017	3.3	4.4	3.2	3.2	3.4	3.3	3.1	4.3	3.9	4.4	5.4	4.5	3.87
2018	3.5	3.3	3.1	3.2	3.7	2.9	3.0	3.4	4.2	4.2	5.4	4.8	3.73
2019	3.7	3.4	3.5	2.8	3.4	3.1	3.4	4.0					3.41

Fuente: SENAMHI - Puno 2019

Se observa que los valores de evaporación promedio mensual más baja se presenta en el mes de abril del año 2019 con 2.8 mm, la más alta se presenta en el mes de noviembre del 2018 con 5.4 mm.

### 3.1.2. Temperatura

Estación de Laraqueri

Latitud 16° 09' 16.09" Longitud 70° 03' 59.7"

Altitud: 3900 "msnm".

Tabla 6  
*Promedio mensual Temperatura máxima en °C.*

<b>AÑOS</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>PROM</b>
2016	19.4	17.2	19.1	17.5	17.8	16.5	16.5	17.5	18.8	18.5	19.5	19.4	18.14
2017	15.4	17.1	15.2	16.4	16.5	16.4	16.3	18.0	17.0	18.9	20.1	18.4	17.14
2018	16.5	15.8	16.0	17.3	16.6	14.6	14.9	15.9	18.1	17.8	20.0	18.6	16.84
2019	17.0	16.4	17.2	16.9	17.3	16.6	16.3	17.4					16.89

FUENTE: SENAMHI - Puno 2019

Se observa que la temperatura promedio mensual más alta es 20.1 °C, y se presenta en el mes de noviembre del 2017, y la más baja promedio mensual se presenta en el mes de junio con 14.6 °C, del 2018.

Tabla 7  
*Promedio mensual Temperatura mínima en °C.*

<b>AÑOS</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>PROM</b>
2016	1.9	4.4	-0.5	-1.2	-7.7	-9.5	-8.3	-8.3	-5.9	-1.1	-0.2	2.3	-2.84
2017	3.7	3.3	3.5	-0.4	-2.8	-7.5	-8.3	-7.8	-1.8	-1.8	0.1	1.9	-1.49
2018	3.2	3.7	2.7	-2.7	-6.7	-6.2	-5.8	-6.3	-6.0	0.8	1.8	2.0	-1.63
2019	3.8	3.8	1.6	0.0	-5.0	-8.1	-8.8	-8.8					-2.69

Fuente: SENAMHI - Puno 2019

Se observa que el promedio de la temperatura mensual mínima más baja es -9.5°C, en el mes de junio del 2016.

### 3.1.3. Humedad Relativa

Estación de Laraqueri

Latitud 16° 09' 16.09" Longitud 70° 03' 59.7"

Altitud: 3900 “m snm”.

Tabla 8

*Promedio mensual humedad relativa (%)*





AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2015	74	75	74	77	57	64	55	50	47	51	57	53	61.17
2016	58	73	73	76	54	54	56	50	48	50	54	54	58.33
2017	73	69	76	65	57	58	56	49	59	48	45	60	59.58
2018	70	75	75	67	60	61	59	49	43	55	46	55	59.58

Fuente: SENAMHI - Puno 2019





Se observa que la humedad relativa promedio mensual más baja se presenta en el mes de noviembre con 45% del 2017, la más alta se presenta en el mes de marzo con 76% del 2017.





**3.2. Flora de la zona**

En la zona de estudio se determinó una variedad de flora que a continuación se detalla:





MUESTRA	NORTE	ESTE	NOMBRE	IMAGEN
F0 -2	8206074	376762	<i>Stipa mucronata</i>	
F0 - 4	8206079	376754	<i>Hidrocotile sp</i>	
F0 -6 F0 -12 F0 -11	8206133 820684 8206230	376859 377304 377035	<i>Bacharis tricuneate</i> "tola"	
F0 - 9	8206226	376959	<i>Festuca sp</i>	



F1 - 1	8205584	375255	<i>Alchemilla pinnate</i> "sillo-sillo"	
F1 -4 F4-2	8205775	365683	<i>Astragalus garbancillo</i> "Mecha mecha"	
F2 -01	8206045	376754	<i>Grindelia beliviane</i>	
F2 -1 F1 - 6	8205592 8296044	375292 376722	<i>Stipe ichu</i> "ichu"	

F2 -05	8206042	376701	<i>Stipa mucronata</i>	
F2 -07	8206029	376724	<i>alcheanillep innate</i>	
F2 -08	8206120	376835	<i>Becctaus tricuneate</i>	
F2 -11	8206236	376965	<i>Margiricarpus pinnatus</i>	



F2 - 12	8206236	376965	<i>Adesmia spinosissima</i> "Aya conlli"	
F2-14	8206271	377180	<i>Stipa obtuse</i>	
F2 -15	8206266	377202	<i>Stipa sp</i>	
F3 -1	8205633		<i>Muhlenbergia peruviana</i> "Chije pasto"	



<p>F4 -4</p>	<p>8207717</p>		<p><i>Margiricarpus pinnatus</i></p>	
<p>F5 -5 F5 -6</p>	<p>8206087 8206087</p>		<p><i>Musgo</i></p>	

### 3.7 Niveles de contaminación del agua

Para determinar la presencia de elementos y metales pesados en aguas del río Loripongo, se hizo necesario realizar el análisis químico de las muestras y mediciones de los parámetros físicos y químicos en los diferentes puntos de muestreo, para así poder determinar el nivel de contaminación en toda la zona de influencia.

Para el presente trabajo de investigación se hizo un mapa de diseño de muestreo el cual abarca toda la zona de alteración hidrotermal y áreas circundantes que puedan ser afectadas por el drenaje ácido de mina (DAM) y aguas ácidas provenientes del drenaje ácido de roca (DAR), esto por la presencia de minerales sulfurados en las rocas que afloran y alteraciones que se presentan. Este diseño de muestreo contó con 39 puntos que fueron espaciados aproximadamente a 500 m, entre muestra y muestra, el espaciamiento se hizo para controlar los parámetros físicos y químicos, los cuales se realizó con tres equipos de campo, multiparámetros marca HANNA 2859 con 15 parámetros, HORIBA-U22 con 8 parámetros y HANNA COMBO con 4 parámetros, para controlar la calidad de agua insitu y a su vez la calidad de toma de datos.



*Figura 13.* Calibración y utilización de equipo HANNA 2859 en la zona de estudio, mina Gavilán de Plata.

Para el análisis químico se enviaron 9 muestras codificadas (JAY-1, JAY-2, JAY-3, JAY-4, JAY-5, JAY-6, JAY-7, JAY-8 y JAY-9), a los laboratorios de CERPER Certificación del Perú S.A. a su sede ubicada en la ciudad de Arequipa. El método de análisis químico fue ICP MS y se determinaron 35 elementos. Para el control de calidad del análisis químico del laboratorio se envió una muestra (JAY-09) estándar y/o blanca (agua ultra pura o destilada). Estas muestras de control de calidad miden la exactitud y la contaminación, la cual es aplicada por primera vez en este tipo de estudio.

### **3.7.1 Ubicación puntos de muestreo en el área de estudio**

Los puntos de muestreo en el área de estudio fueron determinados según los términos de referencia de la Dirección General de Asuntos Ambientales Ministerio de Energía y Minas (DGAA-MEM), dichos puntos de muestreo se adjuntan en la:

Tabla 9  
*Ubicación de Puntos de Muestreo*

MUESTRAS	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS	
		NORTE	ESTE
M1 - JAY 1		8206280	377195
M2 - JAY 2		8207820	376787
M3 - JAY 3		8206277	377245
M4 - JAY 4		8208976	378132
M5 - JAY 5		8206262	377295
M6 - JAY 6		8209124	380540
M7 - JAY 7		8206078	377723
M8 - JAY 8		8205075	378748
M9 - JAY 9	Muestra estándar		

Nota: También se tomó mediciones in situ, parámetros físicos químicos en diferentes puntos de muestreo.

### 3.8 Muestra

#### 3.8.1 Muestreo de aguas

Se realizó con bastante cuidado teniendo presente el protocolo correspondiente, evitando toda contaminación accidental, transporte adecuado y conservación en condiciones óptimas.

El muestreo se realizó en zonas de máximo caudal de agua, evitando la remoción de sedimentos. La toma de muestras se realizó en recipientes de vidrio, lavados previamente en el laboratorio con ácido nítrico al 1% de acuerdo al protocolo.

Las muestras se trasladaron en un recipiente de Tecnopor a la temperatura apropiada, con el objeto de evitar alteraciones químicas hasta su respectivo análisis; a todas las muestras se adicionó ácido nítrico al 1% para evitar el intercambio de iones y precipitación de hidróxidos, luego las muestras fueron trasladados a los laboratorios CERPER Certificaciones del Perú S.A.



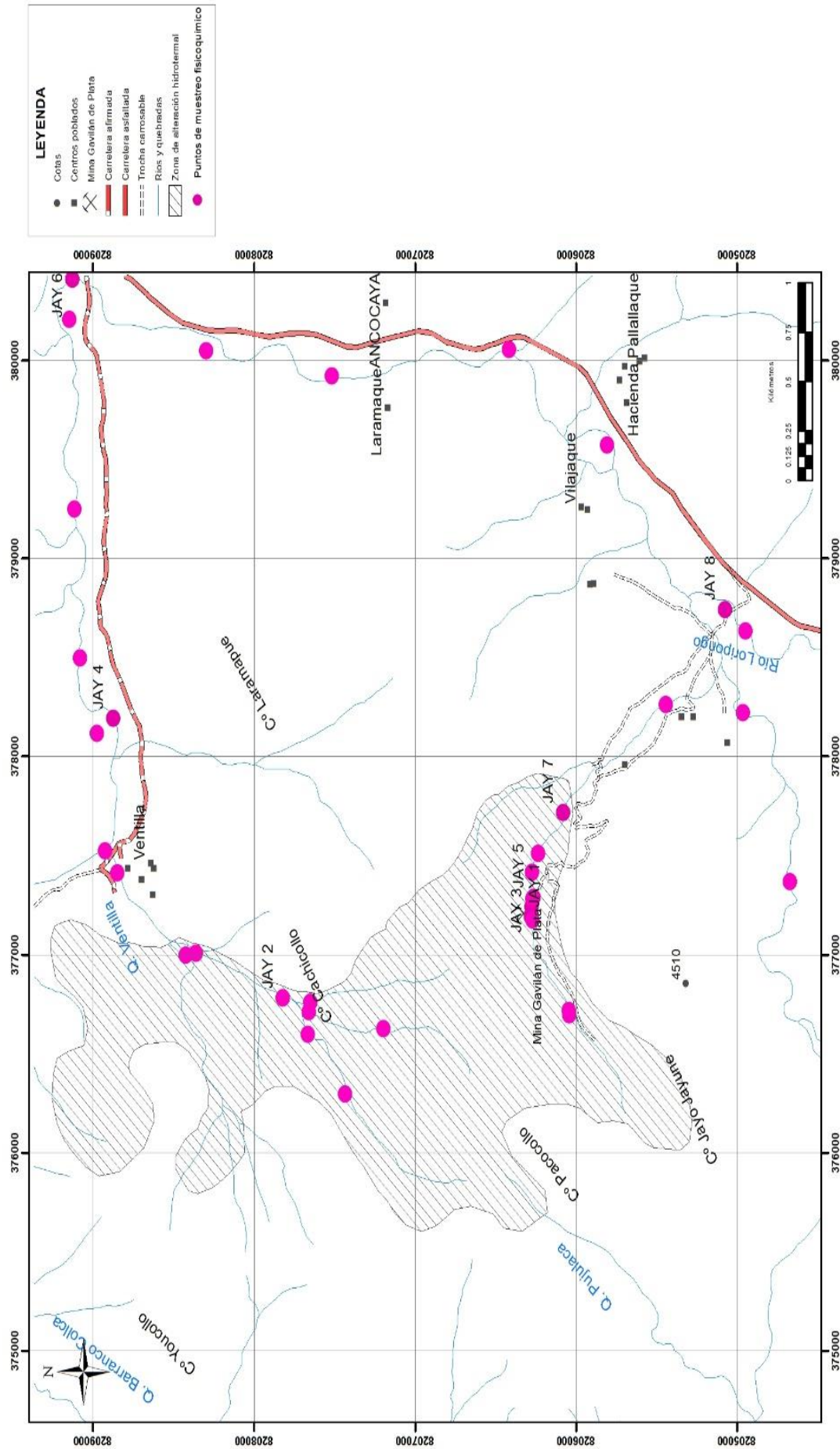


Figura 14. Plano de Muestreo, Parámetros Físico Químicos

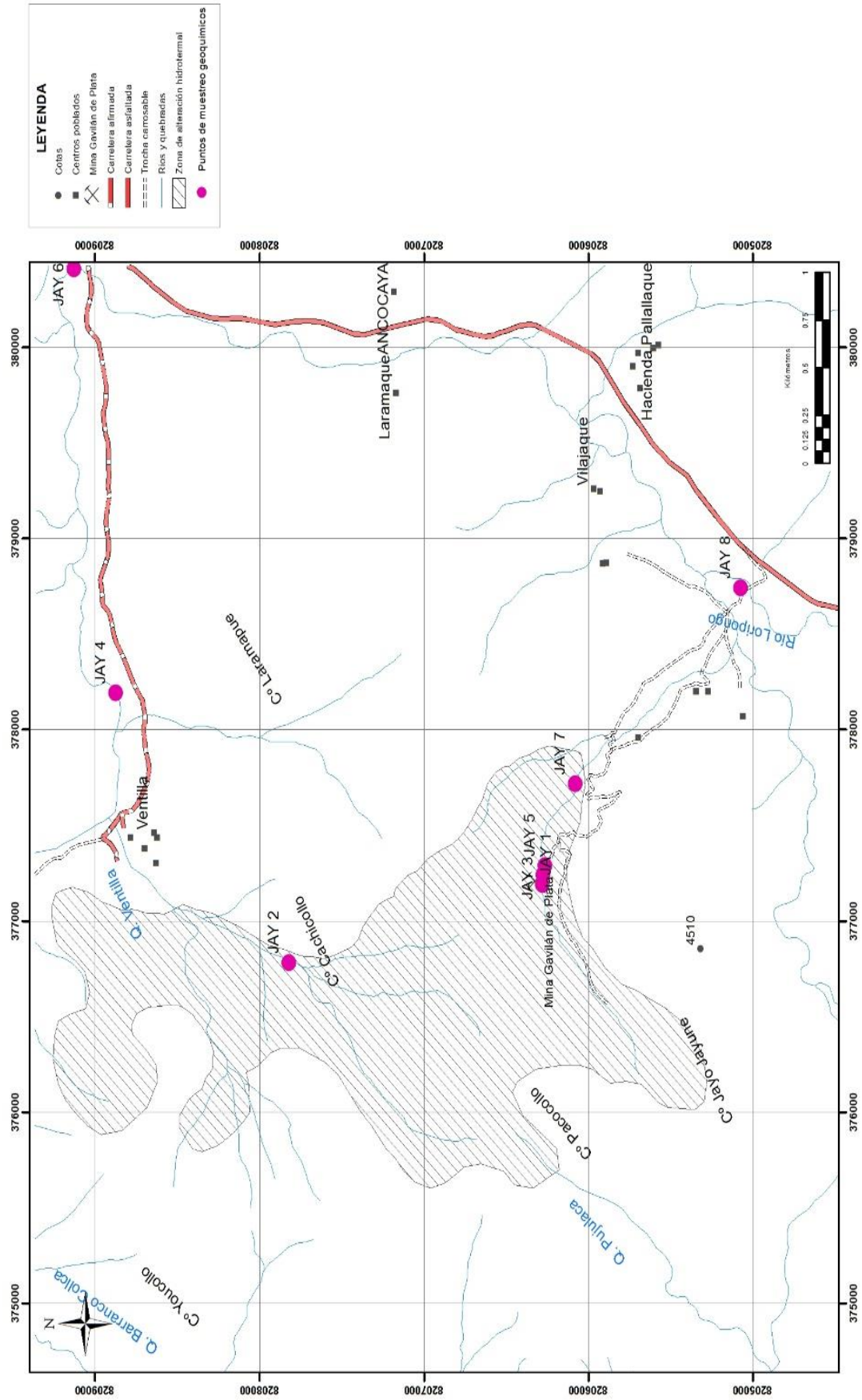


Figura 15. Plano de Muestreo, Análisis Químico

### 3.9 Métodos

La investigación se basa en un enfoque cuantitativo debido a que se determinó la incidencia de los pasivos ambientales en el índice de calidad del agua, es de tipo descriptivo y experimental, que consistió en la determinación de metales pesados y los parámetros fisicoquímicos que influyen en el proceso de contaminación del río Loripongo. Para la identificación y evaluación de impactos, se hizo necesario estudiar previamente las particularidades del medio ambiente, donde se desarrolló la actividad de cada uno de sus componentes, así como, identificar las acciones derivadas del mismo, capaces de producir contaminación y que sean medibles cualitativamente y cuantitativamente.

Adicionalmente se considera que la investigación es de diseño experimental y de tipo transeccional o transversal ya que la información es recolectada en un tiempo único con el propósito de describir los variables a estudiar y analizar su presencia, incidencia e interrelación en un momento dado.

#### 3.9.1 Descripción de métodos por objetivos

Para tomar los criterios de evaluación del riesgo ambiental del índice de calidad del agua del río Loripongo, debido a los pasivos ambientales de la mina Gavilán de Plata, Laraqueri – Puno, se ha tomado en cuenta los ECAS para el agua, con los que se ha efectuado las comparaciones y evaluaciones correspondientes.

#### 3.9.2 Mediciones Insitu

En el presente trabajo de investigación algunas mediciones se han realizado simultáneamente a la toma de muestras para que los resultados tengan una evaluación de la naturaleza real de la muestra. Los parámetros físico-químicos que se han determinado in situ son: conductividad, turbidez, total de sólidos disueltos, salinidad, demanda de oxígeno y pH (Carranza, 2001).

#### 3.9.3 pH

El pH del agua, que indica el comportamiento ácido o básico de la misma, es una propiedad de carácter químico de vital importancia para el desarrollo de la vida acuática. Tiene influencia sobre determinados procesos químicos y biológicos, la naturaleza de las especies iónicas que se encuentran en su seno, el potencial redox

del agua (Chincheros, 2009).

El pH es una de las pruebas más comunes para conocer parte de la calidad del agua. El pH indica la acidez o alcalinidad, en este caso de un líquido como es el agua, pero es en realidad una medida de la actividad del potencial de iones de hidrógeno ( $H^+$ ). Las mediciones de pH se ejecutan en una escala de 0 a 14, con 7.0 considerado neutro. Las soluciones con un pH inferior a 7.0 se consideran ácidos. Las soluciones con un pH por encima de 7.0, hasta 14.0 se consideran bases o alcalinos. Todos los organismos están sujetos a la cantidad de acidez del agua y funcionan mejor dentro de un rango determinado. (DIRESA, 2011)

#### **3.9.4 Conductividad**

Es una medida de la resistencia que opone el agua al paso de la corriente eléctrica entre dos electrodos impolarizables sumergidos en la misma. La conductividad del agua da una buena apreciación de la concentración de los iones disueltos en disolución y una conductividad elevada se traduce en una salinidad elevada o en valores anómalos de pH, la unidad empleada es el Siemen (S), inverso al Ohmio: aguas muy mineralizadas en mS y aguas poco mineralizadas en S. se mide en celdas de un cm de espesor, expresándose por lo tanto en mS/cm y S/cm. (Chincheros, 2009).

En nuestro caso se ha utilizado un multiparámetro marca Hanna Instruments.

#### **3.9.5 Turbidez**

Se entiende por turbidez o turbiedad a la medida del grado de transparencia que pierde el agua o algún otro líquido incoloro, por la presencia de partículas en suspensión. Cuanto mayor sea la cantidad de sólidos suspendidos en el líquido, mayor será el grado de turbidez. En potabilización del agua y tratamiento de aguas residuales, la turbidez es considerada como un buen parámetro para determinar la calidad del agua, a mayor turbidez menor calidad (DIRESA, 2011)

La turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de turbidez, o Nephelometric Turbidity Unit (NTU).

El instrumento usado para su medida es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua.

### **3.9.6 Demanda química de oxígeno**

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro ( $\text{mg O}_2/\text{l}$ ).

### **3.9.7 Total de sólidos disueltos**

El Total de Sólidos Disueltos (TDS) es una medida de las sustancias orgánicas e inorgánicas, en forma molecular, ionizada o micro-granular, que contienen los líquidos, en nuestro caso, el agua.

Los TDS (Total dissolved solids) son la suma de los minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua. Esto incluye cualquier elemento presente en el agua que no sea ( $\text{H}_2\text{O}$ ) molécula de agua pura y sólidos en suspensión, Partes por millón (ppm) es la relación peso-a-peso de cualquier ion al agua.

### **3.9.8 Oxígeno disuelto en el agua**

El análisis de oxígeno disuelto mide la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto ( $\text{O}_2$ ) en una solución acuosa. El oxígeno se introduce en el agua mediante difusión desde el aire que rodea la mezcla, por aeración (movimiento rápido) y como un producto de desecho de la fotosíntesis.

La medida de  $\text{O}_2$  se expresa en porcentaje de saturación (%) o en  $\text{mg/l}$ . El ajuste y calibración se realiza en % DO y si lo desea, también en  $\text{mg/l}$ .

### **3.9.9 Determinación de los metales pesados**

En el presente trabajo de investigación para la determinación de los metales pesados se ha usado el método: Metales Totales por ICP – MS: ISO 17294-2-2016. Water quality- Application of inductively coupled plasma mass



spectrometry (ICP- MS)- Part 2: Determination of selected elements including uranium isotopes, (CERPER, Certificaciones del Perú - Arequipa).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Características fisicoquímicas del agua del río Loripongo

En el área de estudio se establecieron 39 puntos de muestreos, en los cuales se determinaron los valores fisicoquímicos, en base a un mapa de diseño de muestreo que abarca la zona de alteración hidrotermal, áreas circundantes que puedan ser afectadas por el drenaje ácido de mina (DAM) y drenaje ácido de roca (DAR), esto por la presencia de minerales sulfurados que afloran en las rocas.

##### 4.1.1 Medidas estadísticas descriptivas

Para esta investigación, se tomaron 8 parámetros: acidez o alcalinidad (pH), potencial de óxido reducción (ORP), demanda de oxígeno (DO), conductividad eléctrica (CE), total de sólidos en suspensión (TDS), salinidad (PSU), turbidez (FNV) y temperatura. El análisis estadístico de los parámetros se observa en la tabla 10.

Tabla 10  
*Medidas estadísticas descriptivas*

Variable	N	Mínimo	Máximo	Suma	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
<b>pH</b>	39	7.7	9.864	334.778	8.584	0.814	9.483
<b>ORP</b>	39	35	184.3	5029.8	128.97	48.82	37.854
<b>DO</b>	39	2.39	7.72	208.61	5.349	1.054	19.705
<b>CE</b>	39	298	838	18701	479.5	174.1	36.309
<b>TDS</b>	39	0.172	0.53	10.66	0.2733	0.1019	37.285
<b>PSU</b>	39	0.002	0.42	5.162	0.1324	0.1314	99.245
<b>FNV</b>	39	0	38	472.3	12.11	12.56	103.716
<b>Temperatura</b>	39	8.2	18	474.31	12.162	2.776	22.825

#### 4.1.2 Análisis de varianza

El análisis de varianza (ANOVA) mide la variabilidad de los datos que puede obtener uno al hacer un experimento, en nuestro caso se tomaron los valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos con tres equipos diferentes, los puntos de muestreo fueron ploteados espacialmente al azar. Estos equipos son:

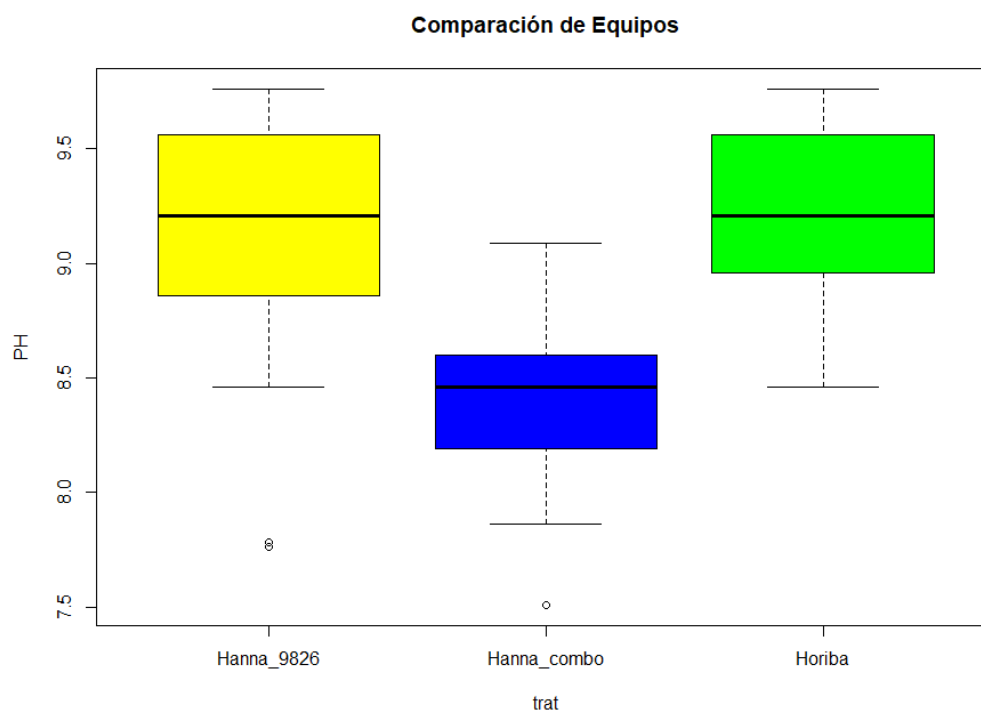
- HANNA 2859 con 15 parámetros
- HANNA COMBO con 4 parámetros
- HORIBA U22 con 8 parámetros

La diferencia del número de parámetros de datos fisicoquímicos, en los tres equipos hizo que el análisis ANOVA se restrinja a solo los parámetros del equipo HANNA COMBO (pH, TDS, CE y Temperatura), esto, para la comparación de datos obtenidos en campo. Esta comparación de datos se hizo inicialmente para la conformación de tres equipos de trabajo, los cuales tenían que cubrir la zona de estudio con tres instrumentos distintos, y así obtener datos fisicoquímicos confiables, en cada punto de muestreo. En la tabla siguiente se muestra los datos obtenidos:

Tabla 11  
*Variables para análisis de varianza-ANOVA*

Equipo	pH	CE	T°	TDS
Hanna_9826	7.78	392	12.60	0.28
Hanna_9826	7.76	379	9.60	0.25
Hanna_9826	9.56	567	10.3	0.36
Hanna_9826	9.76	354	10.9	0.23
Hanna_9826	9.76	359	11.8	0.23
Hanna_9826	9.56	363	11.4	0.24
Hanna_9826	9.46	360	13.6	0.24
Hanna_9826	9.36	352	9.6	0.23
Hanna_9826	9.16	380	12.4	0.25
Hanna_9826	9.26	317	8.6	0.2
Hanna_9826	8.96	437	8.4	0.28
Hanna_9826	9.06	367	10	0.24
Hanna_9826	8.46	336	8.2	0.21
Hanna_9826	8.86	298	15.2	0.18
Hanna_combo	8.60	380	12.0	0.18
Hanna_combo	8.24	390	12.0	0.147
Hanna_combo	7.86	600	10.2	0.31
Hanna_combo	8.44	360	11.1	0.18
Hanna_combo	8.89	370	11.9	0.18
Hanna_combo	8.69	350	11.7	0.18
Hanna_combo	9.09	370	14.3	0.18
Hanna_combo	8.53	350	9.6	0.17
Hanna_combo	8.19	380	12.1	0.19
Hanna_combo	8.48	310	8.9	0.16
Hanna_combo	7.51	440	8.3	0.22
Hanna_combo	8.44	370	10.2	0.18
Hanna_combo	8.50	330	8.9	0.16
Hanna_combo	8.15	270	16.5	0.13
Horiba	8.56	394	13.9	0.12
Horiba	9.06	380	16.2	0.205
Horiba	9.56	577	15.9	0.186
Horiba	9.76	344	15.7	0.25
Horiba	9.76	364	14.9	0.3
Horiba	9.56	352	15.3	0.32
Horiba	9.46	360	13.4	0.286
Horiba	9.36	341	16.4	0.29
Horiba	9.16	380	14.5	0.26
Horiba	9.26	326	17.0	0.32
Horiba	8.96	448	16.9	0.26
Horiba	9.06	378	16.3	0.24
Horiba	8.46	347	17.7	0.168
Horiba	8.86	309	12.4	0.145

Luego del análisis ANOVA se obtuvo una diferencia altamente significativa ( $p \leq 0,01$ ) entre los equipos que se han usado para la variable pH con CV. = 5.63%, el cual representa la confiabilidad, y para interpretar mejor, se realiza la prueba de comparación de promedios, usando la prueba Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



*Figura 16.* Comparación de datos fisicoquímicos parámetro pH, entre los tres instrumentos.

Se puede afirmar que no existe diferencia entre los equipos Horiba y Hanna\_9826 por ser similares en los promedios; sin embargo, los dos primeros equipos son diferentes al equipo Hanna\_combo, lo cual demuestra que los dos primeros equipos pueden ser usados en diferentes sectores por presentar mejor recolección de información.

Para variable de conductividad eléctrica (CE) según análisis ANOVA se encontró que no existe diferencia entre los equipos, por lo que no es necesario realizar la comparación de promedios, significa que los tres equipos demuestran similitud en la recopilación de datos.

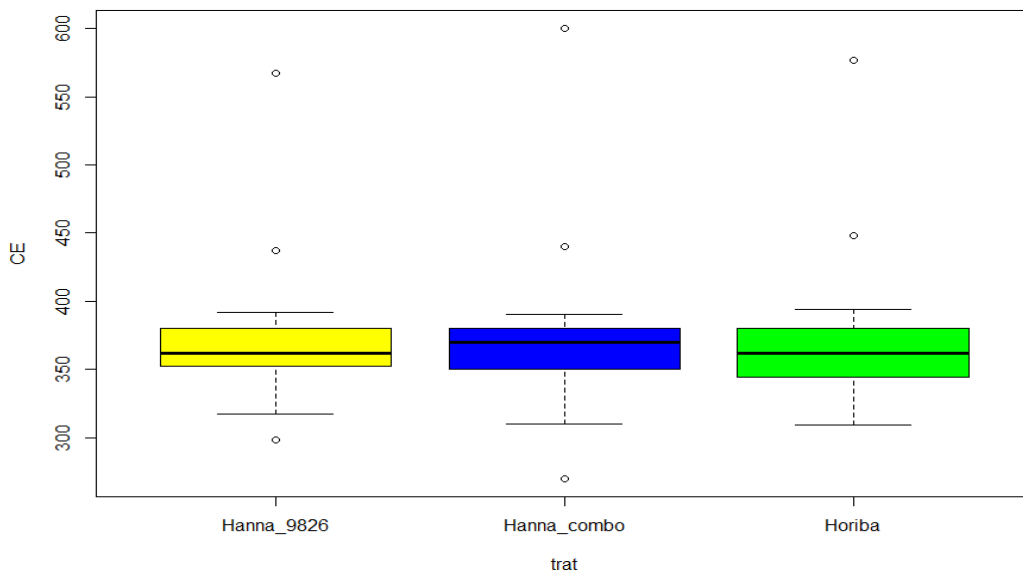


Figura 17. Comparación de datos fisicoquímicos parámetro CE, entre los tres instrumentos.

En la variable temperatura se observa que  $p=0,001 \leq \alpha=0,01$ , entonces existe diferencia altamente significativa entre los equipos utilizados con un CV. = 15.56% que es menor a 30%, por lo tanto se considera confiable en análisis de varianza. Para una mejor interpretación, se realizó la prueba de comparación de promedios de Tukey, en el cual se demuestra que existe diferencia entre los equipos como prioridad el equipo Horiba que es diferente a los equipos Hanna\_Combo y Hanna\_9826; por lo que, se puede afirmar que el mejor equipo para medir la temperatura es el equipo Horiba.

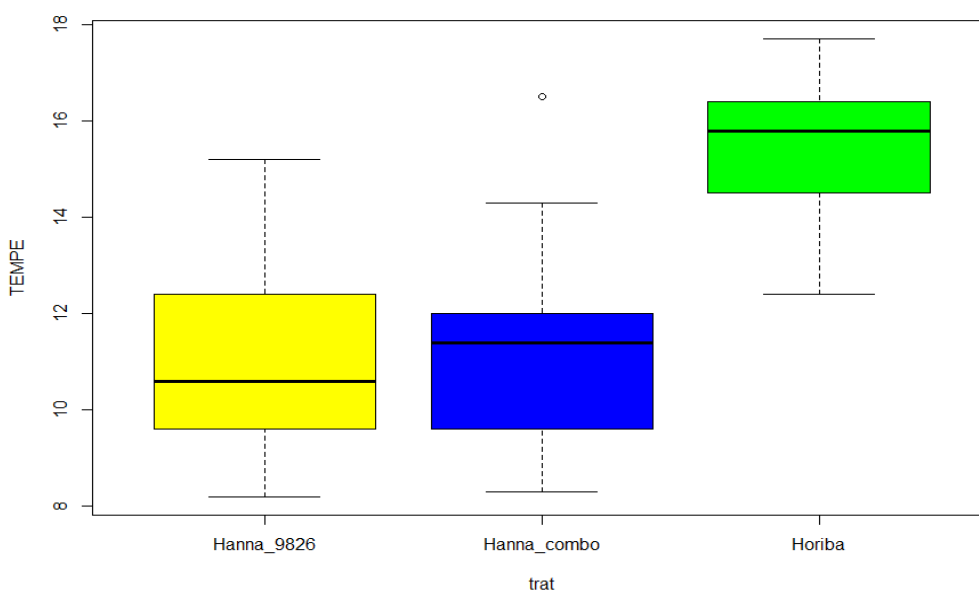


Figura 18. Comparación de datos fisicoquímicos parámetro T°, entre los tres instrumentos.



En la variable total de sólidos en suspensión (TDS), existe diferencia altamente significativo  $p=0,005 \leq \alpha=0,01$ , entre los equipos utilizados, para lo cual se debe realizar la prueba de comparación de promedios para una mejor interpretación de los resultados. En la prueba de comparación se afirma que existe diferencia entre los equipos, demostrando que los dos equipos Hanna\_9826 y Horiba son similares y es diferente al equipo Hanna\_combo.

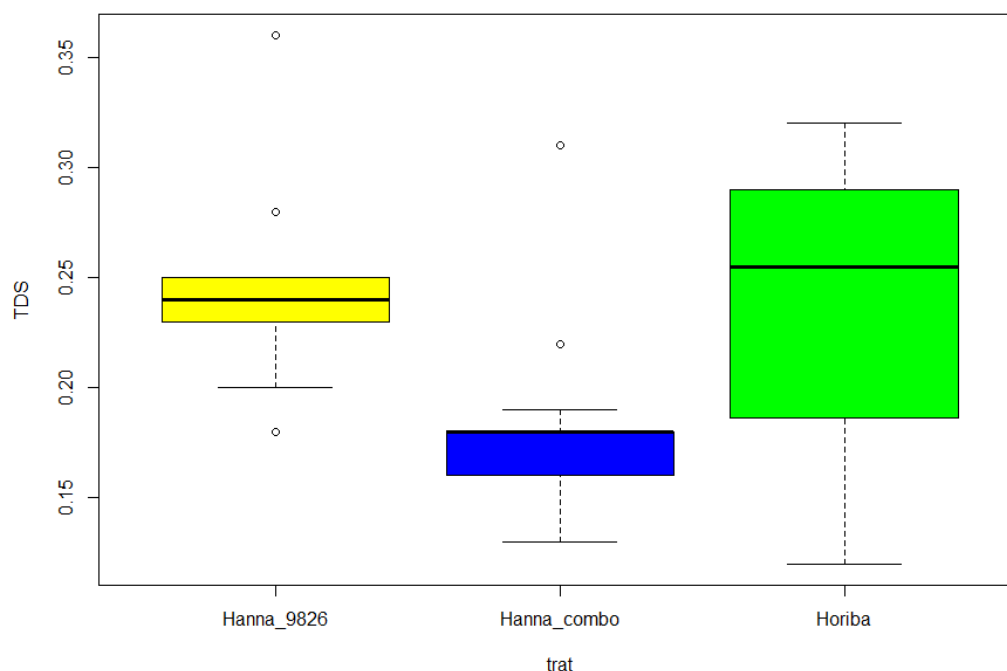


Figura 19. Comparación de datos fisicoquímicos parámetro TDS entre los tres instrumentos

### 4.1.3 Análisis de correlación

La matriz de correlación se hizo con el programa EXCEL, se sabe que esta correlación mide la afinidad entre las variables utilizadas, que en nuestro caso fueron 8 parámetros, los cuales fueron comparados parámetro con parámetro.

Tabla 12  
Matriz de correlación de PEARSON sobre los parámetros obtenidos en el río Loripongo.

	pH	ORP	DO	CE	TDS	PSU	FNV
pH	1.00						
ORP	-0.94	1.00					
DO	-0.18	0.11	1.00				
CE	0.08	0.02	-0.15	1.00			
TDS	0.41	-0.29	-0.22	0.93	1.00		
PSU	-0.78	0.77	0.10	0.48	0.13	1.00	
FNV	0.62	-0.59	0.09	0.49	0.49	-0.34	1.00

Del análisis de correlación de Pearson, se puede mencionar lo siguiente:

- Correspondencia muy alta e inversamente proporcional entre ORP - pH (-0.94).
- Relación muy alta y directamente proporcional entre el TDS - CE (0.93).
- Afinidades altas e inversamente proporcional entre en PSU-pH (-0.78); afinidad alta y directamente proporcional entre PSU-ORP (0.77)
- Correspondencia moderada y directamente proporcional entre FNV-pH (0.62) y FNV-OPR (-0.59).
- Correlaciones bajas entre FNV-TDS (0.49), FNV-CE (0.49), PSU-CE (0.48) y TDS-pH (0.41).

Las demás variables paramétricas tienen escasa o nula correlación; seguidamente mostraremos los más importantes gráficos que muestran la correlación entre variables utilizadas para este estudio (se utilizó el programa Minitab).

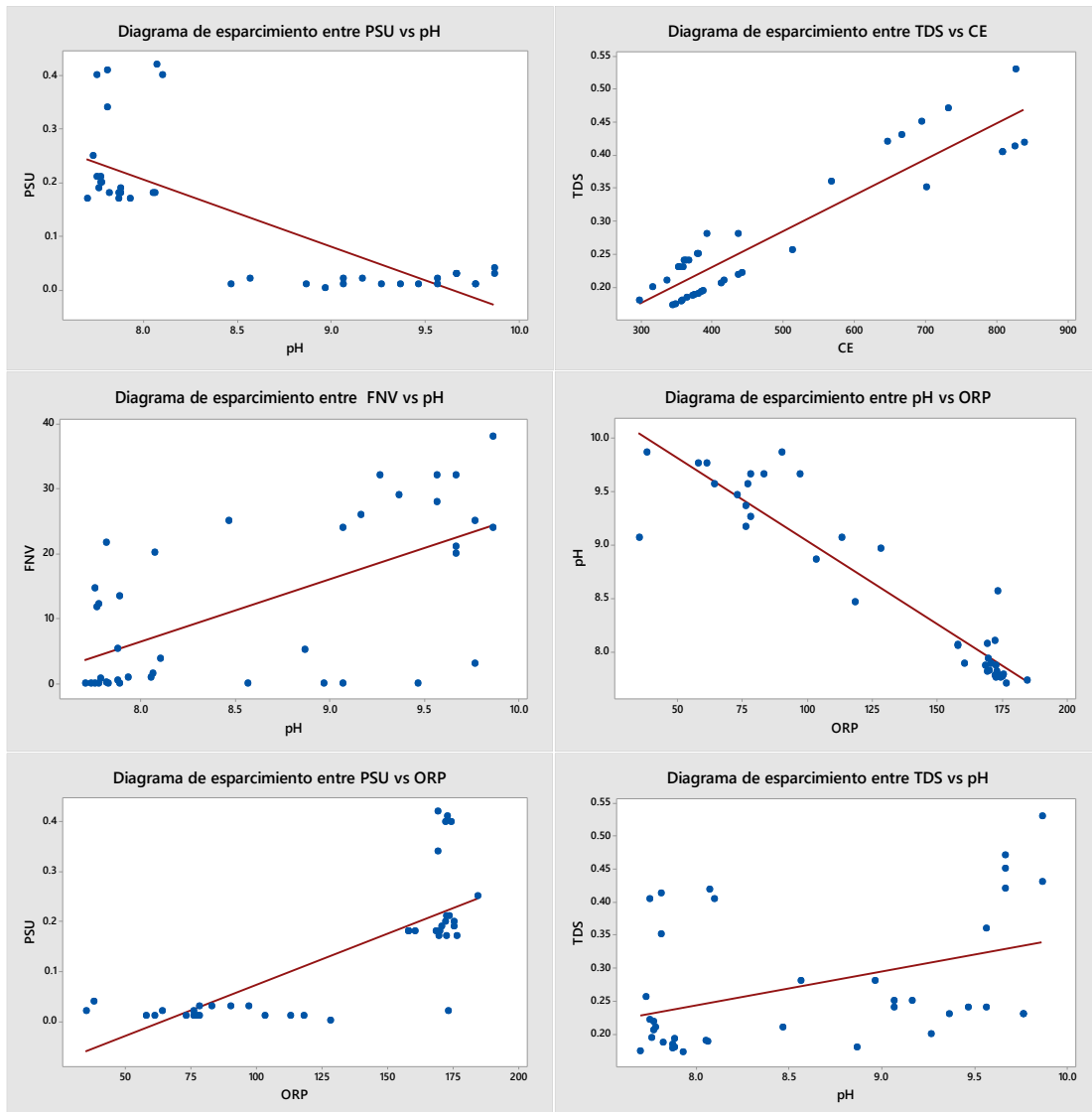


Figura 20. Diagramas de esparcimiento que muestran la correlación desde muy alta correlación lineal a correlaciones lineales bajas, de la zona de estudio.

#### 4.1.4 Análisis de componentes principales

La modelización por análisis de componentes principales (ACP) se hizo con el programa Minitab por correlación, del cual se obtuvieron ocho componentes con los resultados que se muestran en tabla.

Tabla 13  
*Análisis de componentes principales de los parámetros obtenidos en el río Loripongo.*

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
pH	0.519	0.007	-0.144	-0.118	-0.131	0.032	-0.823	-0.019
ORP	-0.498	-0.071	0.141	-0.011	0.569	-0.453	-0.445	-0.025
DO	-0.022	0.212	0.767	0.186	-0.489	-0.286	-0.106	0.006
CE	0.059	-0.643	0.158	-0.16	-0.091	-0.041	0.056	-0.721
TDS	0.235	-0.578	0.076	-0.22	-0.039	-0.36	0.139	0.637
PSU	-0.407	-0.357	0.229	0.067	-0.099	0.701	-0.272	0.272
FNV	0.396	-0.179	0.165	0.782	0.403	0.084	0.047	0.003
Temperatura	-0.317	-0.206	-0.511	0.511	-0.489	-0.287	-0.119	0.001

El análisis multivariado de componentes principales (ACP) donde se relacionan los parámetros fisicoquímicos del área de estudio. Se puede apreciar del grupo de variables, que el pH fue la más significativo (0.519) puesto que no presentó fluctuaciones marcadas en los diferentes puntos de muestreos, lo cual indica que esta variable influye estadísticamente sobre las otras 7 con el 90%.



Figura 21. Producto de lixiviación de sulfuros en interior mina y con la consiguiente generación de  $\text{Fe}^{+3}$ . DAM. Muestra JAY-07.

#### 4.1.5 Determinación de los parámetros fisicoquímicos

##### 4.1.5.1 Acidez o alcalinidad del agua (pH)

Este parámetro se determinó en los 39 puntos de muestreo y tuvo una mínima de 7.7 y máximo de 9.86, una media de 8.58 y una desviación estándar de 0.814. Según el histograma se observa dos familias muy

distintas en la zona de estudio; la primera familia con pH que van de 7.7 hasta 8.1 y la segunda familia que van desde 8.5 hasta 9.8, tiene un comportamiento normal no simétrico sesgado a la izquierda. El gráfico de cajas muestra la no existencia de valores atípicos además indica que la mitad de datos están por debajo de 8.2 de pH y una leve dispersión de datos por encima de ese valor.

Los datos mínimos de pH se obtuvieron en el cauce donde se ubican los relaves de la mina, hasta llegar a la confluencia con el río Loripongo, desde allí se detectó valores alcalinos del agua que alcanzan hasta 9.8. El pH tiene relación con la litología (superficie de exposición), pues la parte basal estratigráfica de la zona de estudio lo conforman calizas que hace que las aguas adquieran alcalinidad por la lixiviación de carbonatos, esto también se observa en la quebrada Ventilla en donde existe un incremento gradual de pH desde la naciente del cauce.

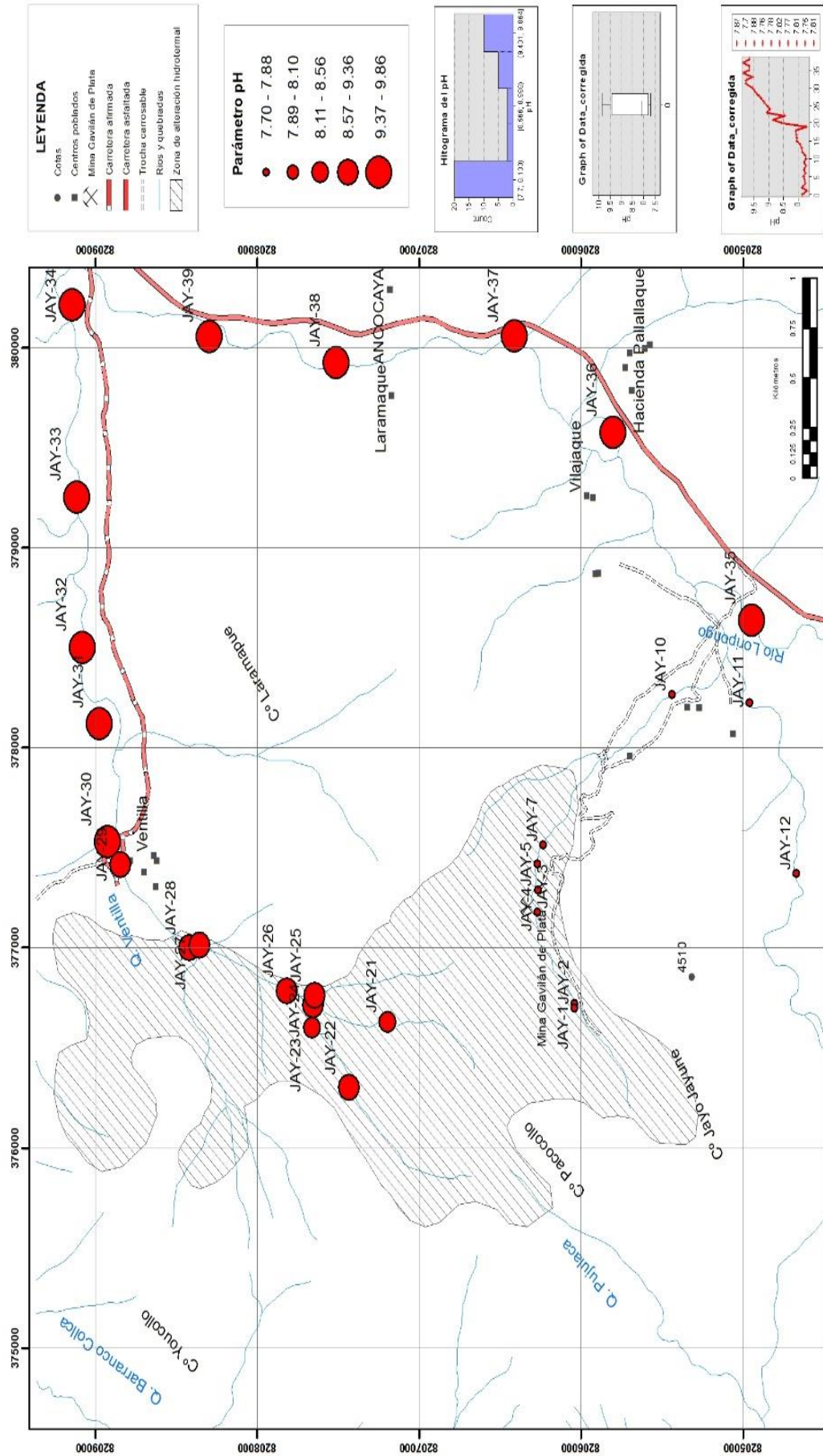


Figura 22. Distribución espacial del pH en la zona de estudio, histograma, diagrama box plot y grafico de Plata y zonas de influencia.



#### 4.1.6 Potencial de óxido reducción (ORP)

Este parámetro también se determinó en 39 puntos de muestreo, presenta un mínimo de 35 mV y llega hasta 184.3 mV, presenta una media de 128.97 mV y una desviación estándar de 48.82 mV. Presenta según histograma un gráfico bimodal, la primera que corresponde a una familia que tiene comportamiento normal asimétrico que va desde 35 mV hasta 124.5 mV, le sigue otra que llega hasta los 154.44 mV. El diagrama de cajas no revela valores atípicos, pero si una pequeña dispersión de valores por debajo de la mitad de datos entre cuartil 1 y 2, que corresponde a 18 puntos de muestreo.

El potencial de óxido reducción muestra una concentración espacial en la zona alterada y en la mina Gavilán de Plata en donde alcanza valores de 184 mV. Se observa una disminución del ORP en el río Loripongo y quebrada Ventilla desde inmediaciones del centro poblado del mismo nombre. Existe un incremento de ORP en el punto JAY-39 que posiblemente se deba a la presencia de un canal de regadío que arranca iones de la roca caja. Como este parámetro es un análogo del pH puede interpretarse que posiblemente haya liberación de electrones, el cual está produciendo oxidación en la zona alterada y lavando los minerales sueltos de los relaves de mina, este fenómeno químico se reduce en el río Loripongo.

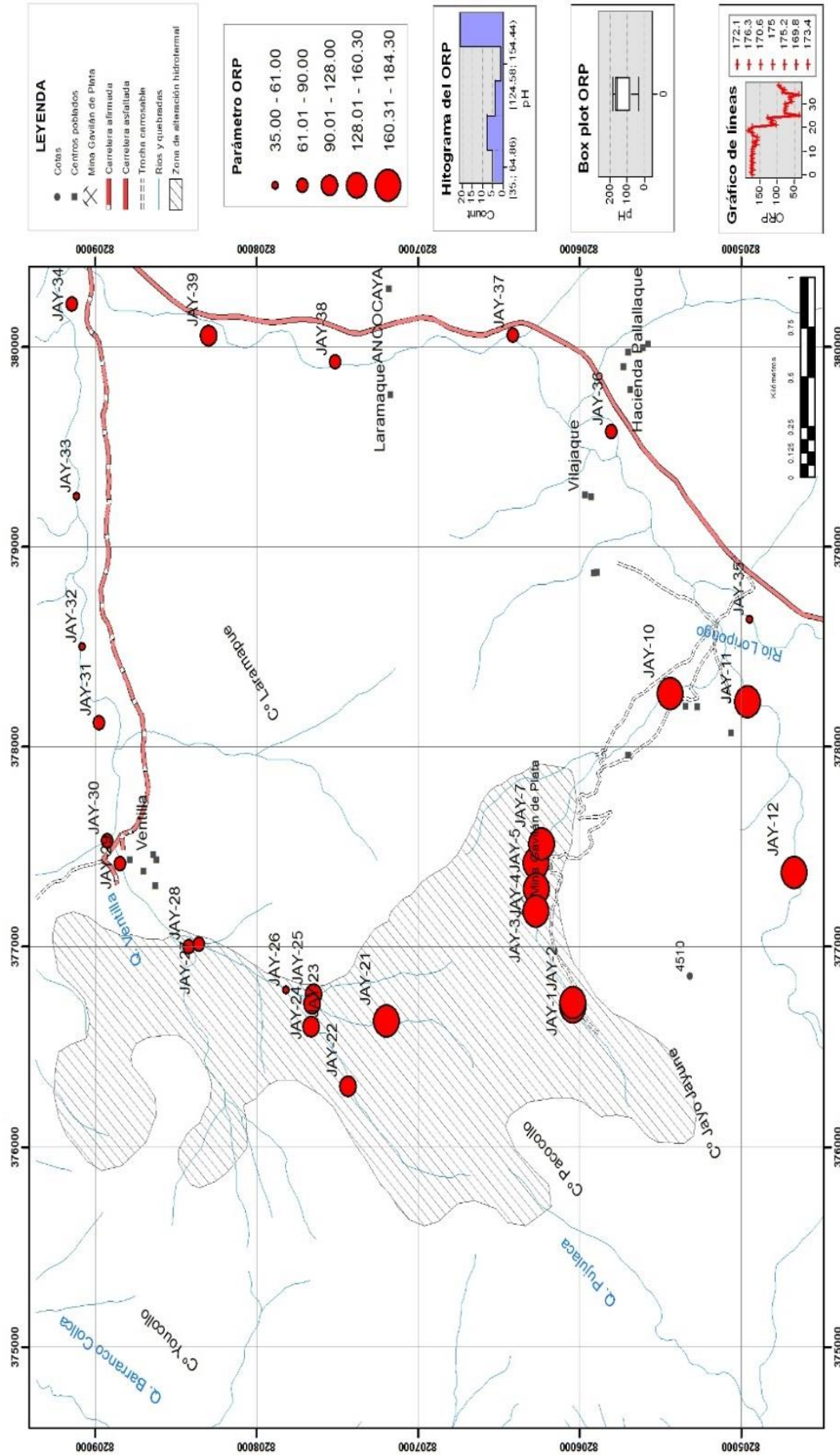


Figura 23. Distribución espacial de ORP en la zona de estudio, mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.

#### 4.1.7 Demanda de oxígeno (DO)

Los datos de esta variable se tomaron en los 39 puntos, tiene una mínima de 2.39 ppm una máxima de 7.72 ppm, una media de 5.349 ppm y una desviación estándar de 1.054 ppm. El histograma presenta forma simétrica y normalidad de datos tomados en campo, el grafico box plot indica la presencia de valores atípicos inferiores; el grafico de líneas indica varios valores que sobrepasan a 6 ppm y otros que están por debajo de 4ppm.

Los valores de la demanda de oxígeno se incrementan solamente en la quebrada Ventilla en el cual llegan a tener 7.72 ppm y se mantienen constantes entre 4.9 ppm a 5.38 ppm, en los alrededores de mina como muestran los puntos de muestreo JAY-1 hasta JAY-10. En el río Loripongo, los valores en general se mantienen bajos estos valores van desde 2.39 ppm hasta 4.90 ppm, en el mismo río en el punto JAY-37 se observa un leve incremento esto por la presencia de un riachuelo cercano al punto de muestreo. En las cercanías de los relaves de la mina rio curso inferior los valores de DO en las aguas se mantienen constantes entre 5 ppm hasta 5.58 ppm lo que demuestra un cierto carácter reductor.



Figura 24. Distribución espacial de DO en la zona de estudio, mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.

#### 4.1.8 Conductividad eléctrica (CE)

Esta variable fue tomada en los 39 puntos de muestreo, presenta un mínimo de 298 mS, un máximo de 838 mS, una media de 479.5 mS y una desviación estándar de 174.1 mS. El histograma de este parámetro muestra un carácter bimodal es decir presenta dos familias de datos, una que va desde los 298 mS hasta los 406 mS que es la más numerosa sesgada hacia la derecha, y otra menos numerosa con forma simétrica cuyos valores alcanzan 838 mS. El diagrama box plot no indica valores atípicos y moderada dispersión de datos.

La conductividad eléctrica es baja en la quebrada Ventilla que muestran valores desde los 298 mS hasta los 392 mS, en cambio en el río Loripongo los valores son más altos y se mantienen entre los 531mS hasta los 732 mS. En el sector donde se ubican los socavones mineros la conductividad eléctrica presenta valores que se diferencian por la presencia de los relaves, tal es así que en el curso superior del río la conductividad es de 298mS; y aguas abajo los relaves llegan hasta los 513 mS, este valor presenta una continuidad y llega hasta el Loripongo, en donde se hace una constante.



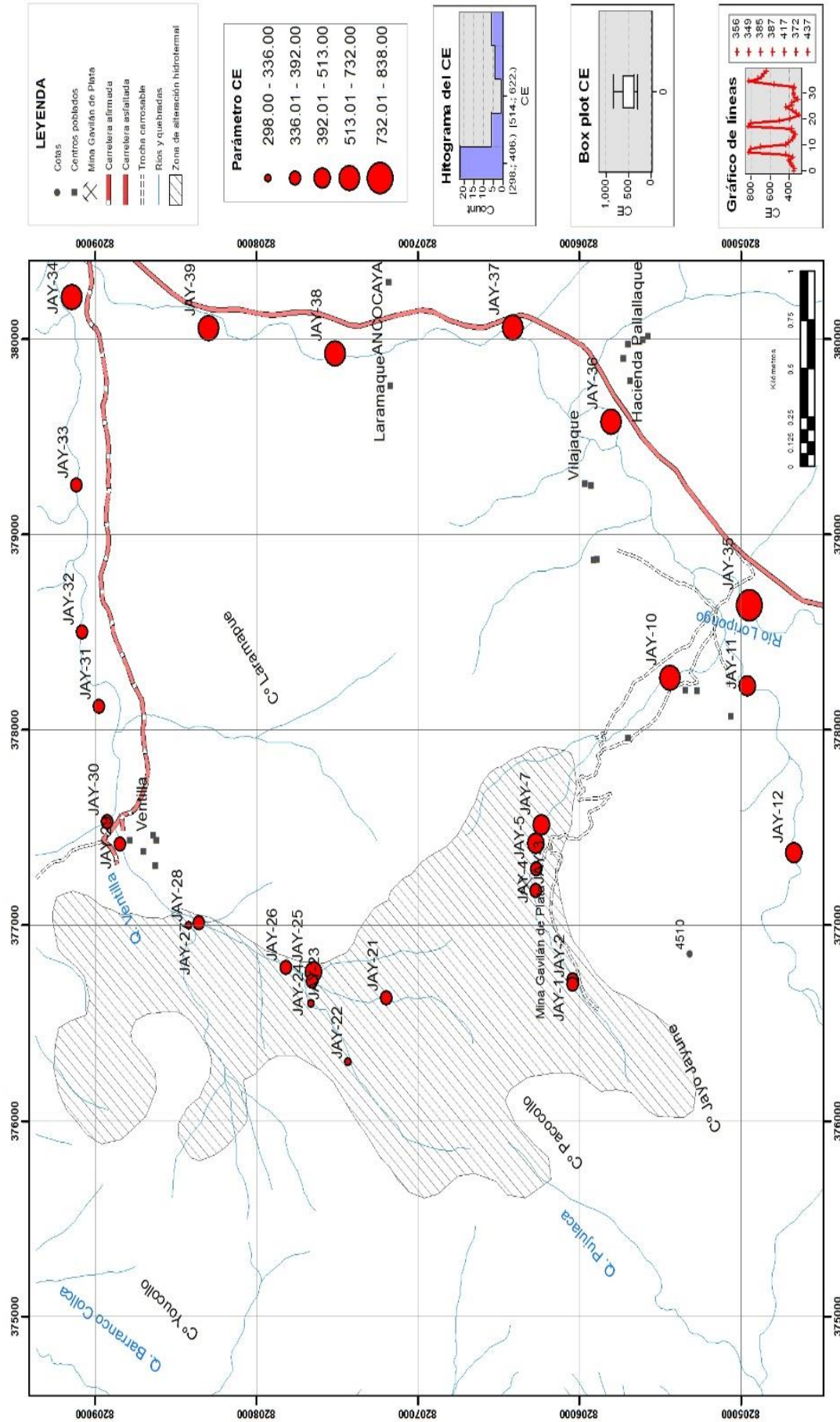


Figura 25. Distribución espacial de la CE en la zona de estudio, mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.



#### 4.1.9 Total de sólidos en suspensión (TDS)

El TDS se tomó en los 39 puntos planteados, tiene un valor mínimo encontrado de 0.172 ppm, un máximo de 0.53 NTU (Nephelometric Turbidity Unit), un promedio de 0.27 NTU y una desviación estándar de 0.1019 NTU. Presenta un carácter bimodal como muestra el histograma con dos familias, una primera con sesgo hacia la derecha con varios datos que va desde 0.712 hasta 0.244 NTU, le sigue otra familia que tiene un comportamiento normal simétrico, con valores que van desde 0.387 hasta 0.458 NTU. El diagrama de cajas no muestra valores atípicos y se confirma leve dispersión de datos.

Espacialmente, los valores más bajos se presentan en la quebrada Ventilla desde su nacimiento hasta la confluencia con el río Loripongo, en la zona alterada los valores también se mantienen bajos, en ambos sectores los valores van desde 0.17 hasta 0.28 NTU. Ya en el río Loripongo, el TDS no presenta muchas variaciones con valores que van desde 0.37 hasta 0.53 NTU. Cabe decir que en el curso superior, del punto de muestreo JAY-35 del río Loripongo, existe una influencia de aguas termales cargadas de carbonatos lo cual hace que el TDS se incremente.

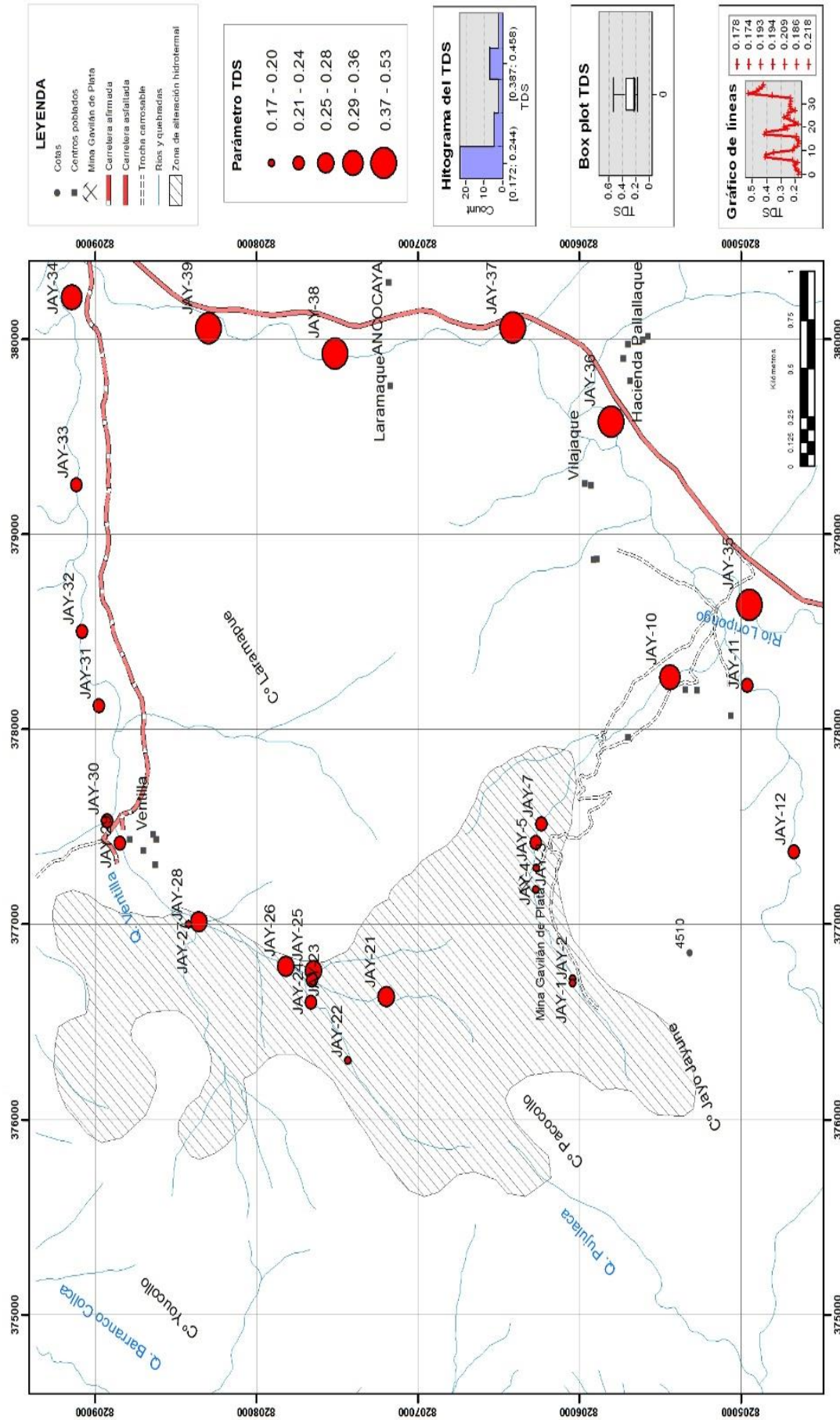


Figura 26. Distribución espacial de TDS en la zona de estudio, mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.

#### 4.1.10 Salinidad (PSU)

Para la obtención de estos parámetros en la zona de estudio, se tomaron en los 39 puntos, del cual se obtuvieron los siguientes datos; se obtuvo un mínimo de 0.002 ppm, un máximo de 0.42 ppm, una media 0.1324 ppm, una desviación estándar de 0.1314 ppm y un coeficiente de variación de 99%. Presenta tres familias bien definidas según el histograma, la familia que más domina es la que tiene valores que están en el intervalo de 0.002 ppm a 0.036 ppm; el diagrama de cajas muestra dispersión de datos de tipo moderado, del gráfico de líneas se interpreta que el conjunto de datos que están en los intervalos de 0.2 a 0.4 llega a 20 puntos de muestreo.

Los valores altos de PSU están relacionados en la quebrada que está influenciada por los laboreos mineros (socavones y cancha de relaves), estos mismos valores ocurren en los puntos de muestreo JAY-12 y JAY-11. Ya en el río Loripongo y quebrada Ventilla los valores del PSU son muy bajos hasta inexistentes según los equipos utilizados en campo. Algunas sales se originan a partir de la oxidación de sulfuros, lo cual al parecer ocurre en la zona de estudio con la pirita y arsenopirita, que están presentes junto a la mineralización de plata, en la roca caja y zonas de alteración hidrotermal.

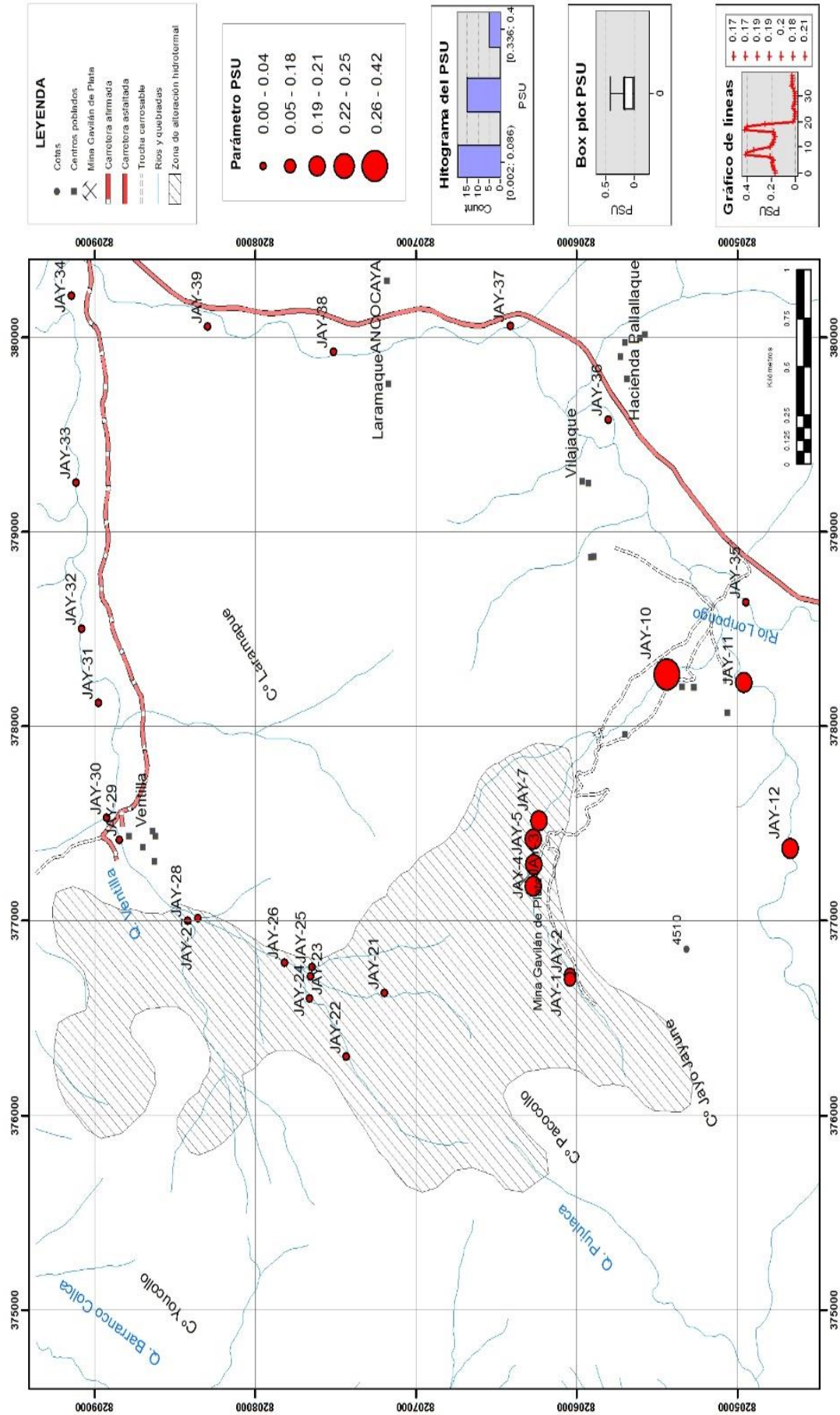


Figura 27. Distribución espacial de PSU en la zona de estudio, mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.

#### 4.1.11 Turbidez (FNU)

Este parámetro también se obtuvo insitu, en los 39 puntos de muestreo, y según las variables estadísticas descriptivas, se tiene un mínimo de 0, un máximo de 38 NTU, Nephelometric Turbidity Unit, una media de 12.11 NTU, una desviación estándar de 12.56 y un coeficiente de variación de 103.716. El histograma muestra forma bimodal, lo que indica que existen dos familias de datos una sesgada a la derecha y otra con comportamiento normal simétrico, en la primera familia los valores están desde 0 hasta 7.6 NTU y en la segunda familia van desde 15.2 hasta 38 NTU. Según diagrama de cajas hay una leve dispersión de datos por encima de 20.

Espacialmente los valores de turbidez presentan cierta uniformidad, tanto en la quebrada Ventilla y río Loripongo, con valores que van desde 14.71 hasta 38.00 NTU; existe una concentración mayor en la confluencia de estos dos drenajes. En las inmediaciones de la mina los valores van desde 0 hasta 14.70 NTU, diferenciándose en las cercanías de los montículos de relave, en donde se alcanzan valores de 14.70 NTU. Cabe decir que la turbidez disminuye en los sectores donde existen aportes de agua, como pequeños riachuelos cerca del punto de muestreo.



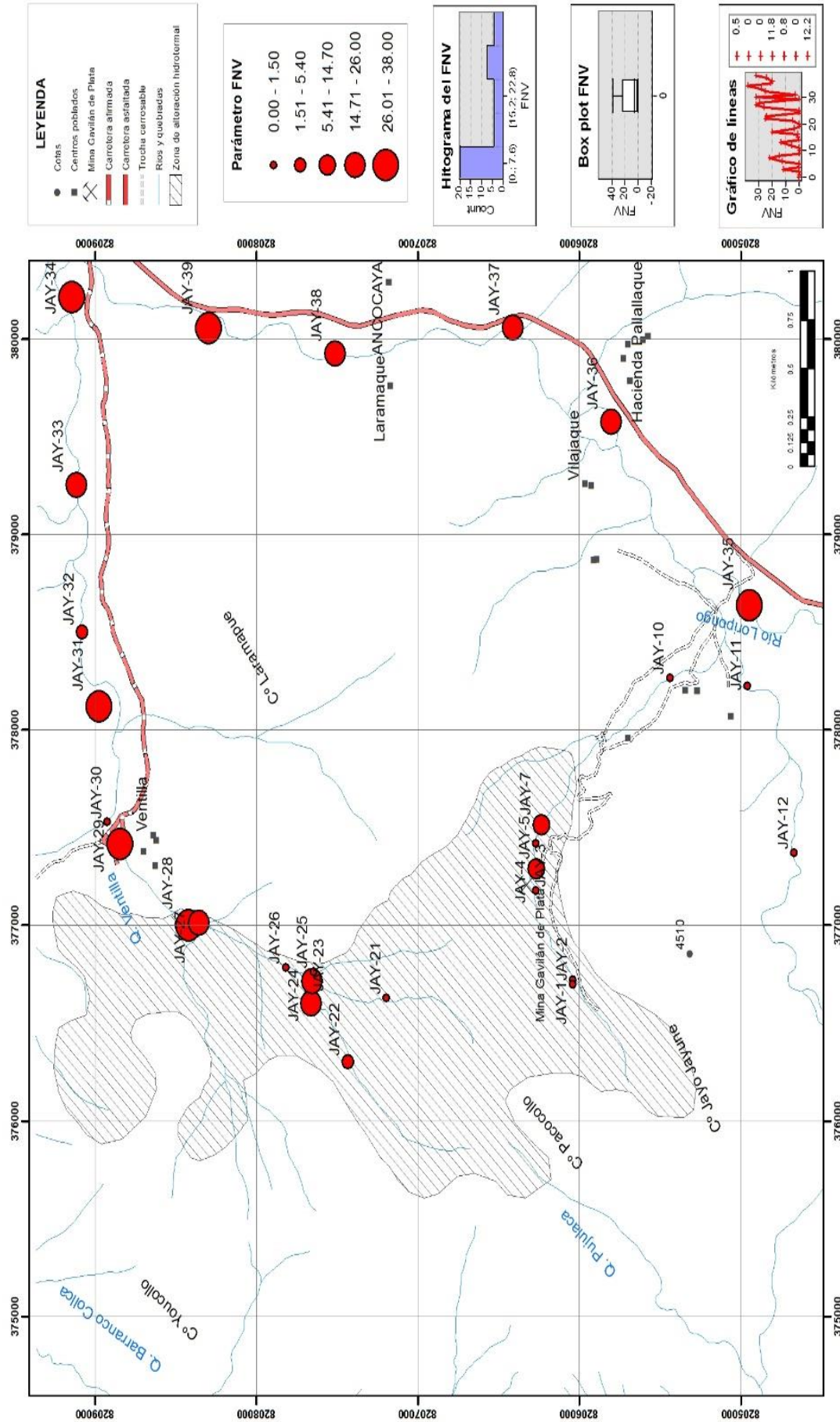


Figura 28. Distribución espacial de FNU en la zona de estudio, mina Gavilán de Plata.



#### 4.1.12 Temperatura

Los datos de este parámetro también fueron tomados en los 39 puntos de muestreo, en el cual se observan los siguientes valores: mínimos de 8.20 °C, máximos de 18 °C, media de 12.162 °C, desviación estándar de 2.776 °C y un coeficiente de variación de 22.825 °C. El gráfico de histograma muestra bimodalidad, que diferencia dos familias, la primera con comportamiento asimétrico con un sesgo a la derecha (valores de 8.2 a 10.16) y la otra con comportamiento normal.

Espacialmente la temperatura presenta variaciones, en el cual los valores altos con intervalos de 8.20 °C a 15.77 °C, se pueden observar en la quebrada Ventilla, ya en el río Loripongo los valores bajan a menos de 12.80 °C. Se observa un incremento en la zona de trabajo minero de 12.68 °C hasta 18.00 °C.

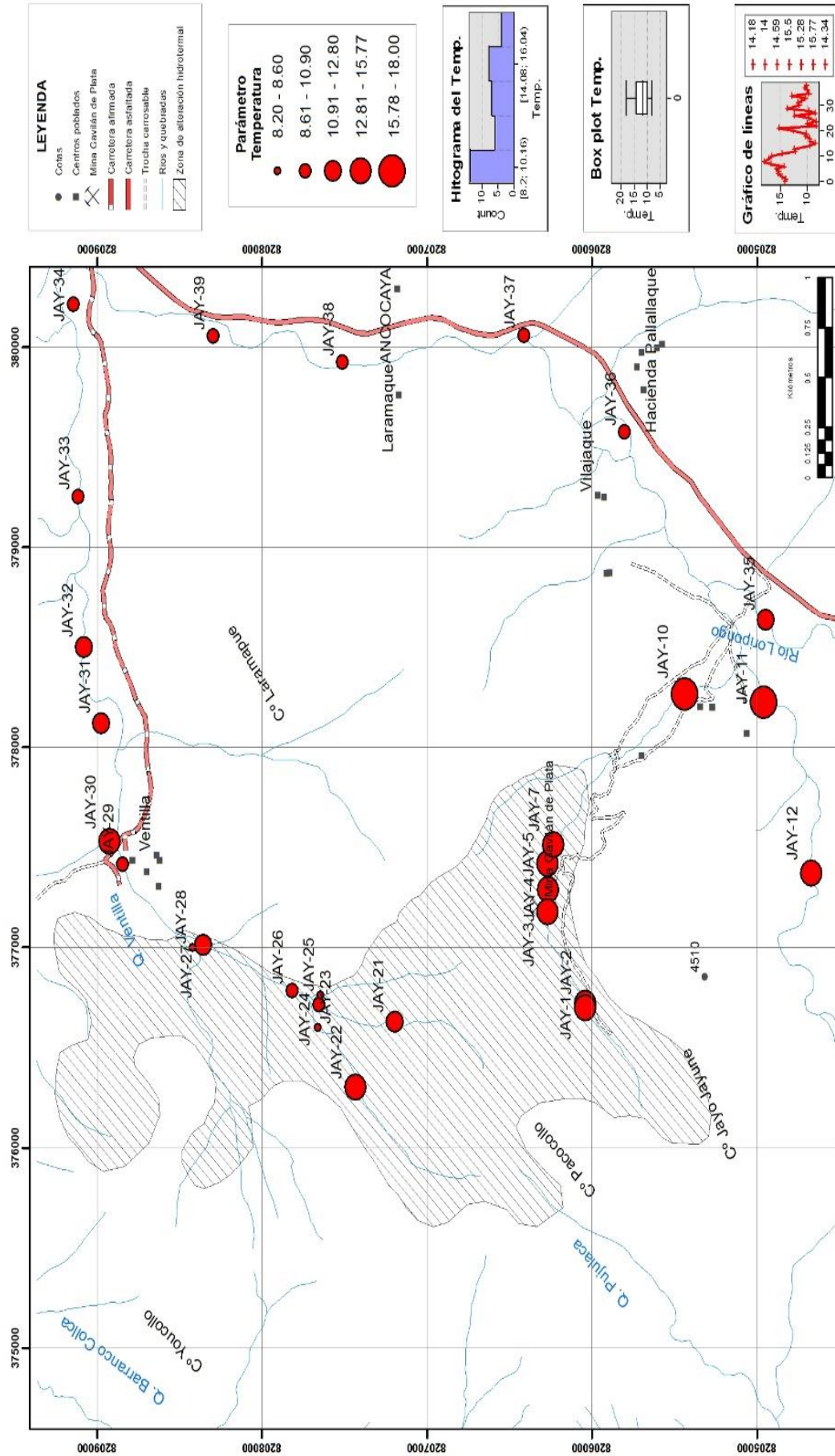


Figura 29. Distribución espacial de la Temperatura en la zona de estudio, mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.

#### 4.2 Determinación de la incidencia de los pasivos de la mina en la calidad de agua análisis químico

Para corroborar los resultados de los parámetros fisicoquímicos obtenidos con los equipos de campo se enviaron 9 muestras para análisis químico por 35 elementos. Este análisis nos demostraría el comportamiento químico de las aguas del río Loripongo y la quebrada Ventilla producto del drenaje ácido de mina (DAM) y drenaje ácido de roca (DAR). Las muestras fueron randomizadas y se obtuvieron cumpliendo los protocolos de muestreo (ver anexo 2) de aguas para evitar contaminación por análisis.

Tabla 14  
*Puntos de Muestreo para análisis de Laboratorio.*

MUESTRAS	COORDENADAS		DESCRIPCIÓN
	Norte	Este	
M1 - JAY 1	8206280	377195	Muestra para análisis químico
M2 – JAY 2	8207820	376787	Muestra para análisis químico
M3 – JAY 3	8206277	377245	Muestra para análisis químico
M4 - JAY 4	8208976	378132	Muestra para análisis químico
M5 – JAY 5	8206262	377295	Muestra para análisis químico
M6 – JAY 6	8209124	380540	Muestra para análisis químico
M7 – JAY 7	8206078	377723	Muestra para análisis químico
M8 – JAY 8	8205075	378748	Muestra para análisis químico
M9 – JAY 9			Muestra estándar

Tabla 15  
*Resultados de análisis químicos por 35 elementos de la zona de estudio.*

Elementos	LDM	Unidad	JAY-1	JAY-2	JAY-3	JAY-4	JAY-5	JAY-6	JAY-7	JAY-8	JAY-9
Aluminio (Al)	0.003	mg/L	0.21	0.043	0.031	0.026	0.01	0.025	0.02	0.052	0.008
Antimonio (Sb)	0.00007	mg/L	-0.00007	0.0022	-0.00007	-0.00007	-0.00007	-0.00007	-0.00007	-0.00007	-0.00007
Arsénico (As)	0.00003	mg/L	0.0007	0.01005	0.0005	0.00202	0.00049	0.00142	0.00149	0.00216	-0.00003
Bario (Ba)	0.00007	mg/L	0.0569	0.05497	0.05407	0.05498	0.05759	0.13133	0.04229	0.07959	0.0001
Berilio (Be)	0.00001	mg/L	-0.0001	0.00017	-0.0001	0.00018	-0.00001	-0.00001	0.00018	0.00036	-0.00001
Bismuto (Bi)	0.00005	mg/L	-0.00005	-0.00005	-0.00005	-0.00005	0.0005	0.00009	-0.00005	-0.00005	-0.00005
Boro (B)	0.002	mg/L	0.034	0.029	0.02	0.207	0.024	0.361	0.041	0.082	0.235
Cadmio (Cd)	0.00005	mg/L	-0.00005	0.0001	0.00074	-0.00005	0.0001	-0.00005	0.00431	0.00019	-0.00005
Calcio (Ca)	0.02	mg/L	44	61.8	43.7	40.1	44.6	58.4	91.9	52.5	0.51
Cobalto (Co)	0.00004	mg/L	0.00007	0.00026	0.00029	-0.00004	0.00007	-0.00004	0.01607	0.00009	-0.00004
Cobre (Cu)	0.00004	mg/L	0.00117	0.0014	0.00127	0.00158	0.00111	0.00099	0.00125	0.00179	0.00017
Cromo (Cr)	0.0003	mg/L	-0.0003	-0.0003	-0.0003	-0.0003	-0.0003	-0.0003	-0.0003	-0.0003	-0.0003
Estaño (Sn)	0.00003	mg/L	0.00034	0.00087	0.00007	0.0002	0.00009	0.00033	0.00008	0.00008	0.00009
Estroncio (Sr)	0.00005	mg/L	0.65199	0.67993	0.60117	0.4956	0.62039	0.62956	0.95889	0.45544	0.00089
Fosforo (P)	0.02	mg/L	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
Hierro (Fe)	0.00009	mg/L	0.0567	0.13955	0.05749	0.01589	0.02034	0.0225	2.87	0.10003	0.00229
Litio (Li)	0.00005	mg/L	0.02283	0.04203	0.02308	0.21516	0.01963	0.66288	0.32154	0.09813	0.0119

Tabla 16  
Resultados de análisis químicos por 35 elementos de la zona de estudio (continuación).

Elementos	LDM	Unidad	JAY-1	JAY-2	JAY-3	JAY-4	JAY-5	JAY-6	JAY-7	JAY-8	JAY-9
Magnesio (Mg)	0.002	mg/L	8.22	9.27	8.31	10.2	8.51	11.7	19.8	11.9	0.011
Manganeso (Mg)	0.00006	mg/L	0.0136	0.02591	0.00826	0.00237	0.00595	0.00492	0.42641	0.00817	0.0002
Mercurio (Hg)	0.000003	mg/L	0.000019	0.000064	0.000048	0.000036	0.000071	0.00007	0.00004	0.000067	0.000026
Molibdeno (Mo)	0.00004	mg/L	0.00069	0.00049	0.00068	0.00033	0.00073	0.00096	0.0008	0.00041	-0.00004
Níquel (Ni)	0.00002	mg/L	0.00059	0.00073	0.00058	0.00023	0.00041	0.00014	0.01237	0.00033	0.00019
Plata (Ag)	0.00004	mg/L	-0.00004	-0.00004	-0.00004	-0.00004	-0.00004	-0.00004	0.0001	0.00007	0.00006
Plomo (Pb)	0.00004	mg/L	0.00039	0.00041	0.02641	0.00191	0.00576	0.00056	0.0168	0.00235	0.00007
Potasio (K)	0.02	mg/L	1.15	1.42	1.05	2.46	1.15	2.83	1.63	1.92	-0.02
Selenio (Se)	0.00006	mg/L	-0.00006	-0.00006	-0.00006	-0.00006	-0.00006	-0.00006	-0.00006	-0.00006	-0.00006
Silicio (Si)	0.05	mg/L	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05
Sodio (Na)	0.003	mg/L	3.99	4.66	3.94	15.2	3.96	41.7	8.09	7.79	0.406
Talio (Ta)	0.00003	mg/L	-0.00003	0.00007	0.00026	-0.00003	0.00012	0.00004	0.00193	0.00014	-0.00003
Teluro (Te)	0.00006	mg/L	-0.00006	-0.00006	-0.00006	-0.00006	-0.00006	-0.00006	-0.00006	-0.00006	-0.00006
Titanio (Ti)	0.0001	mg/L	0.0006	0.0005	0.0002	0.0002	0.0002	0.0005	0.0003	0.001	0.0003
Uranio (U)	0.00004	mg/L	0.00007	0.0004	0.0001	0.00016	0.00011	0.00036	0.00011	0.00016	-0.00004
Vanadio (V)	0.00003	mg/L	0.00029	0.00028	0.0002	0.00184	0.00021	0.00217	0.00013	0.00106	-0.00003
Wolframio (W)	0.00004	mg/L	-0.00004	-0.00004	-0.00004	-0.00004	-0.00004	-0.00004	-0.00004	-0.00004	-0.00004
Zinc (Zn)	0.00004	mg/L	0.00544	0.02414	0.06467	0.01934	0.01986	0.00552	1.66	0.01702	0.00203

Tabla 17

*Estadística descriptiva de 8 muestras por análisis químico de 35 elementos.*

Elementos	Min	Máximo	Suma	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Aluminio (Al)	0.01	0.21	0.417	0.05213	0.0651	124.919
Arsénico (As)	0.00049	0.01005	0.01883	0.00235	0.0032	134.967
Bario (Ba)	0.04229	0.13133	0.53172	0.06647	0.0282	42.373
Berilio (Be)	0.00005	0.00036	0.00109	0.00014	0.0001	80.776
Boro (B)	0.02	0.361	0.798	0.09975	0.1224	122.751
Cadmio (Cd)	0.000025	0.00431	0.005515	0.00069	0.0015	215.016
Calcio (Ca)	40.1	91.9	437	54.62500	16.9174	30.970
Cobalto (Co)	0.00002	0.01607	0.01689	0.00211	0.0056	267.194
Cobre (Cu)	0.00099	0.00179	0.01056	0.00132	0.0003	19.792
Estaño (Sn)	0.00007	0.00087	0.00206	0.00026	0.0003	105.515
Estroncio (Sr)	0.45544	0.95889	5.09297	0.63662	0.1513	23.767
Hierro (Fe)	0.01589	2.87	3.2825	0.41031	0.9948	242.446
Litio (Li)	0.01963	0.66288	1.40528	0.17566	0.2252	128.215
Magnesio (Mg)	8.22	19.8	87.91	10.98875	3.8459	34.998
Manganeso (Mg)	0.00237	0.42641	0.49559	0.06195	0.1474	238.012
Mercurio (Hg)	0.000019	0.000071	0.000415	0.00005	0.0000	36.857
Molibdeno (Mo)	0.00033	0.00096	0.00509	0.00064	0.0002	33.160
Níquel (Ni)	0.00014	0.01237	0.01538	0.00192	0.0042	219.820
Plomo (Pb)	0.00039	0.02641	0.05459	0.00682	0.0096	141.238
Potasio (K)	1.05	2.83	13.61	1.70125	0.6561	38.568
Sodio (Na)	3.94	41.7	89.33	11.16625	12.9141	115.653
Talio (Ta)	0.000015	0.00193	0.00259	0.00032	0.0007	202.039
Titanio (Ti)	0.0002	0.001	0.0035	0.00044	0.0003	63.411
Uranio (U)	0.00007	0.0004	0.00147	0.00018	0.0001	68.155
Vanadio (V)	0.00013	0.00217	0.00618	0.00077	0.0008	106.157
Zinc (Zn)	0.00544	1.66	1.81599	0.22700	0.5793	255.207

Para la descripción de los elementos químicos presentes en el agua de la zona de estudio y su respectivo análisis, tomaremos los datos de elementos que en su mayor parte de datos se encuentren por encima del límite de detección mínimo de los 35 de elementos analizados. Así se tienen 11 elementos (Wo, Te, Si, Se, Ag, P, Cr, Cd, Bi, Be y Sb) que están por debajo del límite de detección mínimo. 24 elementos serán considerados para el análisis sobre la ocurrencia en aguas de la zona de estudio.



Tabla 18

*Resultados de análisis de correlación de Pearson con datos de elementos químicos y parámetros fisicoquímicos.*

Elemento	pH	ORP	DO	CE	TDS	PSU	FNV	Temp.
Arsénico (As)		-0.622				-0.522		-0.695
Bario (Ba)		0.576		0.528	0.579	-0.517		
Boro (B)	0.649					-0.631	0.611	-0.601
Cobre (Cu)	0.548	-0.531	-0.658		0.548			
Estaño (Sn)		-0.513	0.544					-0.707
Estroncio (Sr)	-0.586					0.538	-0.544	
Plata (Ag)	-0.554							
Plomo (Pb)	-0.605	0.611				0.625		0.614
Potasio (K)	0.79	-0.624			0.515	-0.739	0.746	-0.682
Sodio (Na)	0.536					-0.52		-0.557
Titanio (Ti)	0.526	-0.55	-0.655	0.828	0.824			
Uranio (U)	0.594	-0.76	0.512			-0.742		-0.899
Vanadio (V)	0.8	-0.604	-0.062			-0.755	0.765	-0.621

Tabla 19

Resultados de análisis de correlación de Pearson con datos de elementos químicos

Elemento	Al	As	Ba	B	Ca	Cu	Sn	Sr	Fe	Li	Mg	Mg	Hg	Ni	K	Na
Boro (B)			0.829													
Estroncio (Sr)					0.844											
Hierro (Fe)					0.901			0.863								
Litio (Li)			0.741	0.869												
Magnesio (Mg)					0.904			0.687	0.925							
Manganeso (Mg)					0.902			0.874			0.919					
Mercurio (Hg)	-0.657		0.503													
Molibdeno (Mo)						-0.896		0.564		0.532						
Níquel (Ni)					0.891			0.873	0.999		0.912	1				
Potasio (K)				0.936						0.831						
Sodio (Na)			0.888	0.967						0.935				0.868		
Uranio (U)		0.739	0.546				0.767						0.559			0.542
Vanadio (V)			0.743	0.949						0.713					0.951	0.848
Zinc (Zn)					0.886			0.86	0.999		0.998			0.999		

Estandarización de valores de la matriz de correlación de Pearson.

Bajo	0.5 – 0.6
Medio	0.6 – 0.7
Alto	0.7 – 0.8
Muy alto	0.8 – 1.0

#### 4.2.1 Aluminio

Está presente en todas las muestras y tiene un contenido mínimo de 0.01 mg/L, una media de 0.05213 mg/L y la concentración mayor que se encuentra en la muestra JAY-Q-01 (0.21mg/L) y una desviación estándar de 0.00551 mg/L. El aluminio no tiene relación relevante con los parámetros fisicoquímicos obtenidos en campo.

La muestra JAY-Q-01 con mayor concentración de Al, fue extraída en el curso superior del río sobre las labores mineras y se obtuvo para verificar las condiciones químicas naturales del agua antes de entrar en contacto con la cancha de relaves y socavones que circunscriben la mina. Se debe resaltar que esta muestra se encuentra influenciada por la zona de alteración hidrotermal.

Las concentraciones de aluminio que están entre 0.0032 mg/L hasta 0.21 mg/L se debe a la disolución de minerales de arcilla presentes en el tipo de roca que predomina en el lugar (alteración argílica) que se caracteriza por la presencia de afloramientos arcillosos de color blanco que tienen como minerales la caolinita y cuarzo en partículas pequeñas, estos reconocidos en descripción macroscópica. Este elemento se encuentra por debajo de los límites permisibles.

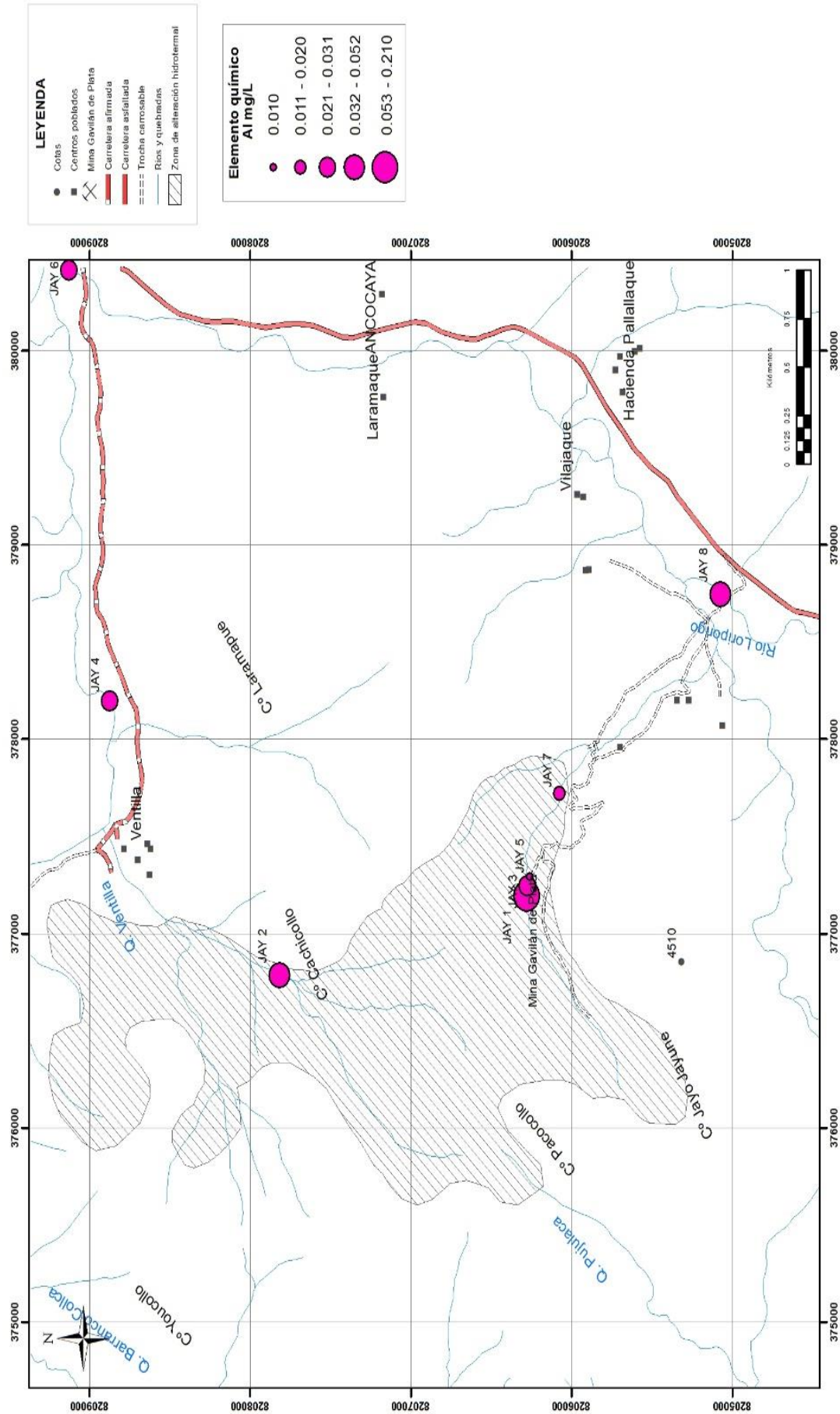


Figura 30. Concentraciones geoquímicas del aluminio en las aguas de que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.

#### 4.2.2 Arsénico

Este elemento también se encuentra en todas las muestras y tiene un mínimo de 0.00049 mg/L, un promedio de 0.00235 mg/L, un máximo de 0.01005 mg/L y una desviación estándar de 0.0032 mg/L. Tiene una correlación lineal inversa baja (-0.522) con la salinidad (PSU) y moderada con el potencial de óxido reducción (ORP) y Temperatura (-0.622 y -0.695 respectivamente).

La muestra JAY-Q-02 es la que tiene mayor concentración y se encuentra ubicado en la naciente de la quebrada Ventilla, y se relaciona a flujos de agua que cortan afloramientos de roca con alteración propilítica, con presencia de minerales como clorita, arsenopirita y calcita; lo que concuerda con su ocurrencia en el punto de muestreo.

Cabe decir que el arsénico es fácilmente meteorizado de la roca que contiene el mineral arsenopirita. En este tipo de yacimientos vetiformes este elemento está asociado siempre al: Fe, Ag y Cu; lo cual es corroborado en las canchas de relave. Como los pH en el punto de muestreo llegan a 8.56 mg/L, es previsible el incremento de As en agua. Según los ECAs nacional este elemento está debajo de los límites permisibles.





### 4.2.3 Bario

Ocurre en las 8 muestras analizadas tiene valores mínimos de 0.04229, un promedio de 0.06647 mg/L y su máxima concentración se encuentra en la confluencia del río Loripongo y quebrada Ventilla (0.13133 mg/L). Tiene correlación lineal positiva baja con el pH (0.576), correlación lineal positiva con la conductividad eléctrica (CE) de 0.528, sólidos en suspensión (TDS) de 0.579 y correlación lineal negativa con salinidad (PSU) de -0.517.

Las concentraciones máximas se obtuvieron en las muestras JAY-Q-6 y JAY-Q-8 que corresponde al río Loripongo y confluencia con la quebrada Ventilla. Otros valores se presentan en las canchas de relave de la mina que se explica por la presencia de sulfatos.

Este elemento no se encuentra solo en la naturaleza, pero si está presente como el mineral denominado baritina, relacionado a las vetas de plata; al entrar en contacto con agua este sulfato que contiene bario se disuelve rápidamente. A veces los incrementos de pH pueden producir el carbonato de bario. En la zona de estudio el Ba está por debajo de los límites permisibles.



#### 4.2.4 Boro

Este elemento se encuentra en las 8 muestras y tiene contenido mínimo de 0.02 mg/L, un promedio de 0.09975 mg/L y la mayor concentración se encuentra en la muestra JAY-Q-6 (0.365 mg/L) que se encuentra en la confluencia del río Loripongo y quebrada Ventilla, con 0.13133 mg/L. Este elemento tiene correlación positiva moderada con el pH (0.649) y lo mismo ocurre con la turbidez (0.611); también presenta correlaciones negativas moderadas con la salinidad de (-0.631) y temperatura -0.695. En la zona de estudio el boro y el bario tienen afinidad alta de 0.829.

Las concentraciones de boro altas en la zona de estudio se encuentran en la quebrada Ventilla y confluencia con el río Loripongo (muestras JAY-Q-4 y JAY-Q-6). Ya en la zona de roca alterada la muestra JAY-Q-2 y las que corresponde a los alrededores de las labores mineras (JAY-Q-1, JAY-Q-3, JAY-Q-5 y JAY-Q-7), muestran valores de boro que están por debajo de 0.041 mg/L. El boro normalmente está relacionado a la actividad volcánica y la zona de estudio en su mayor parte presenta afloramientos de roca volcánica de tipo explosivo y efusivo, lo que demuestra el origen de este elemento en las muestras de agua. Según los ECAs estos valores están por debajo de los límites permisibles.



#### 4.2.5 Calcio

El calcio está presente en todas las muestras enviadas para análisis químico, contiene valores mínimos de 40.1mg/L, una media de 54.625 mg/L y un valor máximo de 91.9 mg/L y una desviación estándar de 16.9174 mg/L. No tiene correlación o afinidad con elementos y parámetros fisicoquímicos.

El valor más alto de este elemento se encuentra en la muestra JAY-Q-7, el cual está ubicado en la bocamina, desagüe del DAM, el cual se enmarca en alteración de tipo propilítica que contiene minerales como calcita, illita y montmorillonita; pues este resultado corrobora la disolución de Ca a partir de calcita y minerales arcillosos, lo mismo se puede deducir de la muestra JAY-Q-2 que también está ubicado en ese tipo de alteración de roca (DAR).

Podemos asumir que en la zona de estudio el Ca, está relacionado a los cursos de agua con pH altos, pues cerca de ellos se puede observar precipitación de carbonatos y cloruros en forma de costras y polvo deleznable, producto de la evaporación de aguas cargadas con elementos que lo contienen.







#### 4.2.6 Cobre

Está presente en todas las muestras, y tiene valores mínimos de 0.00099 mg/L, tiene una media de 0.00132 mg/L y un valor máximo de 0.01607 mg/L y una desviación estándar de 0.003 mg/L. Tiene afinidad lineal positiva baja con el pH (0.548) y con los sólidos en suspensión (0.548); también se correlaciona de forma negativa moderada con la demanda de oxígeno (-0.658) y de forma negativa baja con el potencial de óxido reducción (-0.531).

Una particularidad del Cu es que se tiene concentraciones menores a 0.001580 mg/L en la zona de labores mineras, luego esto cambia al incrementarse en el río Loripongo en el cual llega a tener valores hasta de 0.001790 mg/L, ya en la intersección entre los dos flujos de agua este desciende hasta estar cerca del límite de detección inferior.

Esto ocurre debido a que: el Cu precipita en aguas con pH neutro hasta alcalino; la presencia de este elemento está ligado a minerales sulfurados como calcopirita los cuales se forman a bajas temperaturas producto del hidrotermalismo, además contiene Fe y S. Este elemento se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles.

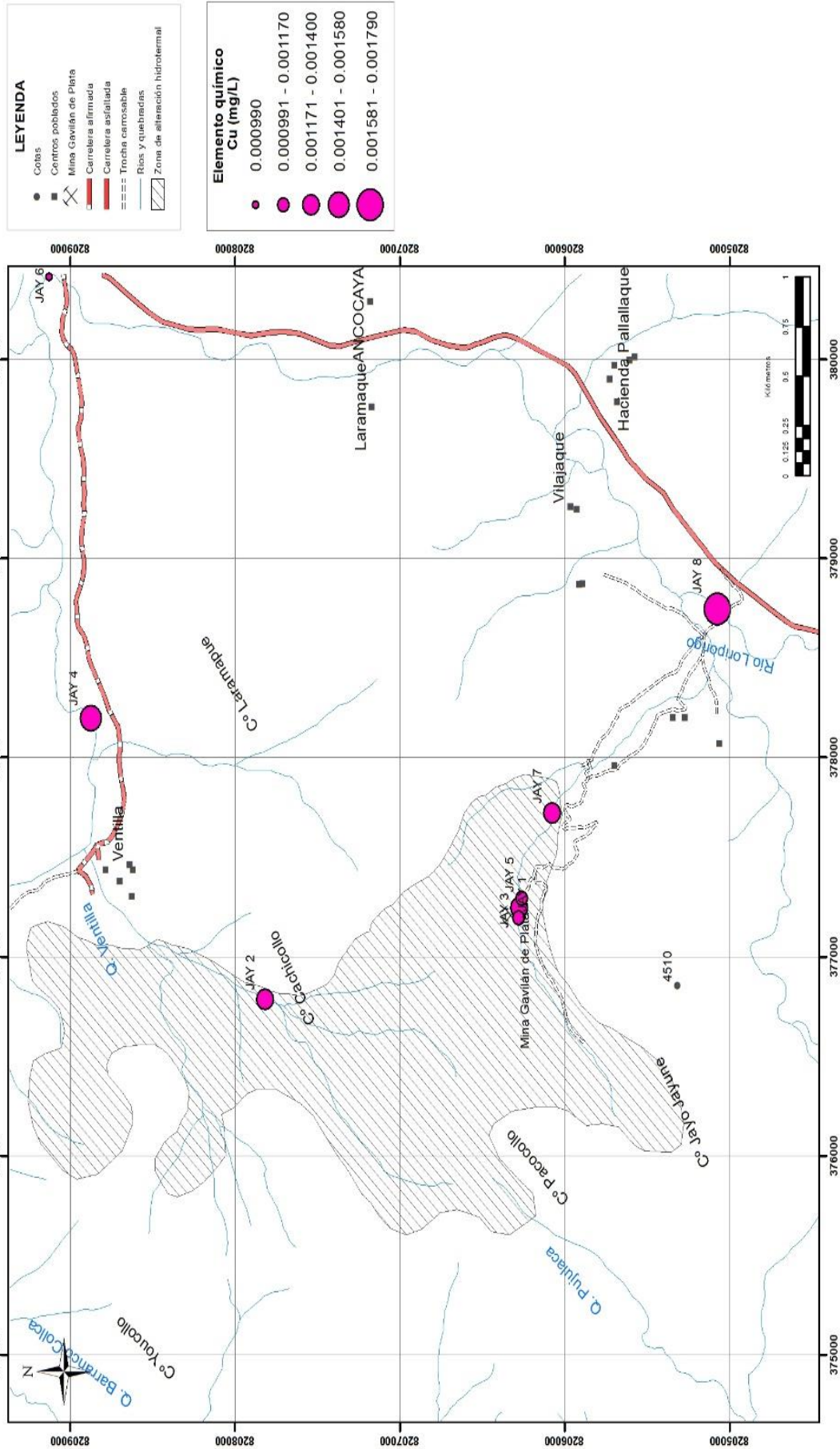


Figura 35. Concentraciones geoquímicas del cobre en las aguas que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.

#### 4.2.7 Hierro

Este elemento tiene los siguientes valores en la zona de estudio, un mínimo de 0.01589 mg/L, una media de 0.41031 mg/L, un valor máximo de 2.87 mg/L y una desviación estándar de 0.9948 mg/L. No tiene afinidad con los parámetros fisicoquímicos obtenidos en campo, pero tiene correlaciones lineales positivas muy altas con el boro de 0.904 y el estroncio de 0.863.

Es uno de los elementos más comunes en la naturaleza y es insoluble en la mayoría de los casos, se encuentra en aguas de origen freático; en la zona de estudio este procede de la lixiviación de los minerales sulfurados que contienen Fe.

Los valores altos que llegan a 2.87 mg/L se encuentran en la zona de alteración y el sector de influencia directa que tienen las labores mineras, ya en el río Loripongo y quebrada Ventilla los valores solo alcanzan a 0.015890 mg/L, lo que significa que el Fe precipita al entrar en contacto con pH alto o alcalino y su dispersión solamente alcanza hasta 2 Km, lo mismo sucede con el potencial de óxido reducción y con la salinidad. Con el Ni, Hg y Mg espacialmente tienen cierta afinidad.

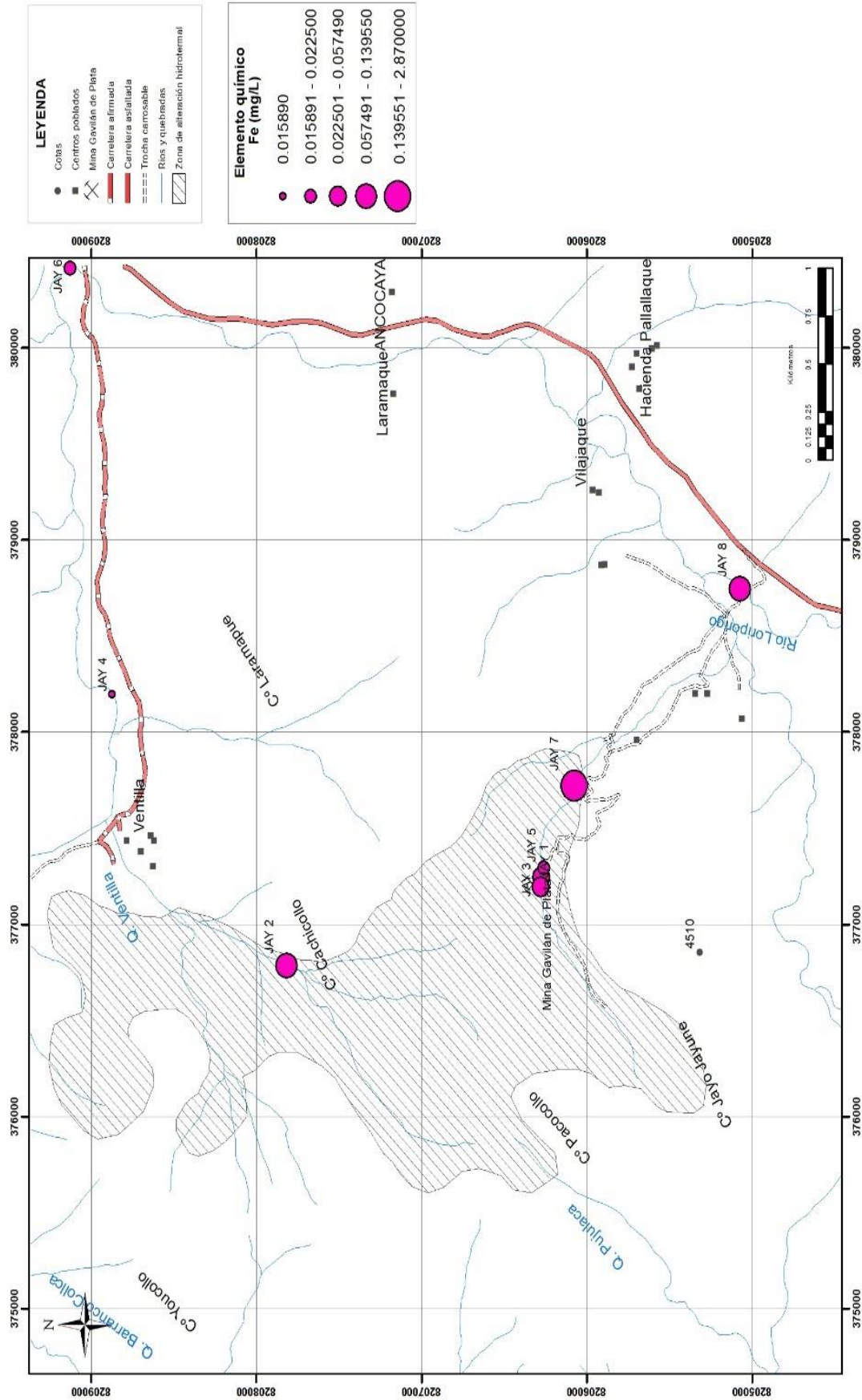


Figura 36. Concentraciones geoquímicas del hierro en las aguas que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.

#### 4.2.8 Litio

Este elemento tiene los siguientes valores en la zona de estudio, un mínimo de 0.01963 mg/L, una media de 0.17566 mg/L, un valor máximo de 0.66288 mg/L y una desviación estándar de 0.2252 mg/L. No tiene correlación con los parámetros fisicoquímicos obtenidos en campo, pero tiene correlación lineal directamente proporcional alta con el Ba de 0.741 y otra correlación lineal positiva muy alta con el B de 0.863, K (0.831) y Na (0.935).

El origen del Li es casi enteramente ígneo, este puede ser trasladado por agua cuando es lavado, se encuentra en la naturaleza con sus isotopos 6 y 7. Buena parte de la zona estudiada está cubierta por este tipo roca el cual pertenece a la Formación Barroso; la ocurrencia de este elemento es muy baja en las cercanías de las labores mineras salvo en la muestra JAY-Q-7 que se obtuvo en la bocamina, desagüe del DAM. En el río Loripongo y quebrada Ventilla este se incrementa hasta llegar a 0.662880 mg/L, al parecer estas concentraciones se deben al tipo de litología presente de manera regional. Por las correlaciones estadísticas con el Ba, B, K y Na, también se observa una afinidad espacial con incrementos similares en sus concentraciones en los afluentes de la zona de estudio.





#### 4.2.9 Magnesio

Este elemento tiene los siguientes valores en la zona de estudio, un mínimo de 8.22 mg/L, una media de 10.9887 mg/L, un valor máximo de 19.8 mg/L y una desviación estándar de 0.2252 mg/L. No tiene correlación con los parámetros fisicoquímicos obtenidos en campo, pero tiene correlación lineal directamente proporcional muy alta con el Ca de 0.904 y el Fe de 0.925; otra correlación lineal positiva alta con el Sr de 0.687.

Es un elemento también mayoritario que existe en la naturaleza el cual se halla en cantidades importantes, las variedades de minerales que contienen este elemento se encuentran entre los silicatos y carbonatos.

En la zona de estudio se encuentra en mayor concentración en la muestra JAY-Q-7 (19.800 mg/L) que se ubica en la bocamina, desagüe del DAM; le sigue otra concentración en la confluencia del río Loripongo y quebrada Ventilla lo que confirma el “lavado” de este elemento de los afloramientos litológicos, se presenta en la zona de estudio, en especial en los volcánicos de composición básica. Valores bajos (8.220 mg/L) se encuentran en los alrededores de los relaves y nuevos socavones.

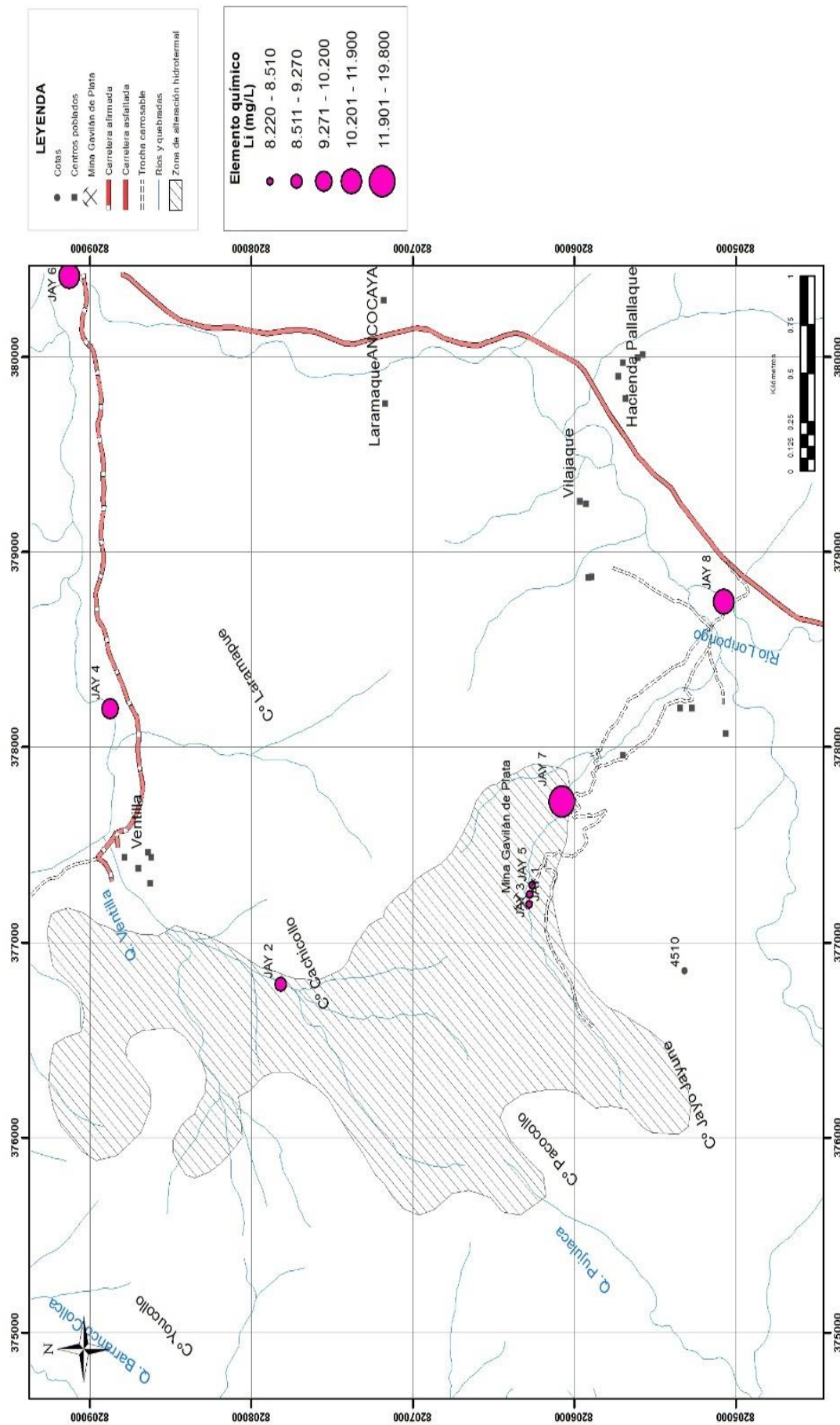


Figura 38. Concentraciones geoquímicas del magnesio en las aguas que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.

#### 4.2.10 Manganeso

Este elemento tiene los siguientes valores en la zona de estudio, un mínimo de 0.00237 mg/L, una media de 0.06195 mg/L, un valor máximo de 0.42641 mg/L y una desviación estándar de 0.1474 mg/L. No tiene correlación con los parámetros fisicoquímicos obtenidos con los equipos de campo, pero tiene correlación lineal directamente proporcional muy alta con el Ca de 0.902, Sr de 0.874 y Mg de 0.019.

Este elemento en la naturaleza siempre se encuentra combinado y por su afinidad con el Fe lo encontramos como pirolusita o psilomelano; también es posible encontrarlo en carbonatos y silicatos en rocas de origen volcánico y vetas de origen hidrotermal. Las características geológicas de la zona de estudio se relacionan con la ocurrencia de este elemento. Se observa que el manganeso solamente tiene altas concentraciones en la zona de rocas de alteración hidrotermal y laboreos mineros (0.4426410 mg/L), lo que indica que su desplazamiento es bajo y precipita sin mucha dispersión y movilidad, no se observa Mn en el río Loripongo ni la quebrada Ventilla. Aunque no se encontró correlación con los parámetros fisicoquímicos, guarda una relación espacial inversa con el pH y potencial oxido reducción la salinidad.



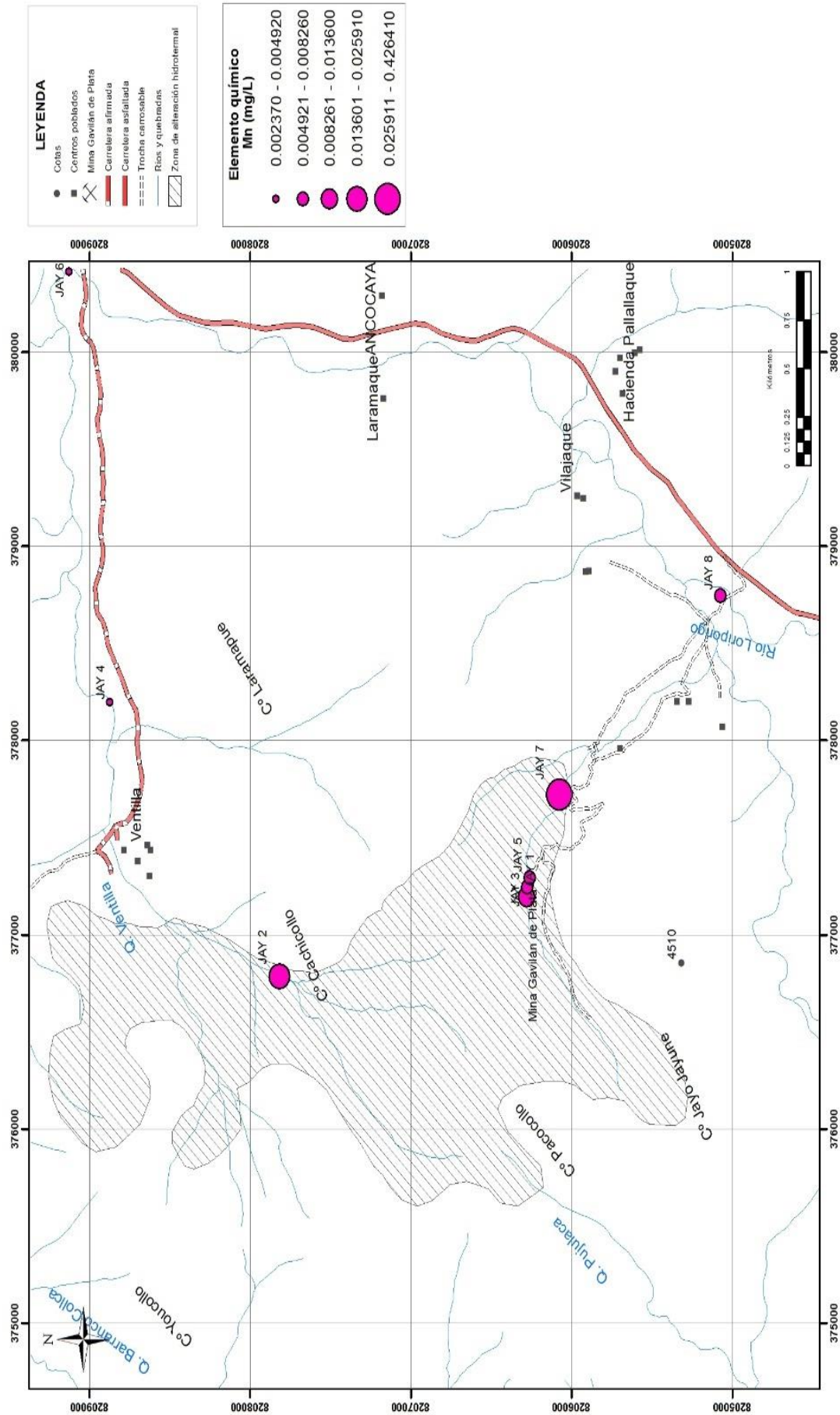


Figura 39. Concentraciones geoquímicas del manganeso en las aguas que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.



#### 4.2.11 Mercurio

Este elemento tiene los siguientes valores en la zona de estudio, un mínimo de 0.000019 mg/L, una media de 0.00005 mg/L, un valor máximo de 0.000071 mg/L y una desviación estándar de 0.00001 mg/L. No tiene correlación con los parámetros fisicoquímicos obtenidos con los equipos de campo, pero tiene correlación lineal inversamente proporcional media con Al de -0.657 y una correlación lineal positiva directamente proporcional baja con el Ba de 0.502.

Las zonas con alteración de origen hidrotermal normalmente pueden contener mercurio en forma de sulfuros en especial en las vetas, en el lugar de investigación, siendo un centro minero de donde se extrajo plata, no es ajeno a la ocurrencia de este elemento. Especialmente se observa una concentración alta de Hg (0.000071 mg/L) cuando el agua corta los relaves de la mina, el cual al parecer precipita algunos cuantos metros en el curso inferior del río; en la zona de alteración las concentraciones de Hg llegan hasta los 0.000067 mg/L, el cual disminuye también al llegar a la confluencia con la quebrada Ventilla. Ya en el río Loripongo también se observa alta concentración de mercurio lo cual procede de la naciente de cuenca.

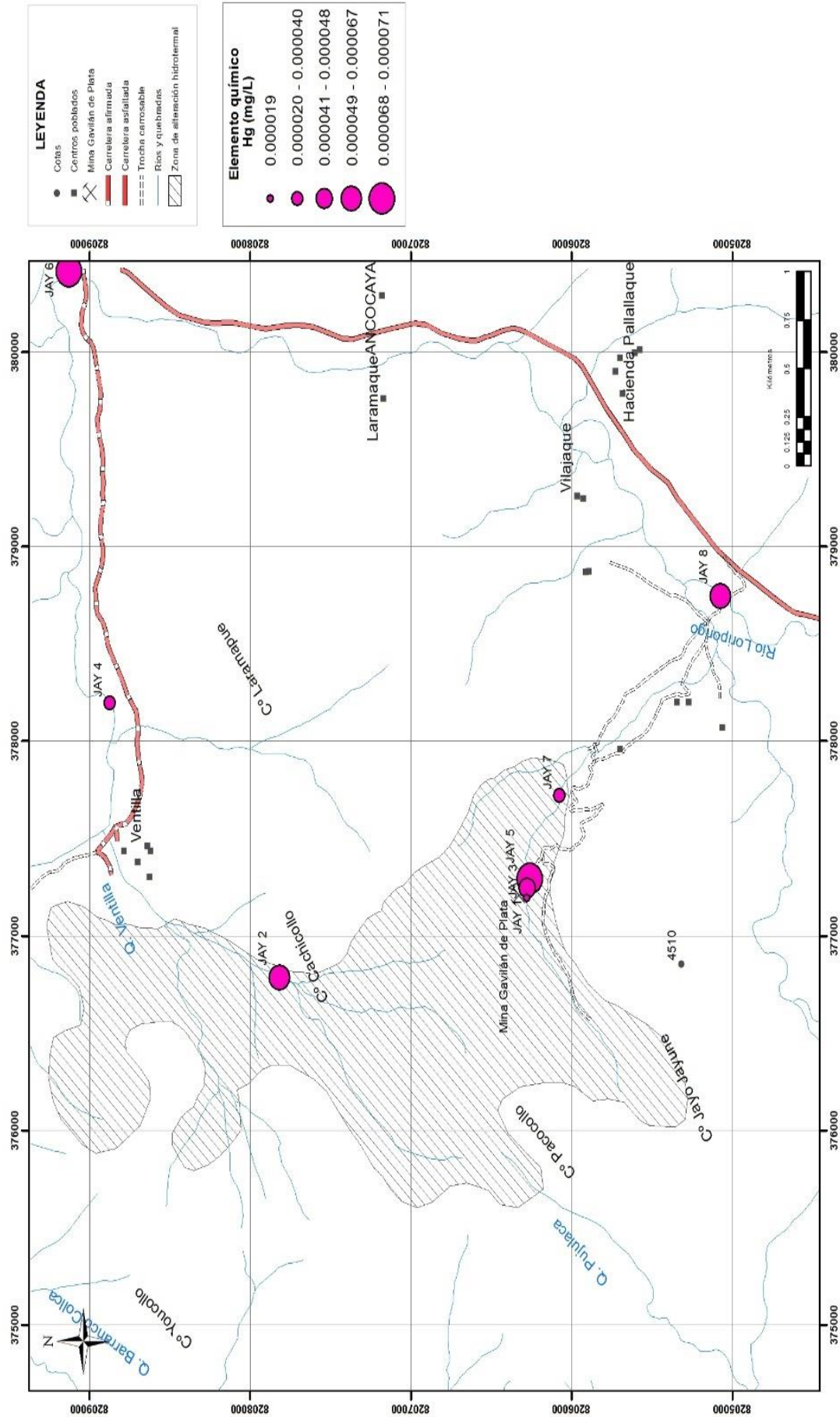


Figura 40. Concentraciones geoquímicas del mercurio en las aguas que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.

#### 4.2.12 Níquel

Este elemento tiene los siguientes valores en la zona de estudio, un mínimo de 0.00014 mg/L, una media de 0.00192 mg/L, un valor máximo de 0.01237 mg/L y una desviación estándar de 0.0042 mg/L. No tiene correlación con los parámetros fisicoquímicos obtenidos con los equipos de campo, pero tiene correlación lineal directamente proporcional muy alta con el Ca (0.891), Sr (0.873), Fe (0.999) y Mg (0.912).

El Ni como elemento tiene mucha relación con los productos de origen volcánico, normalmente se presenta como sulfuro teniendo aleación con el Fe y S, en aguas se presenta formando complejos con el ion oxidrilo, es móvil en aguas con pH ácido a neutro.

En la zona de estudio el Ni se encuentra en la zona de alteración hidrotermal y en las áreas aledañas al laboreo minero en donde alcanza valores de 0.01237 mg/L y desciende drásticamente en los lechos de río hasta tener valores mínimos de 0.00014 mg/L. Especialmente tiene mucha relación con el Ca, Sr y Fe, lo que indica que este elemento precipita en valores de pH alcalino.

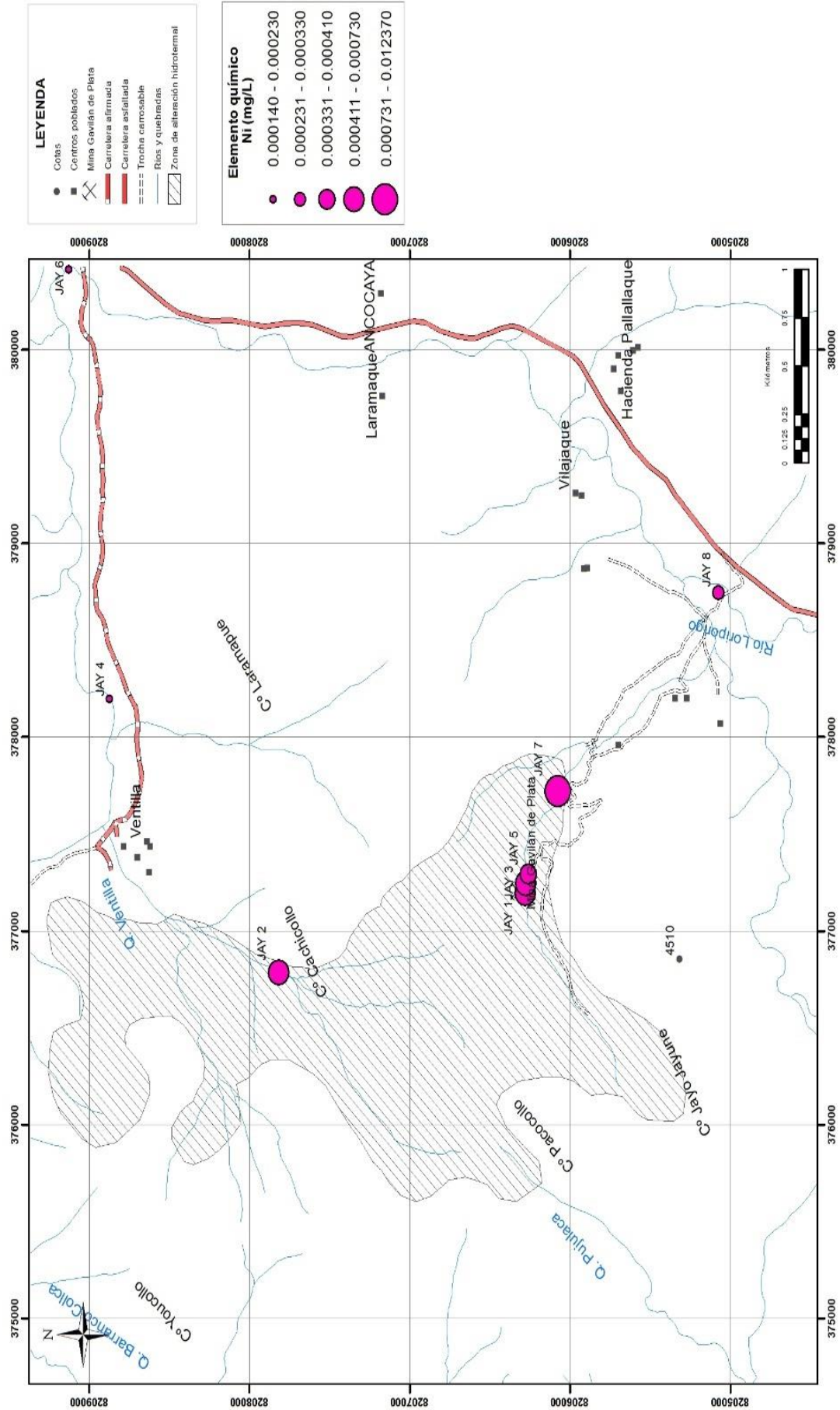


Figura 41. Concentraciones geoquímicas del níquel en las aguas de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.

#### 4.2.13 Plomo

Este elemento tiene los siguientes valores en la zona de estudio, un mínimo de 0.00039 mg/L, una media de 0.00682 mg/L, un valor máximo de 0.02641 mg/L y una desviación estándar de 0.0096 mg/L. Tiene correlación con los parámetros fisicoquímicos obtenidos con los equipos de campo, así existe correlación lineal directamente proporcional moderada el potencial de óxido reducción de 0.611, con la salinidad de 0.625 y temperatura de 0.614, a su vez tiene correlación lineal negativa con el pH de -0.605.

El elemento Pb, en la naturaleza no puede encontrarse solo, siempre se le encuentra mezclado con el S para formar la galena, otras variedades de minerales que contienen plomo pueden ser los carbonatos. En la zona de estudio está presente la galena del cual procede este elemento, por eso las concentraciones altas con valores de 0.02641mg/L en las zonas de laboreo minero. En la zona de alteración hidrotermal (naciente de la quebrada Ventilla – muestra JAY-Q-2) el valor es bajo (0.000390 mg/L), posiblemente porque no hay evidencia de movimiento de rocas producto de la actividad minera, lo que hace que las partículas con Pb no entren en contacto con el agua; este se incrementa levemente en el curso inferior del río.



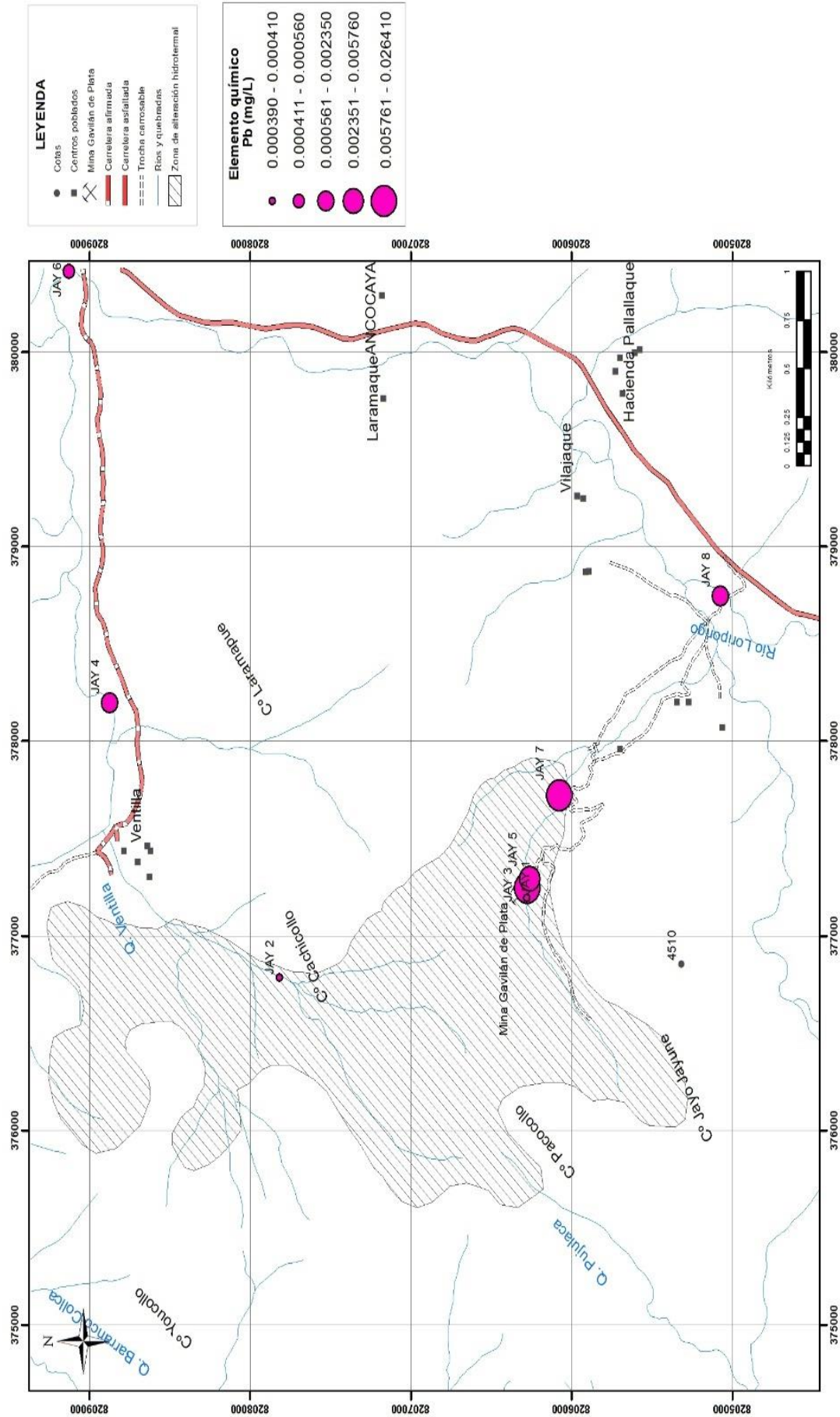


Figura 42. Concentraciones geoquímicas del plomo en las aguas que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.

#### 4.2.14 Zinc

Este elemento presenta los siguientes valores, un mínimo de 0.00544 mg/L, una media de 0.2277 mg/L, un valor máximo de 1.66 mg/L y una desviación estándar de 0.5793 mg/L. No tiene correlación con los parámetros fisicoquímicos obtenidos con los equipos de campo; pero existe correlación lineal directamente proporcional muy alta con el Ca (0.886), Sr (0.86), Fe (0.999), Mg (0.998) y Ni (0.999).

Este elemento en la naturaleza se encuentra asociado al Pb y Cu, en aguas es un componente común y es muy beneficioso para la salud, se disuelve en pH alcalino, casi siempre se presenta en combinación con el S como el mineral blenda; en la zona de estudio tiene mucha relación la presencia de este elemento, pues es común en vetas de origen hidrotermal.

Las concentraciones altas de Zn llegan a 1.6600 mg/L en los alrededores de los laboreos mineros y zona de alteración hidrotermal; este llega a desaparecer o a tener niveles muy bajos en los lechos de río y quebrada a menos de 0.05520 mg/L; lo que significa que a pH alcalino el Zn tiende a precipitar o a perder movilidad. Así mismo tiene relación espacial con Sr, Fe, Mg y Ni.

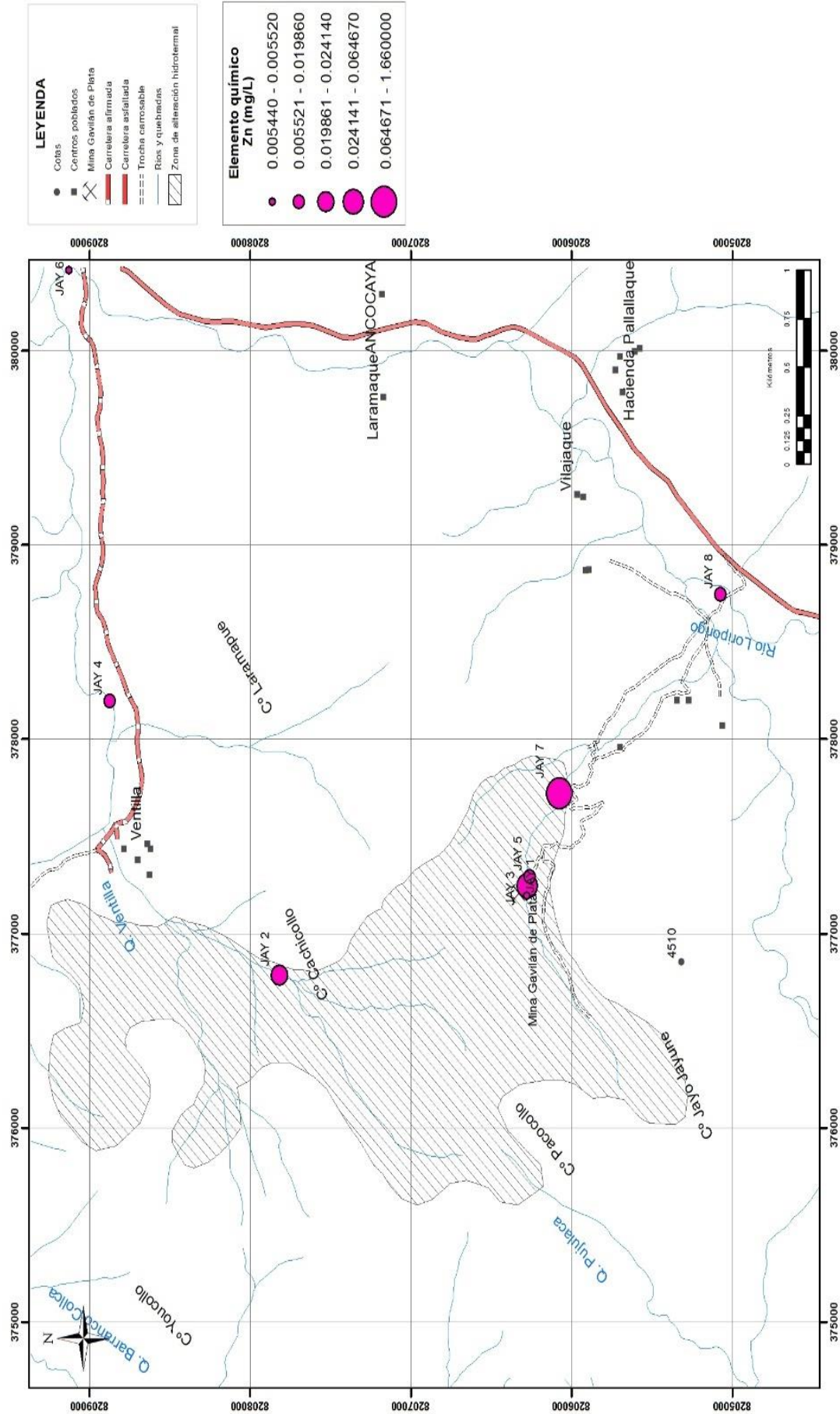


Figura 43. Concentraciones geoquímicas del zinc en las aguas que provienen de la mina Gavilán de Plata y zonas de influencia.

#### 4.2.15 Análisis de componentes principales de los resultados químicos

Valores propios

Inertia information:

Call: inertia.dudi(x = acp)

Decomposition of total inertia:

	inertia	cum	cum(%)
Ax1	9.5052	9.505	39.61
Ax2	6.0453	15.550	64.79
Ax3	2.9407	18.491	77.05
Ax4	2.2476	20.739	86.41
Ax5	1.7518	22.491	93.71
Ax6	1.1306	23.621	98.42

El análisis de componentes principales (ACP), para las diferentes características de variables químicas con valores propios  $\lambda_i \geq 1$ , presentaron 6 componentes principales, significa que se necesita solamente 6 componentes para explicar las 24 variables en estudio con un 98.42 % de la variabilidad de la inercial total de los componentes, lo cual es confiable, para una mejor explicación de los componentes principales se puede considerar solamente los tres primeros componentes que representa el 77.05 %, lo que representa una confiabilidad en la reducción de las dimensiones.





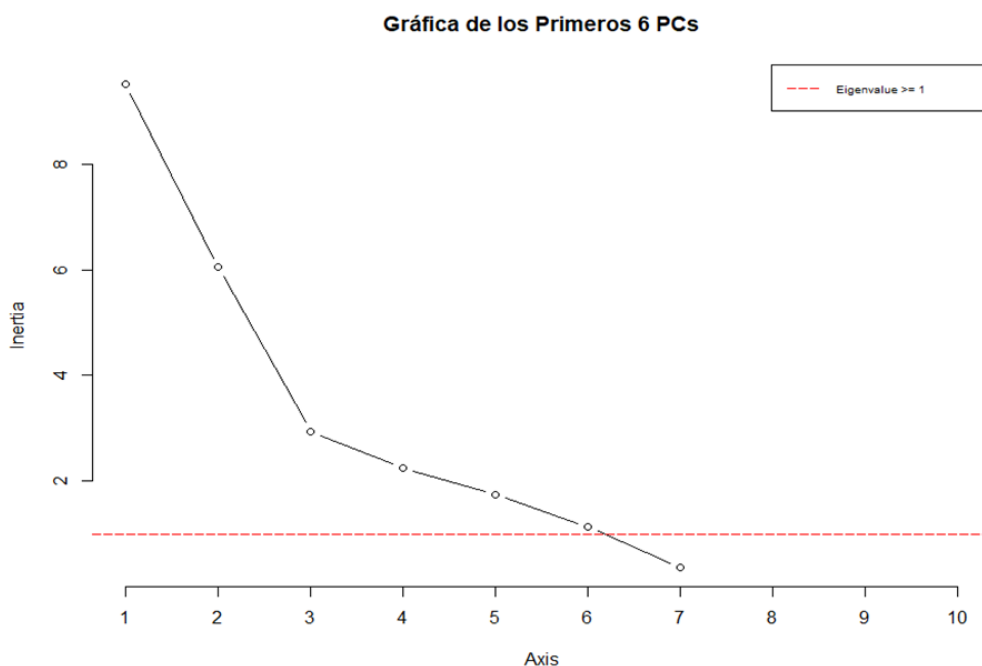


Figura 44. Principales componentes

La gráfica de sedimentación considera los primeros 6 componentes que permite visualizar mejor para la interpretación de las 24 variables a 6 componentes que se necesita para explicar o representar mejor las dimensiones.

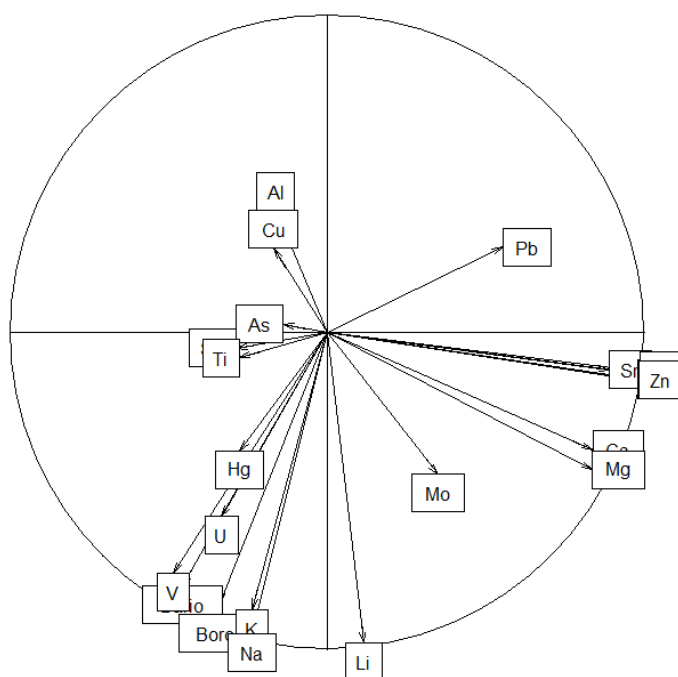


Figura 45. Círculo de correlaciones

La gráfica tiene un círculo unitario 1, en la cual las variables están agrupados o correlacionados fuertemente los que están cerca a radio 1, y existe poca correlación en las variables que están cerca al origen, algunas de las variables están representados en forma opuesta, (Mo Vs Cu), (Pb vs Ti), (Zn Vs As), (Li Vs Al).

En la tabla siguiente, se representan los componentes en la cual están agrupadas las variables en el primer componente: fierro (Fe), manganeso (Mn), cobalto (Co), níquel (Ni), zinc (Zn), talio (Ta), magnesio (Mg), calcio (Ca) y estroncio (Sr); en el segundo componente: boro (B), potasio (K), vanadio (V), sodio (Na), litio (Li) y bario (Ba); en el tercer componente: estaño (Sn), arsénico (As), uranio (U); en el cuarto componente: cobre (Cu), molibdeno (Mo); en el quinto componente: mercurio (Hg), aluminio (Al) y en el sexto componente: titanio (Ti), esto significa que existen 6 grupos bien definidos de los parámetros químicos.

Tabla 21  
*Matriz de componentes rotados*

	Componentes					
	1	2	3	4	5	6
Fe	,989					
Mn	,988					
Co	,985					
Ni	,983					
Zn	,983					
Ta	,971					
Mg	,956					
Ca	,946					
Sr	,842					
Boro		,984				
K		,974				
V		,947				
Na		,942				
Li		,895				
Bario		,769				
Sn			,975			
As			,941			
U			,804			
Pb						
Cu				-,953		
Mo				,926		
Hg					,908	
Al					-,822	
Ti						,954

La presencia de los diferentes componentes se debe a la composición mineralógica.

Para el componente: hierro (Fe), manganeso (Mn), cobalto (Co), níquel (Ni), zinc (Zn), talio (Ta), magnesio (Mg), calcio (Ca) y estroncio (Sr); el Fe es parte de la arsenopirita como sulfuro, el Mn parte de la pirolusita se presenta como óxido, la presencia de Co y Ni, es debido a la composición de mineralógica de rocas andesíticas, el Zn forma de parte del mineral de blenda como sulfuro, el Ca y Mg son parte de las rocas sedimentarias carbonatadas (caliza y dolomía) y Sr es parte de la composición mineralógica de las micas típicos de los tufos volcánicos, el Ta se presenta debido a la presencia de rocas dolomíticas, enriquecidos en los elementos arsénico y plomo.

Para el componente: boro (B), potasio (K), vanadio (V), sodio (Na), litio (Li) y bario (Ba); de los elementos considerados B, Li y V estos son transportados por fuentes hidrotermales en ambientes volcánicos, el K y Na, son componentes de los minerales silicatados entre plagioclasas y feldespatos. El Ba es componente principal de la Baritina como sulfato.

Para el componente: estaño (Sn), arsénico (As), uranio (U); el U y Sn son elementos de alta temperatura, la zona de estudio presenta halos de skarn entre rocas volcánicas y calizas. El As es un elemento de moderada a alta temperatura, lo que indica su ocurrencia en este componente.

Para el componente: cobre (Cu), molibdeno (Mo); estos dos elementos normalmente tienen correlación natural, cuando existen zonas de alteración hidrotermal relacionados a pórfidos de cobre.

Para el componente: mercurio (Hg), aluminio (Al); el Hg está relacionados a vetas de origen hidrotermal y el Al se encuentra normalmente en la alteración argílica.

Para el componente: titanio (Ti); está siempre presente en rocas volcánicas y sedimentarias.

Tabla 22  
*Comparación de los análisis químicos obtenidos del agua en los puntos de muestreo con los ECAs de la normativa peruana*

Parámetros	Unidad	Límites máximos y mínimos obtenidos promedio	Categoría 4: Conservación del ambiente acuático D.S. 004-2017 MINAM	Límites máximos permisibles descarga efluentes minero metalúrgico D.S. 010-2010-MINAM
Arsénico	mg/L	0.00235	0.15	0.1
Bario	mg/L	0.06697	0.7	*
Cadmio	mg/L	0.00069	0.00025	0.05
Cobre	mg/L	0.00132	0.1	0.5
Hierro	mg/L	0.41031	*	2
Mercurio	mg/L	0.00005	0.0001	0.002
Níquel	mg/L	0.00192	0.052	*
Plomo	mg/L	0.00682	0.0025	0.2
Talio	mg/L	0.00032	0.0008	*
Zinc	mg/L	0.22700	0.12	1.5

\* Parámetros no considerados en la norma D.S. N° 010-201-MINAM y D.S. N° 004-2017-MINAM

Fuente: elaboración propia de acuerdo al análisis de laboratorio y ECAs.

Los valores obtenidos en laboratorio, de las muestras (JAY -1 --- JAY-8), vistos en la tabla 17, fueron comparados con los ECAs, D.S. N°. 004-2017 MINAM, D.S. N°. 010 – 2010 MINAM.

De acuerdo a los resultados de los análisis de laboratorio los valores obtenidos de los elementos químicos, muestran que se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles.

Por lo que los pasivos ambientales de la mina Gavilán de Plata, no contaminan el agua del río Loripongo.

### 4.3 Evaluación del grado de contaminación del agua del río Loripongo mediante la matriz Bettelle Colombus

Valoración del Impacto			ESTADO INICIAL																CUALITATIVA		
			IMPORTANCIA												MAGNITUD		VALORACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL				
			ATRIBUTOS						IMPACTO				NEGATIVO		POSITIVO		EX	MAG		CUANTITATIVA	
			N	M	D	P	A	SI	INI	INF	IPI	IPF	EX	MAG	IAI	IAF					
			NATURALEZA	MOMENTO	DURACIÓN	PERIODICIDAD	ACUMULACIÓN	SINERGIAS	EFECTO	REVERSIBILIDAD	RECUPERABILIDAD	IMPACTANCIA NEGATIVA DEL IMPACTO INICIAL	IMPACTANCIA NEGATIVA DEL IMPACTO FINAL	IMPACTANCIA POSITIVA DE IMPACTO INICIAL	IMPACTANCIA POSITIVA DE IMPACTO FINAL	CANTIDAD O EXTENSIÓN	MAGNITUD	IMPACTO AMBIENTAL INICIAL		IMPACTO AMBIENTAL FINAL	
C	N	M	D	P	A	SI	E	RV	RC	INI	INF	IPI	IPF	EX	MAG	IAI	IAF				
DIMENSIÓN FÍSICA	GEOLOGIA	Meteorización	4	-1	3	5	5	5	4	3	5	5	-93	-9	-58	-9	2	6	-7	-7	SEVERO
	GEOMORFOLOGÍA	Erosión	4	-1	4	4	4	4	3	4	3	2	-66	-6	-49	-7	2	6	-6	-6	MODERADO ALTO
		Modificación paisajística	3	-1	5	5	5	4	3	4	5	4	-87	-9	-56	-8	2	5	-7	-7	SEVERO
		Procesos de remoción en masa	4	-1	5	2	1	2	3	4	3	2	-50	-4	-33	-4	2	6	-5	-5	MODERADO
		Socavación	4	-1	4	5	2	3	3	5	3	1	-64	-6	-51	-8	2	6	-6	-6	MODERADO ALTO
		Estabilidad geotécnica	4	-1	3	3	3	1	3	4	3	1	-49	-4	-36	-5	2	6	-5	-5	MODERADO
	Deposición de sedimentos	4	-1	4	4	2	3	3	4	2	1	-55	-5	-45	-7	2	6	-5	-5	MODERADO ALTO	
	SUELO	Cambio en las condiciones físico químicas del suelo	4	-1	3	3	2	3	3	3	4	4	-66	-6	-38	-5	2	6	-6	-6	MODERADO ALTO
		Cambio de uso del suelo	4	-1	3	3	2	3	4	3	3	3	-62	-6	-41	-6	2	6	-6	-5	MODERADO ALTO
	HIDROGEOLOGÍA	Afectación de la calidad de aguas subterráneas	3	-1	3	4	3	4	3	5	4	3	-72	-7	-48	-7	2	5	-6	-6	MODERADO ALTO
		Modificación del nivel freático	3	-1	3	4	2	5	2	2	4	4	-71	-7	-43	-6	2	5	-6	-6	MODERADO ALTO
	AIRE	Deterioro de la calidad del aire	3	-1	5	3	4	3	3	5	3	3	-65	-6	-44	-6	2	5	-5	-5	MODERADO ALTO
		Aumento en decibeles de ruido	3	-1	5	3	4	3	3	5	3	3	-65	-6	-44	-6	2	5	-5	-5	MODERADO ALTO
	RECURSO HÍDRICO	Alteración de la calidad del agua	5	-1	3	1	1	2	3	1	3	3	-44	-4	-23	-3	3	8	-6	-5	MODERADO ALTO
		Disminución del recurso hídrico	4	-1	5	3	4	3	4	5	3	3	-68	-6	-47	-7	2	6	-6	-6	MODERADO ALTO
Disminución en la capacidad de transporte		3	-1	4	3	1	4	4	5	3	3	-66	-6	-45	-7	2	5	-6	-5	MODERADO ALTO	
Alteración del cauce		3	-1	3	3	2	3	1	5	5	5	-69	-7	-34	-5	1	3	-5	-5	MODERADO	
BIÓTICA	ECOSISTEMAS DULCEACUICOLAS	Afectación de la calidad del hábitat dulceacuícola	4	-1	2	2	2	3	3	3	3	-53	-5	-32	-4	2	6	-5	-5	MODERADO ALTO	
		Cambio en la composición y estructura de las comunidades hidrobiológicas	4	-1	4	3	2	3	4	5	3	3	-65	-6	-44	-6	2	6	-6	-6	MODERADO ALTO
	FLORA	Disminución de cobertura vegetal	3	-1	5	5	2	4	4	5	5	5	-92	-9	-57	-9	2	5	-7	-7	SEVERO
		Pérdida de biodiversidad	3	-1	5	5	2	4	4	5	5	5	-92	-9	-57	-9	2	5	-7	-7	SEVERO
		Cambio en la estructura y composición florística	3	-1	5	5	2	4	4	5	5	5	-92	-9	-57	-9	2	5	-7	-7	SEVERO
	FAUNA	Cambio en la riqueza y abundancia (diversidad) en las comunidades de fauna silvestre	3	-1	4	5	3	1	2	3	4	4	-71	-7	-43	-6	4	7	-7	-7	SEVERO
		Fragmentación del hábitat	3	-1	5	5	5	5	5	5	5	5	-100	-10	-65	-10	5	8	-9	-9	CRITICO BAJO
Afectación de especies focales (migratorias, endémicas, restringidas a un hábitat)	5	-1	4	5	3	2	3	3	4	4	-76	-7	-48	-7	4	9	-8	-8	SEVERO		
SOCIOECONÓMICA Y CULTURAL	Demografía / Población	Cambio sobre el componente demográfico	3	-1	2	1	2	2	2	2	2	3	-39	-3	-21	-2	4	8	-6	-5	MODERADO ALTO
	Procesos Económicos	Cambio en la dinámica de empleo	5	1	5	3	4	2	5	5			48	4	48	7	4	8	8	7	BENEFICIOSO
		Cambio en los ingresos de la población	5	1	5	3	3	3	3	5			43	4	43	6	3	6	6	6	BENEFICIOSO BAJO
		Cambio en las actividades económicas	5	1	4	3	3	2	3	4			39	3	39	6	3	6	6	6	BENEFICIOSO BAJO
		Cambio económico por modificación uso del suelo	4	-1	5	3	2	1	1	5	3	3	-53	-5	-32	-4	3	6	-5	-5	MODERADO ALTO
	Procesos Sociopolíticos	Generación de expectativas sociales	4	-1	2	2	2	2	1	1	1	3	-37	-3	-22	-3	4	8	-5	-5	MODERADO ALTO
		Cambio en la capacidad de gestión y participación de la comunidad	5	1	4	3	3	3	3	3			40	3	40	6	3	5	5	5	MUY FAVORABLE ALTO
		Cambios en la seguridad pública	4	-1	3	3	3	1	1	3	2	2	-43	-4	-29	-4	4	7	-5	-5	MODERADO ALTO
	Dimensión Espacial	Cambio en la prestación de servicios públicos y/o sociales	5	-1	5	3	3	2	2	4	3	3	-58	-5	-37	-5	3	6	-6	-5	MODERADO ALTO
		Cambio en el acceso y movilidad	4	-1	2	2	2	3	2	3	1	2	-40	-3	-29	-4	4	8	-6	-5	MODERADO ALTO
Afectación a la salud pública		4	-1	5	3	1	2	1	3	2	2	-45	-4	-31	-4	3	6	-5	-5	MODERADO ALTO	
Desplazamiento involuntario de unidades familiares por compra de		2	-1	5	4	4	2	2	5	4	3	-68	-6	-44	-6	5	io	-8	-8	SEVERO ALTO	
Dimensión Cultural	Pérdida, daño y/o afectación al patrimonio arqueológico	4	-1	5	5	1	1	1	2	5	5	-73	-7	-38	-5	2	4	-5	-5	MODERADO ALTO	



IMPACTOS NEGATIVOS		IMPACTOS POSITIVOS	
Cualificación del Impacto	Unidades de Impacto ambiental (u.i.a)	Cualificación del Impacto	Unidades de Impacto ambiental (u.i.a)
COMPATIBLE	-1	FAVORABLE	1
COMPATIBLE ALTO	-2	FAVORABLE ALTO	2
MODERADO BAJO	-3	MUY FAVORABLE BAJO	3
MODERADO	-4	MUY FAVORABLE	4
MODERADO ALTO	-5	MUY FAVORABLE ALTO	5
SEVERO BAJO	-6	BENEFICIOSO BAJO	6
SEVERO	-7	BENEFICIOSO	7
SEVERO ALTO	-8	BENEFICIOSO ALTO	8
CRITICO BAJO	-9	MUY BENEFICIOSO BAJO	9
CRITICO	-10	MUY BENEFICIOSO	10



Figura 46. Calificación del impacto



Figura 47. Calidad Ambiental

La calidad ambiental en el componente socioeconómico tiene una repercusión significativa por la actividad económica de la zona. La fauna cuenta con una calidad ambiental muy favorable por ser una zona muy acogedora. La flora presenta una diversidad amplia con una cobertura vegetal significativa. Los ríos y arroyos de agua dulce presentan una calidad significativa. El aire presenta una calidad ambiental buena por ser una zona despoblada. El suelo presenta calidad significativa. La geomorfología presenta una calidad natural. La geología cuenta con una calidad ambiental significativa.

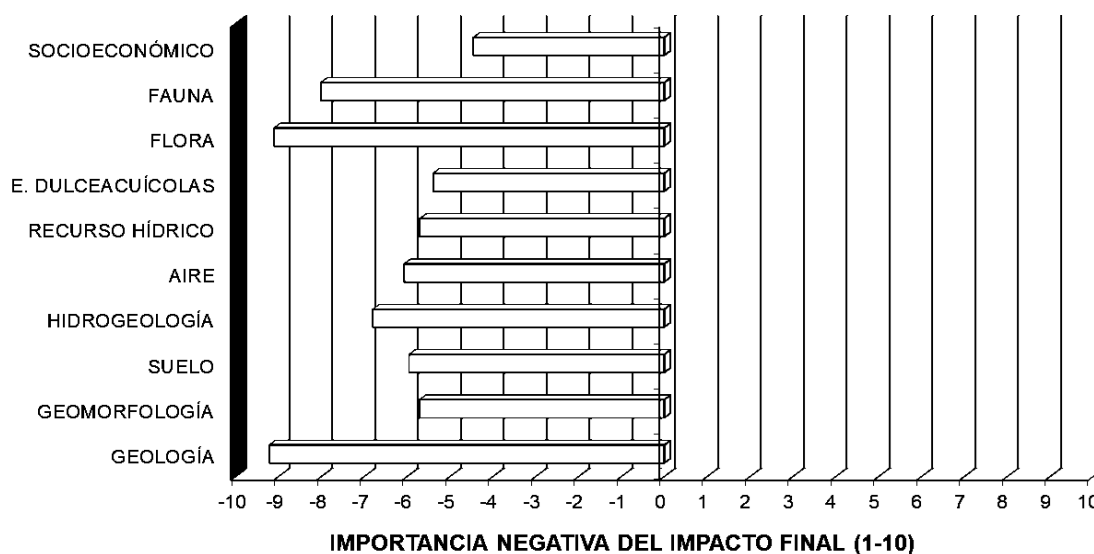


Figura 48. Importancia Negativa del Impacto Ambiental

En la importancia negativa de los impactos se identifica cuán significativo es el daño del proyecto al medio ambiente y social, para lo cual se tiene que realizar planes de contingencia.

La importancia negativa en el componente socioeconómico no es significativo debido a la generación de puestos laborales producto de la mina. En la flora y fauna se tiene una gran importancia porque directa o indirectamente afecta en toda la zona del proyecto para lo cual se tiene que realizar planes de contingencia. En las zonas dulceacuícolas y recurso hidrológico tiene una importancia relativa se debe proponer planes de contingencia. El aire, las aguas subterráneas y suelo tienen una importancia relativa que debido a la actividad minera tiende a ser afectado negativamente. En el aspecto geológico se tiene la meteorización del suelo y la modificación del paisaje, debido a la actividad de movimiento de tierras, por lo tanto se debe realizar planes de contingencia.

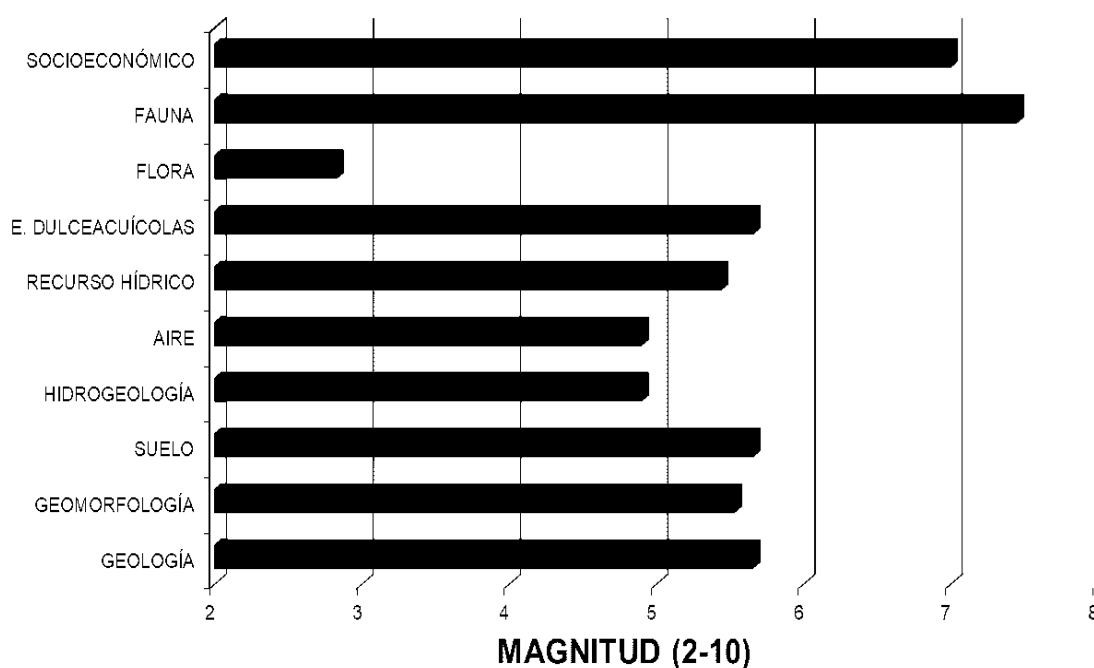


Figura 49. Magnitud del impacto del proyecto

En el aspecto socioeconómico presenta una gran extensión por la oportunidad laboral que beneficia a gran cantidad de personas. En la fauna presenta una gran magnitud por las especies migran a otros lugares por los impactos que ocasiona la actividad minera, la flora solo se afecta en la zona del proyecto. En el aspecto dulceacuícolas y recursos hídricos por la actividad minera los ríos transportan los residuos a otras extensiones. El aire es afectado por el polvo y gases de la actividad minera son trasportados a otros lugares por

acción eólica, los suelos son afectados en una magnitud regular. En el aspecto geológico la modificación del paisaje cuenta con una magnitud regular así como la meteorización.

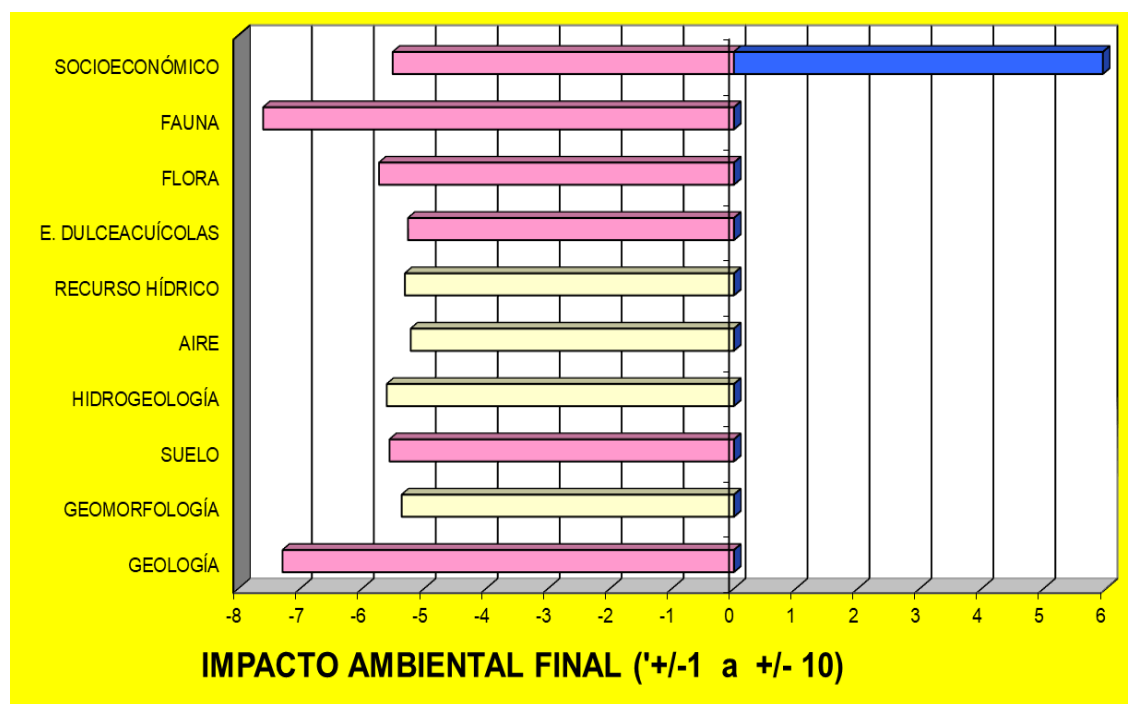


Figura 50. Impacto ambiental final

En el impacto final se muestra el resultado final del impacto positivo o negativo del proyecto.

En el aspecto socioeconómico se tiene impacto positivo por la actividad laboral que trae el proyecto. La fauna y flora presentan un impacto negativo. El aspecto dulce acuícola y recurso hídrico presenta un impacto moderado. El aire, el suelo presenta un impacto moderado. El aspecto geológico como la meteorización y la modificación del paisaje presenta un impacto alto.

## CONCLUSIONES

- Los valores obtenidos de los parámetros físicos químicos como el pH, presentan valores de una media de 8.58. Potencial de óxido reducción (ORP) presenta una media de 128.97mV. Demanda de oxígeno (DO) tiene una media de 5.349 ppm. Conductividad eléctrica (CE) presenta una media de 479.5 mS. Total de sólidos en suspensión (TDS), tiene un valor promedio de 0.27 ppm. Salinidad (PSU), presenta una media de 0.1324 ppm. Turbidez (FNU), y según las variables estadísticas presenta una media de 12.11 UNT.

Hecho el análisis de varianza ANOVA, para los parámetros fisicoquímicos considerados en el estudio, se obtiene que no es significativo.

- Los resultados según el cuadro de los análisis químicos realizados por elemento en ocho muestras, los valores de los elementos considerados como contaminantes, son los siguientes: Arsénico (As), promedio 0.00235 mg/l; Cadmio (Cd), promedio 0.00066 mg/l; Mercurio (Hg), promedio 0.00005 mg/l; Plomo (Pb), promedio 0.00682 mg/l. Se concluye que en base al D.S.010-2010 del MINAM, D.S. 004-2017-MINAM que los valores de los parámetros fisicoquímicos de agua obtenidos en campo, y análisis químico obtenidos en laboratorio están dentro de los límites máximos permisibles.
- Los análisis de los componentes principales de los resultados químicos, presentan 6 componentes principales, con un 98.42% de variabilidad, lo cual es confiable para una mejor explicación de los componentes principales. En el círculo de correlaciones la presencia de los diferentes componentes se debe a su composición mineralógica de los elementos.



- Realizada la interpretación mediante la matriz de identificación ambiental Bettelle Columbus, se muestra que en la actividad de exploración no se presentan impactos negativos más así los positivos. en la activad de explotación se presentan impactos negativos en la fauna.

### RECOMENDACIONES

- Hacer estudios de sedimentos de quebradas caracterizando solo los elementos químicos y metales pesados para comparar los niveles de concentraciones de los elementos químicos en agua y sedimento.
- Realizar estudios de análisis químico de los elementos y metales pesados en el río Loripongo desde el curso superior hasta el curso inferior para con ello complementar la información.
- De reiniciar las operaciones mineras de explotación, se recomienda implementar Planes de Manejo Ambiental, realizar un adecuado Estudio de Impacto Ambiental semi detallado, cumpliendo con los estándares de calidad ambiental según la norma, para evitar los impactos ambientales negativos al medio ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Absalon, D. & Matysik, M. (2007). Changes in water quality and runoff in the Upper Oder River Basin. *Geomorphology*, 92 (3–4), 106–118. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/248512885\\_Changes\\_in\\_Water\\_Quality\\_and\\_Runoff\\_in\\_the\\_Upper\\_Oder\\_River\\_Basin](https://www.researchgate.net/publication/248512885_Changes_in_Water_Quality_and_Runoff_in_the_Upper_Oder_River_Basin)
- Amezaga, J. & Balvín, D. (2006). *Environmental Regulation of Mine Waters in South América*. Retrieved from <http://www.labor.org.pe/webermisa/images/ERMISA%20D1.pdf>
- Andaluz, C. (2011). *Manual de Derecho Ambiental* (3ra ed.). Lima: Lustitia.
- Andía Chavez, J. (2013). *Manual de Derecho Ambiental* (2da ed.). Lima Impresión Evolution Graphic.
- Andía, W. & Andía, J. (2016) *Manual de Gestión Ambiental* (4ta ed.). Lima Colecciones Jovic.
- Arellano, D. J., & Guzmán, P. J. (2016). *Ingeniería Ambiental*. México: Alfaomega.
- Bebbington, A. & Wylliams, M. (2007). *Minería y desarrollo en el Perú: con espacial referencia al proyecto Rio Blanco, Piura*. Lima: Oxfan Internacional; IEP; CIPCA; PSG.
- Camacho, A (2000). *Términos Ambientales*. La Habana.
- Canales, G.A. (2009). *Investigación Científica*. Puno: El Altiplano S.R.L.
- Canter, L. W. (1977). *Environmental impact assessment*. México: McGraw-Hill.
- Canter, L.W. (2002). *Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. Técnicas para elaboración de Estudios de Impacto* (I. Español trad.). Madrid: McGraw Hill.
- Carranza, R (2001). *Medio Ambiente problemas y Soluciones*. Universidad Nacional del Callao - Lima

- Carretero, A. (2008). *Análisis y Evaluación de Riesgo Ambiental (Exposición NORMA UNE 15008 – 2008)*. España: AENOR,
- Casto, J. & Monroy, M. (2002). *Parámetros Geológicos de Protección Ambiental, Geoquímica, Minería y Medio Ambiente San Luis Potosí*. México: UNESCO – INGEMMET – Perú.
- Cecconi, P., Franceschini, F., & Galetto, M. (2006). Measurements, evaluations and preferences: A scheme of classification according to the representational theory. *Measurement*, 39(1), 1–11. <http://doi.org/10.1016/j.measurement.2005.10.012>.
- Chincheros, J. (2009). *Muestreo de Aguas y Sedimentos y preservación. Laboratorio de Calidad Ambiental*. Bolivia: UMSA.
- Cohen, M., & Nagel, E. (1968). *Introducción a la lógica y al método científico II*. Buenos Aires: Amorrurto.
- Conesa Fernández, V. V. (2013). *Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental (4<sup>ta</sup> ed.)*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Conesa, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental (4th ed.)*. Madrid: Mundi Prensa.
- De La Puente, L (2008). La industria y la rigidez actual en la aplicación de los límites máximos permisibles: *Themis, Revista de Derecho*, (56), 219-229.
- Dee, N., Baker, J., Drobny, N., Duke, K., Whitman, I., & Fahringer, D. (1973). An environmental evaluation system for water resource planning. *Water Resources Research*, 9(3), 523–535. <http://doi.org/10.1029/WR009i003p00523>
- Defensoría del Pueblo. (2016). *Minería, desarrollo sostenible y derechos ciudadanos: una aproximación inicial de la Defensoría del Pueblo*. Lima 2005. Reporte de Conflictos Sociales N°. 136 junio 2015 N° 143 Enero 2016, N° 145. Marzo 2016.
- Díaz, F., OPS/CEPIS/PUB/99,34. (1999). *Metodología y Evaluación de riesgos para la Salud en Sitios Contaminados*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, Organización panamericana de la Salud, Agencia Alemana de Cooperación técnica.
- Díez, J. A., & Moulines, C. U. (1997). *Fundamentos de filosofía de la ciencia*. Barcelona: Ariel. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=33568>
- Duffus, J. (2002). Heavy Metals- A Meaningless Term International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) Technical Report. *Pure Applied Chemical* 74, (5), 793-807.

- EPA (2011). *Makah Tribe. Water Quality Standars for Surface Water*. Environmental Protection Agency.
- Español, E. I (2016). Evaluación del Impacto Ambiental. Fundamentos
- Etxeberria, P., Edeso, J. & Brazaola, A. (2005). Metodología para crear mapas de peligros naturales en Guipúzcoa utilizando SIG. *GeoFocus*, (5), 250-267-
- Franco, L. J (2015). *Evaluación del Impacto Ambiental*. México: Trillas.
- García, A. J., Meseguer, V. y Lozano, L. J. (1986). Impacto hidrológico del cierre de minas. El caso de la Sierra Minera de Cartagena y La Unión. *Ingeniería Química*. 195-197.
- Garmendia Salvador A. (2010). *Evaluación de Impacto Ambiental*. España: Pearson Prentice Hall.
- Gómez, O. D. (2003). Evaluación de impacto ambiental. Madrid: Ediciones Mundi Prensa
- Gómez, O. D. (2004). Recuperación de espacios degradados. Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
- Gonzales, G. F., Zevallos, A., Gonzales-Castaneda, C., Nunez, D., Gastanaga, C., Cabezas, C., Naeher, L., Levy, K. & Steenland, K. (2014). Environmental pollution, climate variability and climate change: a review of health impacts on the Peruvian population. *Rev. Peru Med. Exp. Salud Pública*, 31(3),547–56.
- Hamilton, L., Simpson, S. & Ellis, D (1988). *Cálculos de Química Analítica*. México: Mc Graw Hill.
- Harwell, M. R., & Gatti, G. G. (2001). Rescaling ordinal data to interval data in educational research. *Review of Educational Research*, 71(1), 105–131.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2010). *Metodología de la investigación* (5th ed.). México D.F.: Mc Graw Hill.
- Jenks, W. (1946). Geología del cuadrángulo San Miguel 27 –O”. *Boletín*, (83). Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET),
- Macias, F., Carballo, M. & Nieto, M. (2012) Enviromental assessment and management of of metal-rich watstes generated in acid mine draingane passive remediation system. *Jorunal of Hazardous Materials*, 229-230, 107-114.
- Marocco, R. & Del Pino, M. (1966) Geología de cuadrángulo de Ichuña (33u). *Boletín* (14). Lima: INGEMMET.
- Mars Llopis, V. (2000). *Psicología Experimental: Conceptos, Clasificación de Variables y Representación Gráfica*. Retrieved from <http://www.psicologia-online.com/pir/medicion-y-escalas-de-medida.html>.

- Massolo, L. (2015). *Introducción a las herramientas de Gestión Ambiental*. La Plata: Universidad la Plata.
- May, P. F. (2010) *Guía Metodológica para la elaboración de una E.I.A.* La Plata: Leopold.
- McClintock, T. R., Chen. Y., Bundschuh, J., Oliver, J. T., Navoni, J., Olmos, V., Lepori, E. V., Ahsan, H. & Parvez, F. (2012). Arsenic exposure in Latin America: biomarkers, risk assessments and related health effects. *Sci Total Environ.*, (429), 76–91.
- Medina-Pizzali, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 35(1), 93-102. <https://dx.doi.org/10.17843/rpmesp.2018.351.3604>
- Mejía, J., Carrizales, I., Rodriguez, M. & Jimenez, M. (1999) Un Método para la Evaluación de riesgos para la salud en zonas mineras. *Salud pública Méx.* 41(2), 132-140.
- Mihelcic J. R. & Zimmerman, J. B. (2014). *Ingeniería Ambiental Fundamental- Sustentabilidad- Diseño*. México: Alfa omega.
- MINAM (2010) Ministerio del Ambiente. *Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales*
- Ministerio de Energía y Minas (2013). *Guía para la Evaluación del Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo Resolución Ministerial N°. 121-2013*.Lima.
- Mosterín, J. (2002). *Epistemología y racionalidad*. Lima: Universidad Inca Garcilaso de la Vega.
- NEPA (2017) Ministerio del Ambiente. *Guía para la elaboración de la Línea de Base*.
- Newelln, D. (1949). Geology of the Lake Titicaca region, Peru and Bolivia. *Geological Society of America Memory*, 36(III).
- Núñez, Y., García, N. & Nieto, M., (2005). *La Norma UNE 150008 EX; Análisis y Evaluación de Riesgo Medioambiental en el Régimen Comunitario de responsabilidad Medioambiental. Seminario organizado por la red española y catalán*. España: División de medio Ambiente – Área de Gestión Medioambiental, Departamento de ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente, Universidad de Valladolid.
- Obando, A. (1999). *Aspectos organizativos, institucionales de los productores de las comunidades de mineros artesanales*. Lima: Ekamolle.
- Peña, C., Carter, D. & Ayala Fierro, F. (2001). *Toxicología Ambiental - Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental*. EE.UU: Universidad de Arizona.



- Pérez Capa, M. (2017). *Evaluación de Riesgo Ambiental en el Área de Influencia Minera del Río Crucero por Plomo y Mercurio Distrito de Ananea*. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Puno, Perú.
- Pérez, J. & Merino, M. (2016) Definición de Riesgo ambiental. Retrieved from <https://definiciónderiesgo-ambiental>).
- PERÚ-MEM. (2015). Aprueban Términos de Referencia Comunes para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental Detallados y Semidetallados de las actividades de Exploración, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero y otros, en cumplimiento del D.S. N°. 040-2014-EM, R.M. No 116-2015-MEM/DM (2015).
- Reservasvalle, G. (2007). *Flora y Fauna*. Retrieved from <http://www.Reservasvalle.galeon.com/concepto/defaunayflora.html>.
- Romero, J. (1999) Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas de Estabilización. España: Alfaomega.
- Skoog, D., Holler, J. & Crouch, S. (2007) Principles of Instrumental Analysis (6ta ed.). Belmont: Thomson.
- Stevens, S. S. (1946). *On the theory of scales of measurement*. Indiana: Bobbs-Merrill, College Division. Retrieved from [http://gaius.fpce.uc.pt/niips/novoplano/mip1/mip1\\_201314/scales/Stevens\\_1946.pdf](http://gaius.fpce.uc.pt/niips/novoplano/mip1/mip1_201314/scales/Stevens_1946.pdf).
- Theis, T. & Tomkin, J. (2013). *Sustainability A. Comprehensive Foundation*. Houston: Rice University.
- Universidad Nacional de Colombia. (n.d.). *Seminario de investigación*. Retrieved from <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/odontologia/2002890/index.html>
- Valdivia, M. (2005). Infantas Intoxicación por Plomo. *Rev.Soc.Medicina Interna*. 18 (1), 22-27. Retrieved from [http://medicinainterna.org.pe/revista/revista\\_18\\_1\\_2005/Intoxicacion.pdf](http://medicinainterna.org.pe/revista/revista_18_1_2005/Intoxicacion.pdf)
- Zilbert, L. (2001). *Gestión local del riesgo, Material de apoyo para la capacitación; Desarrollando contenidos*. Managua: Secretaría Ejecutiva del Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres –PNUD – COSUDE – Proyecto TGL/INIFOM.



**ANEXOS**

**Anexo 1.** Formatos de cadenas de custodia

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DEL RIO LORIPONGO GENERADO POR LOS PASIVOS AMBIENTALES MINA GAVILAN DE PLATA - LARAQUERI – PUNO”										
FORMULARIO PARA TOMA DE MUESTRAS LIQUIDAS						CADENA DE CUSTODIA				
FORMATO DE CAMPO										
Código de la muestra	Hora de muestreo	Coordenadas		Matriz líquida-lugar		Nro. De contenedor	Parámetros <i>in situ</i>			Observaciones
		Latitud	Longitud	Tipo de muestra	Lugar de muestreo		Ph	ORP DO	CE. TDS.	
M1										
M2										
M3										
M4										
M5										
M6										
M7										
M8										

Personal de Muestreo: .....

Nombre de custodio: .....

Firma: .....

**Anexo 2.** Protocolos de muestreo.**Preparación****Protocolo de limpieza (frascos y materiales para toma de muestras)**

Material nuevo:

- Limpieza con agua caliente y detergente
- Enjuague con agua de pila y luego con agua destilada
- Inmersión en baño de HNO<sub>3</sub> 10% (v/v) 10 días
- Enjuague con agua destilada y desionizada (Milli-Q)
- Inmersión en baño HNO<sub>3</sub> 5% (v/v) 5 días
- Enjuague con agua destilada y desionizada

Material que fue utilizado:

- Enjuague con agua de pila
- Enjuague con agua destilada
- Inmersión en baño HNO<sub>3</sub> 5% (v/v) 5 días
- Enjuague con agua destilada y desionizada

Todos los frascos preparados deben conservarse hasta la toma de muestra en bolsas de polietileno.

**Protocolo de muestreo****Recomendaciones**

- No salir solo a tomar muestras.
- El coordinador debe conocer el itinerario de muestreo.
- Tomar precauciones para muestreo de aguas superficiales.
- Llevar el implemento de seguridad personal.
- Llevar identificación personal y una radio de comunicación.

**Muestreo simple**

- Se refiere a la toma de muestra puntual en un tiempo.
- Esta muestra representará las características físicas, químicas y bacteriológicas en ese instante.

**Es recomendable el muestreo simple:**

- Cuando el cuerpo de agua no presenta alteraciones a lo largo de ella.
- Cuando no se tiene efluentes alguno en toda su trayectoria.

**Parámetros determinados “in situ”****pH**

- La concentración del ión hidrógeno del agua se expresa por su valor de pH. Un valor de pH de 7 indica una solución neutra.
- Medio para estabilizar: ninguno.
- Conservar en refrigeración a 4°C.
- Tiempo de almacenaje 6 horas.
- Analizar inmediatamente.
- El pH es importante en:
  - Disolución de minerales
  - Ionización de ácidos y bases
  - Especiación de metales
  - Biodisponibilidad de metales

**Conductividad Eléctrica**

- La conductividad eléctrica es la capacidad de una sustancia de conducir la corriente eléctrica. Es el opuesto a la propiedad llamada resistencia eléctrica.
- Medio para estabilizar: ninguno.
- Conservar en refrigeración a 4°C.
- Tiempo de almacenaje 28 días.
- Analizar inmediatamente.

**Anexo 3. Límites máximos permisibles**

Tabla 23

*Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica*

Parámetros	Unidad de medida	Límite Máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	MgL <sup>-1</sup>	1 000
8. Cloruros	mg Cl <sup>-1</sup> L <sup>-1</sup>	250
9. Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> L <sup>-1</sup>	250
10. Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	500
11. Amoniaco	mg N L <sup>-1</sup>	1,5
12. Hierro	mg Fe L <sup>-1</sup>	0,3
13. Manganeso	mg Mn L <sup>-1</sup>	0,4
14. Aluminio	mg Al L <sup>-1</sup>	0,2
15. Cobre	mg Cu L <sup>-1</sup>	2,0
16. Zinc	mg Zn L <sup>-1</sup>	3,0
17. Sodio	mg Ma L <sup>-1</sup>	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

Fuente: (DIRESA, 2011)



Tabla 24

*Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos y orgánicos*

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L <sup>-1</sup>	0,020
2, Arsénico (nota 1)	mg As L <sup>-1</sup>	0,010
3, Bario	mg Ba L <sup>-1</sup>	0,700
4, Boro	mg B L <sup>-1</sup>	1,500
5. Cadmio	mg Cd L <sup>-1</sup>	0,003
6. Cianuro	mg CN <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L <sup>-1</sup>	5
8. Clorito	mg L <sup>-1</sup>	0,7
9. Clorato	mg L <sup>-1</sup>	0,7
10. Cromo total	mg Cr L <sup>-1</sup>	0,050
11. Fluor	mg P L <sup>-1</sup>	1,000
12. Mercurio	mg Hg L <sup>-1</sup>	0,001
13. Níquel	mg Ni L <sup>-1</sup>	0,020
14. Nitratos	mg NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	50,00
15. Nitritos	mg NO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L <sup>-1</sup>	0,010
17. Selenio	mg Se L <sup>-1</sup>	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L <sup>-1</sup>	0,07
19. Uranio	mg U L <sup>-1</sup>	0,015

Fuente: (DIRESA, 2011)

Tabla 25.

Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
2. E. Coli	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
4. Bacterias Heterotróficas	UFC/100 mL a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y oquistes de protozoarios patógenos.	N° org/L	0
6. Virus	UFC/mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nematodos en todos sus estadios evolutivos	N° org/L	0

UFC = Unidad formadora de colonias

(\*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples. = &lt; 1,8 ml.

Fuente: (DIRESA 2011)

**Anexo 4. Análisis ANOVA**

Tabla 25

Variable de respuesta: pH

F. de V.	GL.	S.C.	C.M.	Fc	Pr(>F)
Equipos	2	5.0991	2.54955	10.183	0.0002766 ***
Residuals	39	9.7649	0.25038		

C.V. = 5.63%

statistics

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
0.2503826	39	8.885952	5.631163	0.4607711

\$parameters

test name.t	ntr	StudentizedRange	alpha
Tukey	trat 3	3.445459	0.05

Tabla 26

Prueba de comparación de promedio de tukey ( $p \leq 0,05$ ) para la variable pH.---

Equipos	Promedio ± std*	n	Min - Max
Horiba	9.20 ± 0.41 <sup>a</sup>	14	8.46 - 9.76
Hanna_9826	9.05 ± 0.65 <sup>a</sup>	14	7.76 - 9.76
Hanna_combo	8.40 ± 0.40 <sup>b</sup>	14	7.51 - 9.09

\*Letras iguales en la misma columna indican similitud, caso contrario son diferentes.

Tabla 27

Analysis of Variance para la variable conductividad eléctrica.

Response: CE

F. de V.	GL.	S.C.	C.M.	Fc	Pr(>F)
Equipos	2	60	29.8	0.0063	0.9937 no es significativo (ns)
Residuals	39	184331	4726.4		

CV.= 18.24%

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
4726.441	39	376.9286	18.2393	63.30679

test name.t	ntr	StudentizedRange	alpha
Tukey	trat 3	3.445459	0.05

means

	CE	std	r	Min	Max	Q25	Q50	Q75
Hanna_9826	375.7857	64.15268	14	298	567	352.50	361.5	379.75
Hanna_combo	376.4286	75.40732	14	270	600	350.00	370.0	380.00
Horiba	378.5714	66.16264	14	309	577	344.75	362.0	380.00

groups

	CE groups
Horiba	378.5714 a
Hanna_combo	376.4286 a
Hanna_9826	375.7857 a

**VERIFICACIÓN DE LOS SUPUESTOS DE NORMALIDAD DE ANOVA**

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)

Df F value Pr(>F)  
group 2 0.0363 0.9644 no es significativo (ok)  
39

Bartlett test of homogeneity of variances

data: CE by trat

Bartlett's K-squared= 0.37977,df=2,p-value = 0.8271 no es significativo(ok)

Tabla 28

*Analysis of Variance Table*

Response: TEMPE

F.de V.	GL.	S.C.	C.M.	Fc	Pr(>F)
trat	2	180.16	90.079	23.65	1.877e-07 ***
Residuals	39	148.54	3.809		

CV. = 15.56%

statistics

MSerror Df Mean CV MSD  
3.808828 39 12.54286 15.55963 1.797127

parameters

test name.t ntr StudentizedRange alpha  
Tukey trat 3 3.445459 0.05

Equipos	Promedio±std	n	Min - Max
Horiba	15.46 ± 1.49 <sup>a</sup>	14	12.4 - 17.7
Hanna_combo	11.26 ± 2.22 <sup>b</sup>	14	8.3 - 16.5
Hanna_9826	10.90 ± 2.06 <sup>b</sup>	14	8.2 - 15.2

comparison

groups

TEMPE groups  
Horiba 15.46429 a  
Hanna\_combo 11.26429 b  
Hanna\_9826 10.90000 b

**VERIFICACIÓN DE LOS SUPUESTOS DE ANOVA.**

Shapiro-wilk normality test

data: residuals(model2)

w = 0.964, p-value = 0.2049 no significativo (ok)

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)

Df F value Pr(>F)  
group 2 0.8092 0.4526 no significativo (ok)  
39

Bartlett test of homogeneity of variances

data: TEMPE by trat  
 Bartlett's K-squared =2.0243, df =2, p-value = 0.3634 no significativo (ok)

Tabla 29  
*Analysis of Variance Table*

Response: TDS

F. de V.	GL.	S.C.	C.M.	Fc	Pr(>F)
Equipos	2	0.032038	0.0160190	6.1531	0.004758 ** significativo
Residuals	39	0.101533	0.0026034		

C.V. = 22.95%

statistics

MSerror	Df	Mean	CV	MSD
0.002603408	39	0.2223095	22.95161	0.04698446

parameters

test name.t	ntr	StudentizedRange	alpha
Tukey trat	3	3.445459	0.05

Tabla 30  
*Prueba de comparación de promedios para la variable TDS*

Equipos	Promedio ± std	n	Min - Max
Hanna_9826	0.24 ± 0.04 <sup>a</sup>	14	0.18 - 0.36
Horiba	0.24 ± 0.06 <sup>a</sup>	14	0.12 - 0.32
Hanna_combo	0.18 ± 0.04 <sup>b</sup>	14	0.13 - 0.31

groups

	TDS	groups
Hanna_9826	0.2442857	a
Horiba	0.2392857	a
Hanna_combo	0.1833571	b

attr("class")  
 [1] "group"

**VERIFICACIÓN DE LOS SUPUESTOS DE ANOVA**

Shapiro-wilk normality test

data: residuals(model2)  
 W = 0.96582, p-value = 0.2374 NO SIGNIFICATIVO (OK)

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)

group	Df	F value	Pr(>F)
2	2	2.6359	0.08439 NO SIGNIFICATIVO (OK).
39			

Bartlett test of homogeneity of variances

data: TDS by trat  
 Bartlett's K-squared = 3.2184, df = 2, p-value = 0.2 NO SIGNIFICATIVO (OK)

**Anexo 5. Varianza total**

Observaciones originales

	Al	As	Bario	Boro	Ca	Co	Cu	Sn	Sr	Fe
Li										
1	0.210	0.00070	0.05690	0.034	44.0	0.00007	0.00117	0.00034	0.65199	0.05670
	0.02283									
2	0.043	0.01005	0.05497	0.029	61.8	0.00026	0.00140	0.00087	0.67993	0.13955
	0.04203									
3	0.031	0.00050	0.05407	0.020	43.7	0.00029	0.00127	0.00007	0.60117	0.05749
	0.02308									
4	0.026	0.00202	0.05498	0.207	40.1	-0.00004	0.00158	0.00020	0.49560	0.01589
	0.21516									
5	0.010	0.00049	0.05759	0.024	44.6	0.00007	0.00111	0.00009	0.62039	0.02034
	0.01963									
6	0.025	0.00142	0.13133	0.361	58.4	-0.00004	0.00099	0.00033	0.62956	0.02250
	0.66288									
7	0.020	0.00149	0.04229	0.041	91.9	0.01607	0.00125	0.00008	0.95889	2.87000
	0.32154									
8	0.052	0.00216	0.07959	0.082	52.5	0.00009	0.00179	0.00008	0.45544	0.10003
	0.09813									
	Mg	Mn	Hg	Mo	Ni	Pb	K	Na	Ta	Ti
U										
1	8.22	0.01360	1.9e-05	0.00069	0.00059	0.00039	1.15	3.99	-0.00003	6e-04
	0.00007									
2	9.27	0.02591	6.4e-05	0.00049	0.00073	0.00041	1.42	4.66	0.00007	5e-04
	0.00040									
3	8.31	0.00826	4.8e-05	0.00068	0.00058	0.02641	1.05	3.94	0.00026	2e-04
	0.00010									
4	10.20	0.00237	3.6e-05	0.00033	0.00023	0.00191	2.46	15.20	-0.00003	2e-04
	0.00016									
5	8.51	0.00595	7.1e-05	0.00073	0.00041	0.00576	1.15	3.96	0.00012	2e-04
	0.00011									
6	11.70	0.00492	7.0e-05	0.00096	0.00014	0.00056	2.83	41.70	0.00004	5e-04
	0.00036									
7	19.80	0.42641	4.0e-05	0.00080	0.01237	0.01680	1.63	8.09	0.00193	3e-04
	0.00011									
8	11.90	0.00817	6.7e-05	0.00041	0.00033	0.00235	1.92	7.79	0.00014	1e-03
	0.00016									
	V	Zn								
1	0.00029	0.00544								
	0.00028	0.02414								
3	0.00020	0.06467								
	0.00184	0.01934								
5	0.00021	0.01986								
	0.00217	0.00552								
7	0.00013	1.66000								
	0.00106	0.01702								

Matriz de correlaciones de Pearson

	Al	As	Bario	Boro	Ca	Co
Al	1.00000000	-0.10485240	-0.11326268	-0.23038554	-0.26065907	-0.19988254
As	-0.10485240	1.00000000	-0.11421258	-0.13673634	0.21601769	-0.10056720
Bario	-0.11326268	-0.11421258	1.00000000	0.82872941	-0.08209294	-0.35686445
Boro	-0.23038554	-0.13673634	0.82872941	1.00000000	-0.06221705	-0.20904171
Ca	-0.26065907	0.21601769	-0.08209294	-0.06221705	1.00000000	0.89190382
Co	-0.19988254	-0.10056720	-0.35686445	-0.20904171	0.89190382	1.00000000
Cu	-0.08531923	0.26482870	-0.26272853	-0.17175135	-0.12317784	-0.10637684
Sn	0.19147558	0.88985611	0.06170810	0.02247969	0.06574905	-0.25789465
Sr	-0.04336601	0.06368298	-0.30402534	-0.25218422	0.84366826	0.86422739
Fe	-0.19326309	-0.07634576	-0.35607888	-0.21407924	0.90138690	0.99946562
Li	-0.31208260	-0.15597203	0.74051999	0.86934879	0.40358441	0.24884478
Mg	-0.30935715	-0.08479285	-0.05858155	0.08264530	0.90428235	0.92141260
Mn	-0.18464727	-0.06854969	-0.36096690	-0.21755528	0.90217908	0.99923517
Hg	-0.65658372	0.27030100	0.50327611	0.22125203	0.04907993	-0.24938106
Mo	-0.01108780	-0.37683530	0.41790495	0.23420868	0.36889647	0.31117396
Ni	-0.18184441	-0.08675320	-0.37585719	-0.23165832	0.89138855	0.99952850



Pb	-0.30681665	-0.34205438	-0.39359230	-0.39642932	0.21739943	0.43004567
K	-0.31986243	-0.02099488	0.70014400	0.93601495	0.08493664	-0.05936795
Na	-0.24663067	-0.13206288	0.88819224	0.96709275	0.08496397	-0.10952482
Ta	-0.25990611	-0.12519543	-0.35855876	-0.24986132	0.88228823	0.99143244
Ti	0.38720970	0.18249835	0.37057667	0.04531454	0.03234089	-0.20149539
U	-0.29507922	0.73854230	0.54563595	0.49093898	0.18382558	-0.23724659
V	-0.21692317	-0.11212706	0.74262490	0.94904026	-0.21936644	-0.33205084
Zn	-0.21037101	-0.11091233	-0.35968425	-0.20751385	0.88610264	0.99977007
		Cu	Sn	Sr	Fe	Li
Mg						
Al	-0.085319228	0.191475576	-0.04336601	-0.19326309	-0.312082603	-
	0.309357154					
As	0.264828703	0.889856108	0.06368298	-0.07634576	-0.155972034	-
	0.084792855					
Bario	-0.262728532	0.061708100	-0.30402534	-0.35607888	0.740519994	-
	0.058581548					
Boro	-0.171751350	0.022479694	-0.25218422	-0.21407924	0.869348790	
	0.082645304					
Ca	-0.123177840	0.065749052	0.84366826	0.90138690	0.403584414	
	0.904282352					
Co	-0.106376844	-0.257894652	0.86422739	0.99946562	0.248844776	
	0.921412598					
Cu	1.000000000	-0.057758856	-0.49043585	-0.08886222	-0.350902386	
	0.043221894					
Sn	-0.057758856	1.000000000	0.06850693	-0.23810695	-0.043872819	-
	0.272406096					
Sr	-0.490435850	0.068506935	1.000000000	0.86268158	0.217381427	
	0.687130039					
Fe	-0.088862217	-0.238106945	0.86268158	1.000000000	0.244367726	
	0.925345618					
Li	-0.350902386	-0.043872819	0.21738143	0.24436773	1.000000000	
	0.491223760					
Mg	0.043221894	-0.272406096	0.68713004	0.92534562	0.491223760	
	1.000000000					
Mn	-0.106233006	-0.222770901	0.87414899	0.99966950	0.242336369	
	0.918829614					
Hg	-0.002573919	0.106906872	-0.22764123	-0.24349415	0.209337272	-
	0.062716107					
Mo	-0.896473541	-0.141739584	0.56424857	0.29731874	0.532422560	
	0.257306614					
Ni	-0.108996592	-0.241237046	0.87282449	0.99932165	0.227548083	
	0.911975999					
Pb	-0.131370454	-0.496545962	0.36335658	0.41437660	-0.159656289	
	0.239937920					
K	0.117585788	0.006991592	-0.23913011	-0.05784746	0.831144024	
	0.277198608					
Na	-0.337387252	0.045271128	-0.08649325	-0.11445095	0.935279322	
	0.162872319					
Ta	-0.098022576	-0.311466677	0.84623743	0.98999921	0.216883869	
	0.908525029					
Ti	0.461210455	0.149250804	-0.32568602	-0.17665705	-0.005695341	
	0.026828919					
U	-0.071168544	0.766521991	-0.04203919	-0.22135231	0.449703536	-
	0.052487765					
V	0.117485795	-0.023690637	-0.48226290	-0.33398788	0.712913410	-
	0.006204362					
Zn	-0.105036306	-0.271009915	0.85992735	0.99874269	0.248839384	
	0.920228651					
		Mn	Hg	Mo	Ni	Pb
K						
Al	-0.18464727	-0.656583724	-0.011087798	-0.18184441	-0.3068167	-
	0.319862425					
As	-0.06854969	0.270300999	-0.376835296	-0.08675320	-0.3420544	-
	0.020994883					
Bario	-0.36096690	0.503276109	0.417904951	-0.37585719	-0.3935923	
	0.700143999					
Boro	-0.21755528	0.221252034	0.234208681	-0.23165832	-0.3964293	
	0.936014951					

Ca	0.90217908	0.049079931	0.368896472	0.89138855	0.2173994
0.084936641					
Co	0.99923517	-0.249381062	0.311173959	0.99952850	0.4300457 -
0.059367955					
Cu	-0.10623301	-0.002573919	-0.896473541	-0.10899659	-0.1313705
0.117585788					
Sn	-0.22277090	0.106906872	-0.141739584	-0.24123705	-0.4965460
0.006991592					
Sr	0.87414899	-0.227641235	0.564248568	0.87282449	0.3633566 -
0.239130112					
Fe	0.99966950	-0.243494149	0.297318744	0.99932165	0.4143766 -
0.057847464					
Li	0.24233637	0.209337272	0.532422560	0.22754808	-0.1596563
0.831144024					
Mg	0.91882961	-0.062716107	0.257306614	0.91197600	0.2399379
0.277198608					
Mn	1.00000000	-0.250317853	0.306324930	0.99959953	0.4098343 -
0.065985003					
Hg	-0.25031785	1.000000000	0.122048439	-0.26161307	-0.1427703
0.219336457					
Mo	0.30632493	0.122048439	1.000000000	0.30676090	0.2439382
0.003340955					
Ni	0.99959953	-0.261613069	0.306760901	1.00000000	0.4292043 -
0.082993456					
Pb	0.40983431	-0.142770314	0.243938170	0.42920429	1.0000000 -
0.436147634					
K	-0.06598500	0.219336457	0.003340955	-0.08299346	-0.4361476
1.000000000					
Na	-0.11615987	0.302055778	0.444842538	-0.13112677	-0.3129233
0.867752075					
Ta	0.98819576	-0.186407880	0.325269485	0.99016978	0.5214211 -
0.106517002					
Ti	-0.18802009	0.184153154	-0.219358894	-0.20163057	-0.4786295
0.158234664					
U	-0.21589016	0.558661607	0.050350041	-0.23995551	-0.4537644
0.483411377					
V	-0.34216814	0.197828029	-0.063102703	-0.35526659	-0.4707939
0.951388286					
Zn	0.99829976	-0.250458812	0.310076091	0.99899508	0.4454741 -
0.058816356					
	Na	Ta	Ti	U	V
Zn					
Al	-0.24663067	-0.25990611	0.387209698	-0.29507922	-0.216923170 -
0.21037101					
As	-0.13206288	-0.12519543	0.182498346	0.73854230	-0.112127065 -
0.11091233					
Bario	0.88819224	-0.35855876	0.370576668	0.54563595	0.742624900 -
0.35968425					
Boro	0.96709275	-0.24986132	0.045314541	0.49093898	0.949040257 -
0.20751385					
Ca	0.08496397	0.88228823	0.032340893	0.18382558	-0.219366445
0.88610264					
Co	-0.10952482	0.99143244	-0.201495392	-0.23724659	-0.332050844
0.99977007					
Cu	-0.33738725	-0.09802258	0.461210455	-0.07116854	0.117485795 -
0.10503631					
Sn	0.04527113	-0.31146668	0.149250804	0.76652199	-0.023690637 -
0.27100992					
Sr	-0.08649325	0.84623743	-0.325686020	-0.04203919	-0.482262899
0.85992735					
Fe	-0.11445095	0.98999921	-0.176657047	-0.22135231	-0.333987879
0.99874269					
Li	0.93527932	0.21688387	-0.005695341	0.44970354	0.712913410
0.24883938					
Mg	0.16287232	0.90852503	0.026828919	-0.05248777	-0.006204362
0.92022865					
Mn	-0.11615987	0.98819576	-0.188020090	-0.21589016	-0.342168138
0.99829976					

Hg	0.30205578	-0.18640788	0.184153154	0.55866161	0.197828029	-
	0.25045881					
Mo	0.44484254	0.32526948	-0.219358894	0.05035004	-0.063102703	
	0.31007609					
Ni	-0.13112677	0.99016978	-0.201630572	-0.23995551	-0.355266592	
	0.99899508					
Pb	-0.31292330	0.52142107	-0.478629501	-0.45376439	-0.470793879	
	0.44547405					
K	0.86775207	-0.10651700	0.158234664	0.48341138	0.951388286	-
	0.05881636					
Na	1.00000000	-0.13890152	0.052997850	0.54224304	0.847668375	-
	0.10930042					
Ta	-0.13890152	1.00000000	-0.208753286	-0.25902394	-0.372487407	
	0.99279351					
Ti	0.05299785	-0.20875329	1.000000000	0.18862793	0.153371074	-
	0.21387036					
U	0.54224304	-0.25902394	0.188627925	1.00000000	0.416360070	-
	0.24533465					
V	0.84766838	-0.37248741	0.153371074	0.41636007	1.000000000	-
	0.32957191					
Zn	-0.10930042	0.99279351	-0.213870360	-0.24533465	-0.329571910	
	1.00000000					

**Anexo 6. Vectores propios – círculo de correlaciones**

Vectores propios

	CS1	CS2	CS3	CS4	CS5
CS6					
Al	-0.05366282	0.15750314	-0.044185156	-0.09458630	0.66978646
0.058094862					
As	-0.04560486	0.01143546	0.556896876	-0.11345008	-0.07547491
0.138799548					
Bario	-0.14881213	<b>-0.32475926</b>	<b>-0.077355774</b>	<b>-0.07252330</b>	<b>0.05645997</b>
0.308762471					
Boro	-0.11469217	-0.36152956	-0.102880597	0.06474270	0.05593966
0.183663870					
Ca	0.27093279	-0.14992314	0.219846513	-0.02364502	0.02749628
0.135201111					
Co	0.31778704	-0.06044975	0.038108764	0.06671981	0.03647141
0.020721742					
Cu	-0.05573028	0.10887121	0.222646462	0.56976198	-0.06773735
0.031506801					
Sn	-0.09399404	-0.01949505	0.460459487	-0.29713575	0.14195087
0.212662085					
Sr	0.28796801	-0.04729730	0.078723016	-0.26667089	0.09262086
0.061202784					
Fe	0.31675270	-0.06018798	0.054683960	0.07144018	0.04337446
0.010988167					
Li	0.03657000	-0.39789181	-0.074412640	-0.01450327	0.06095708
0.056576843					
Mg	0.27071356	-0.17527205	0.070770501	0.20307582	0.03807222
0.079822499					
Mn	0.31718700	-0.05894089	0.057064616	0.05748548	0.04859941
0.021128950					
Hg	-0.09032998	-0.15131495	0.150379922	-0.07970318	-0.48718123
0.473751531					
Mo	0.11245750	-0.18132561	-0.233079671	-0.44346644	0.06528995
0.251597981					
Ni	0.31871028	-0.05156947	0.045345484	0.05755110	0.04429660
0.023342306					
Pb	0.17890632	0.11028207	-0.226504324	-0.04888404	-0.34398467
0.005466084					
K	-0.07767330	-0.35454137	0.006705104	0.24934544	0.03929575
0.187434701					
Na	-0.07762483	-0.38532458	-0.097326965	-0.04821149	0.04741947
0.055341201					
Ta	0.31961008	-0.04872787	0.020347579	0.06412766	-0.03296083
0.040560781					
Ti	-0.09098916	-0.03172510	0.207115119	0.23554068	0.33789947
0.630931808					
U	-0.10857642	-0.23565123	0.383294761	-0.19461113	-0.10600774
0.044650811					
V	-0.15824024	-0.30803997	-0.077429753	0.23292694	0.04071364
0.201350553					
Zn	0.31813753	-0.05984531	0.030614087	0.06997094	0.02672965
0.026717389					

Correlaciones entre las variables y los componentes

	Comp1	Comp2	Comp3	Comp4	Comp5	Comp6
Al	-0.1654454	0.38725495	-0.07577111	-0.14180420	0.88650585	0.061772339
As	-0.1406023	0.02811651	0.95499711	-0.17008485	-0.09989594	-0.147585732
Bario	-0.4587959	-0.79848968	-0.13265390	-0.10872725	0.07472843	0.328307519
Boro	-0.3536022	-0.88889728	-0.17642526	0.09706253	0.07403977	-0.195290021
Ca	0.8353006	-0.36861790	0.37700478	-0.03544872	0.03639311	0.143759509
Co	0.9797548	-0.14862856	0.06535099	0.10002664	0.04827227	-0.022033454
Cu	-0.1718195	0.26768301	0.38180629	0.85418964	-0.08965478	0.033501221
Sn	-0.2897888	-0.04793274	0.78962102	-0.44546721	0.18788119	-0.226123859
Sr	0.8878211	-0.11629046	0.13499852	-0.39979416	0.12258972	-0.065076996
Fe	0.9765658	-0.14798495	0.09377503	0.10710343	0.05740891	-0.011683732

Li	0.1127473	-0.97830159	-0.12760685	-0.02174336	0.08068065	-0.060158227
Mg	0.8346247	-0.43094360	0.12136111	0.30445215	0.05039106	0.084875362
Mn	0.9779048	-0.14491870	0.09785751	0.08618248	0.06432447	-0.022466439
Hg	-0.2784923	-0.37203997	0.25787969	-0.11949135	-0.64481597	0.503740591
Mo	0.3467126	-0.44582756	-0.39969772	-0.66484682	0.08641549	0.267524446
Ni	0.9826012	-0.12679450	0.07776091	0.08628086	0.05862943	-0.024819902
Pb	0.5515779	0.27115191	-0.38842196	-0.07328716	-0.45528603	0.005812093
K	-0.2394710	-0.87171533	0.01149828	0.37381977	0.05201047	-0.199299550
Na	-0.2393216	-0.94740239	-0.16690158	-0.07227888	0.06276274	-0.058844368
Ta	0.9853753	-0.11980784	0.03489314	0.09614047	-0.04362580	0.043128328
Ti	-0.2805245	-0.07800291	0.35517229	0.35312361	0.44723188	0.670870575
U	-0.3347470	-0.57939863	0.65729475	-0.29176185	-0.14030812	-0.047477263
V	-0.4878633	-0.75738175	-0.13278076	0.34920509	0.05388714	-0.214096293
Zn	0.9808354	-0.14714241	0.05249870	0.10490074	0.03537843	-0.028408633

Scores o puntuaciones de cada individuo

	Axis1	Axis2	Axis3	Axis4	Axis5	Axis6	Axis7
1	-0.8109463	2.4089237	-0.8787685	-0.8990693	3.06034998	-0.009102899	0.02959592
2	-1.1020315	0.8028350	4.0810888	-1.3564283	-0.41750133	-0.388941200	0.13767386
3	0.0485560	2.2411954	-1.7929033	-0.6538089	-1.48556622	-0.063264909	1.17126975
4	-1.9045472	-0.4127837	-0.4364309	2.1157408	-0.18279937	-2.218286119	0.24801709
5	-0.5238378	1.4882851	-1.2026729	-1.1559794	-1.46078072	0.538481752	1.23754445
6	-2.0033282	-5.7724716	-0.7838097	-1.2056485	0.24572378	0.323773182	0.17726320
7	7.9663478	-1.0484987	0.2628768	0.4240455	0.19452229	-0.071780823	0.06706902
8	-1.6702128	0.2925147	0.7506196	2.7311480	0.04605159	1.889121015	0.09601968



**Anexo 7.** Panel fotográfico del Proyecto

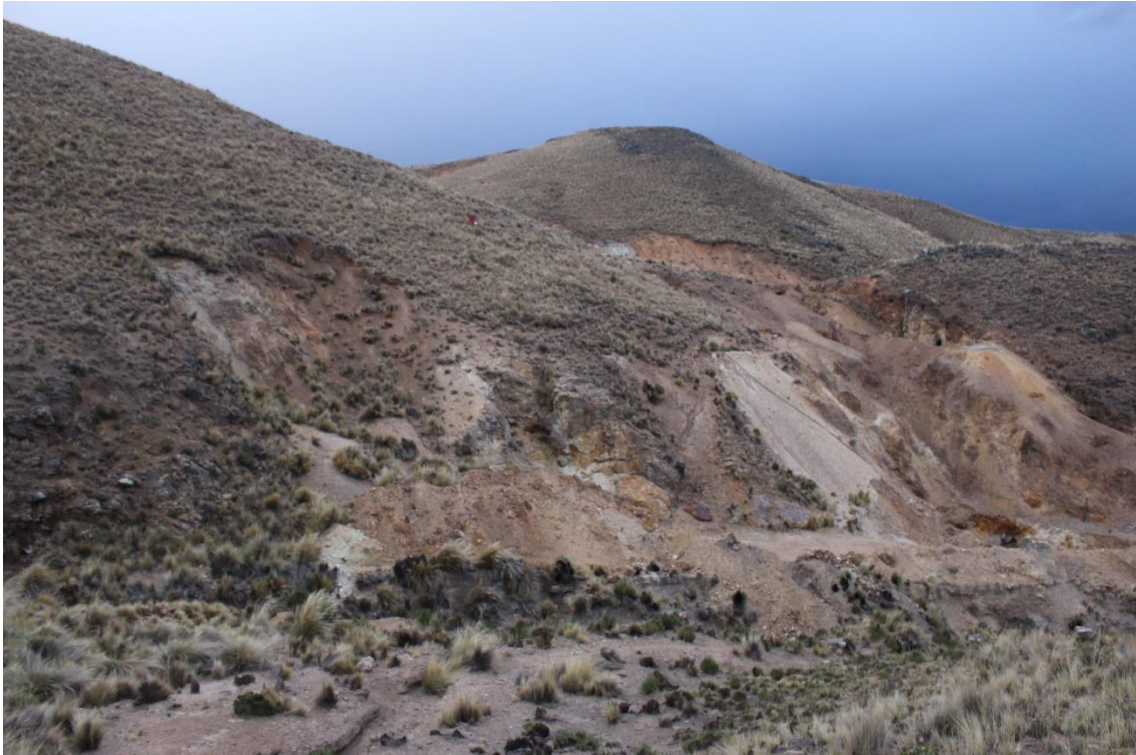


*Figura 51.* Pasivos de la mina



*Figura 52.* Pasivos de la mina



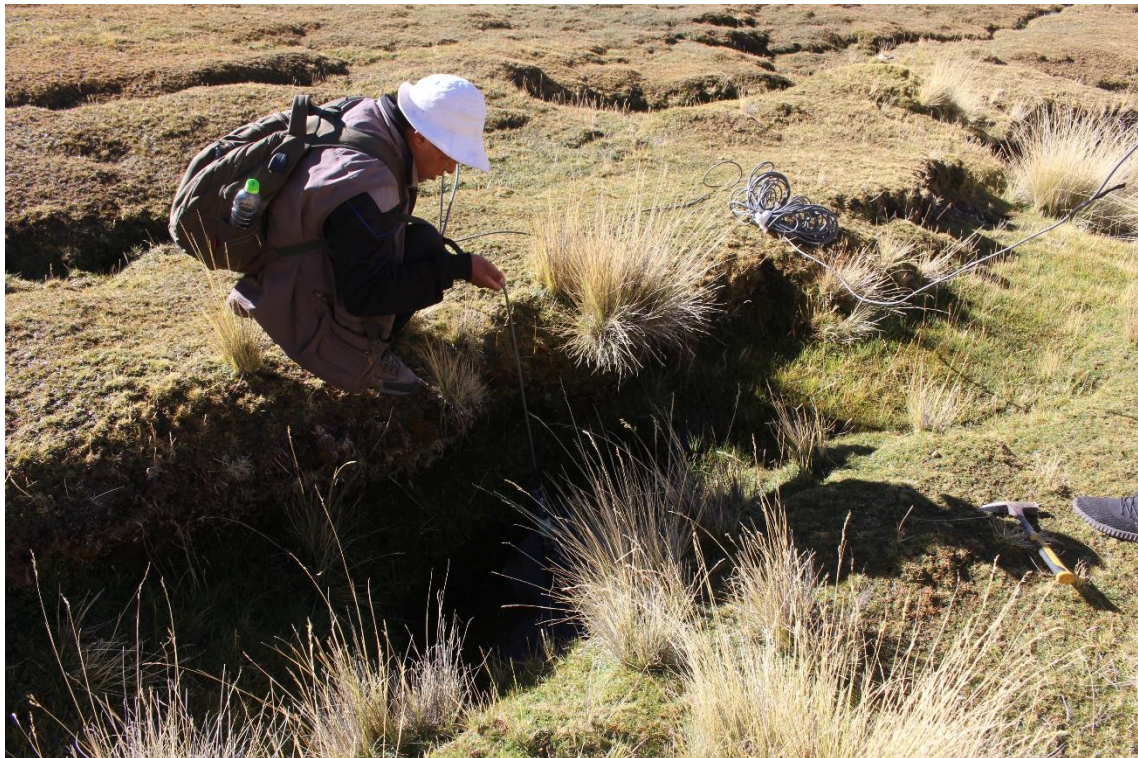


*Figura 53.* Presencia de pasivos



*Figura 54.* Zonas de alteración





*Figura 55.* Toma de datos parámetros físico químicos



*Figura 56.* Toma de muestras para análisis químico





Figura 57. Toma de datos parámetros físico químicos



Figura 58. Muestras para su análisis en Laboratorio

Anexo 8. Certificado de Laboratorio

# Certificado



La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, OTORGA el presente Certificado de Renovación de la Acreditación al:

## CERTIFICACIONES DEL PERÚ S.A. - CERPER

### Laboratorio de Ensayo

En su sede ubicada en: Calle Teniente Rodríguez N° 1415, distrito de Miraflores, provincia de Arequipa y departamento de Arequipa

Con base en la norma

### NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 03 de junio de 2019

Fecha de Vencimiento: 02 de junio de 2023



*Estela Contreras Jugo*

ESTELA CONTRERAS JUGO  
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Fecha de emisión: 22 de agosto de 2019

Cédula N° : 0640-2019/INACAL-DA  
Contrato N° : Adenda al Contrato de Acreditación N°025-2015/INDECOPI-SNA  
Registro N° : LE-003

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web [www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados](http://www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados) al momento de hacer uso del presente certificado. La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) del Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC)

DA-acr-01P-02M Ver. 02