

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
SEGUNDA ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL EN
MONITOREO Y EVALUACIÓN AMBIENTAL



**“DETERMINACIÓN DE LOS EFLUENTES DEL PROCESO DE
FLOTACIÓN Y DISEÑO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO EN
LA PLANTA CONCENTRADORA DE TIQUILLACA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

OSWALDO LUZVER MAYNAS CONDORI

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE SEGUNDA
ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL EN MONITOREO Y
EVALUACIÓN AMBIENTAL**

PUNO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
SEGUNDA ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL EN MONITOREO Y
EVALUACIÓN AMBIENTAL



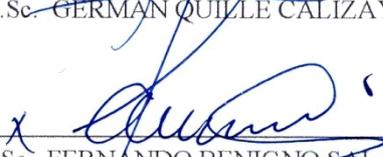
“DETERMINACIÓN DE LOS EFLUENTES DEL PROCESO DE FLOTACIÓN Y
DISEÑO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO EN LA PLANTA
CONCENTRADORA DE TIQUILLACA”

TESIS PRESENTADA POR:
OSWALDO LUZVER MAYNAS CONDORI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE SEGUNDA ESPECIALIZACIÓN
PROFESIONAL EN MONITOREO Y EVALUACIÓN AMBIENTAL

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 06-07-2018

APROBADO POR EL SIGUIENTE JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE	:	 _____
		M.Sc. MARIO SERAFIN CUENTAS ALVARADO
PRIMER MIEMBRO	:	 _____
		M.Sc. GERMAN QUILLE CALIZAYA
SEGUNDO MIEMBRO	:	x  _____
		Dr. Sc. FERNANDO BENIGNO SALAS URVIOLA
DIRECTOR DE TESIS	:	 _____
		M.Sc. ERNESTO SAMUEL MACHACCA HANCCO
ASESOR DE TESIS	:	 _____
		M.Sc. ALFREDO MAMANI CANQUI

Área: Ambiental

Tema: Monitoreo y Evaluación Ambiental.

DEDICATORIA

*A mis queridos padres:
Pablo Maynas y Francisca
Condori, con grandiosa
gratitud, por su apoyo
incondicional a lo largo de
mi vida.*

*A mi Querida Familia, mis
Hijos, Jorge Paul y Luzver
Pedro, que me dieron apoyo
y facilidades para poder
culminar exitosamente esta
etapa de mi vida.*

*A mis hermanos: Walter
Froilán y Celia Marina,
Albertina, con todo cariño
por su constante apoyo
moral.*

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, a la Facultad de Ingeniería de Minas al Programa de Segunda Especialización Profesional en Monitoreo y Evaluación Ambiental.

Asimismo, mis reconocimientos a los señores docentes que compartieron sus conocimientos y experiencias profesionales del Programa de Segunda Especialización Profesional en Monitoreo y Evaluación Ambiental, por el apremio constante en la continuidad del presente trabajo de investigación, que me permitió concretar mi empeño personal y profesional.

A mis jurados calificadores, al M.Sc. Mario Cuentas Alvarado, M.Sc. German Quille Calizaya, Dr.Sc. Fernando Benigno Salas Urviola.

Al Director y Asesor de mi tesis, por su amable orientación y colaboración en el desarrollo del presente proyecto de investigación.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	19
1.2. ENUNCIADO DEL PROBLEMA.....	20
1.2.1. Pregunta General	20
1.2.2. Preguntas Específica.....	20
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.3.1. Objetivo General.....	20
1.3.2. Objetivos Específicos	21
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	21
1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.5.1. Hipótesis General	22
1.5.2. Hipótesis Específicas.....	22

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. MARCO REFERENCIAL	23
2.2. BASES TEÓRICAS	25
2.2.1. Flotación de Minerales	25
2.2.2. Los Reactivos	25
2.2.3. Celdas y Circuitos de Flotación.....	29
2.2.4. Efluentes Mineros.....	30

2.2.5.	Características de los Efluentes Líquidos	30
2.2.6.	Gestión de Efluentes	30
2.2.7.	Métodos de Tratamiento de Efluentes	30
2.2.8.	Estudio de los Metales Pesados en el Relave Abandonado de Ticapampa	31
2.2.9.	Los Relaves Mineros, su Efecto en el Ambiente y la Salud.....	31
2.2.10.	Tratamiento de Aguas en Minería	31
2.2.11.	Tratamiento de Efluentes por el Método de Pantanos Artificiales (Wetland)	32
2.2.12.	Contaminación de Suelo	32
2.2.13.	Contaminación por Minería a Cielo Abierto	32
2.2.14.	Suelos Contaminados por la Minería son Recuperados con Plantas	33
2.3.	MARCO CONCEPTUAL	33
2.3.1.	Aspecto Ambiental	33
2.3.2.	Impacto Ambiental	33
2.3.3.	Contaminación Ambiental	33
2.3.4.	Calidad del Agua	34
2.3.5.	Contaminación de Aguas	35
2.3.6.	Manejo Ambiental del agua.....	35
2.3.7.	Principales Contaminantes del agua	35
2.3.8.	Identificación de los Efluentes del Proceso de Flotación	36
2.3.9.	Identificación y Caracterización de las Aguas que Pueden ser Impactadas por los Efluentes Contaminantes	36
2.3.10.	Parámetros de Campo	37
2.3.11.	Parámetros de Laboratorio.....	39
2.3.12.	Frecuencia de Muestreo	41
2.3.13.	Tipos de Muestras.....	42
2.3.14.	Medición de Caudales	42
2.4.	MARCO LEGAL	43
2.4.1.	Marco Legal del Agua	43
2.4.2.	Marco Legal del Suelo.....	44

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	45
3.1.1.	Ámbito de Estudio.....	45
3.1.2.	Tipo y Diseño de Investigación.....	48
3.1.3.	Población.....	48
3.1.4.	Método de Estudio Aplicado.....	49
3.1.5.	Técnicas.....	49
3.1.6.	Principales Características del Procesamiento de Minerales en la Planta Concentradora.....	50
3.2.	TRATAMIENTO DE MINERALES EN LA PLANTA CONCENTRADORA..	53
3.2.1.	Etapa de Operación.....	54
3.3.	OPERACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA	54
3.3.1.	Transporte de Minerales	54
3.3.2.	Almacenamiento de Minerales	55
3.3.3.	Tolva de Gruesos	55
3.3.4.	Grizzly Estacionario	55
3.3.5.	Área de Chancado.....	55
3.3.6.	Faja Transportadora.....	56
3.3.7.	Tolva de Finos	56
3.3.8.	Molienda y Clasificación.....	57
3.3.9.	Sección Flotación	58
3.3.10.	Cochas de Almacenaje de Concentrado	59
3.3.11.	Balance Metalúrgico del Proceso de Operación.....	61
3.3.12.	Relaves.....	61
3.3.13.	Depósito de Relave.....	62
3.4.	AGUA	65
3.5.	REACTIVOS.....	68
3.6.	MATERIALES Y MÉTODOS	69
3.6.1.	Elección del Área de Muestreo.....	69
3.6.2.	Ubicación de Zonas de Muestreo	71
3.7.	PARÁMETROS	72
3.7.1.	Temperatura.....	72

3.7.2. Potencial de Hidrogeno pH.....	72
3.7.4. Oxígeno Disuelto.....	73
3.7.5. Turbidez.....	74
3.8. OPERACIÓN DE VARIABLES	74
3.9. DATOS DE MUESTREO.....	75
3.9.1. Valores de Normas Nacionales.....	75
3.9.2. Valores de Muestreo.....	76
3.10. BALANCE DE AGUA DEL PROCESO METALÚRGICO	79

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	80
4.1.1. Evaluación de la Calidad de las Aguas en el Área de la Planta Concentradora Tiquillaca	80
4.2. LOS RESULTADOS PLANTEADAS Y OBTENIDAS IN SITU.....	81
4.2.1. Calidad de Aguas.....	81
4.3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	84
4.4. LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.....	84
4.4.1. Análisis Para el Efecto Temperatura	84
4.4.2. Análisis del Efecto Potencial de Hidrógeno (pH):	85
4.4.3. Análisis del Efecto de Conductividad Eléctrica	86
4.4.4. Análisis del Efecto de Oxígeno Disuelto (Valor mínimo)	87
4.4.5. Análisis del Efecto Turbidez	88
4.4.6. Sólidos Totales Disueltos	89
4.5. LA DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL LABORATORIO	90
4.5.1. Resultados de Análisis de Iones Metálicos de Muestras del Agua.....	91
4.5.2. Interpretación de los Resultados Obtenidos en el Monitoreo de Efluentes Líquidos	92
4.6. RESULTADO DE MUESTRAS DEL SUELO	93
4.7. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL MONITOREO DE SUELOS.....	95
4.8. DISEÑO DE LAS POZAS DE SEDIMENTACIÓN.....	96

4.8.1. Pozas de Sedimentación	96
4.8.2. Instalaciones de Servicio	97
4.8.3. Tratamiento de los Sedimentos.....	97
4.8.4. Recirculación de Agua.....	98
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES.....	100
BIBLIOGRAFÍA.....	101
ANEXOS	103

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Dosificación de Colectores	26
Cuadro 2.	Dosificación de Espumantes.....	27
Cuadro 3.	Dosificación de Depresores	28
Cuadro 4.	Dosificación de Reactivadores o Activadores	28
Cuadro 5.	Niveles Máximos Permisibles de Emisión para las Actividades Minero Metalúrgico.....	37
Cuadro 6.	Niveles Máximos Permisibles: Empresas en Operación o que Reinician sus Actividades.....	37
Cuadro 7.	Ruta de acceso a la Planta Concentradora de minerales. Tiquillaca- Puno	46
Cuadro 8.	Dosificación y Consumo de Reactivos en Molienda.....	57
Cuadro 9.	Dosificación y Consumo de Reactivos en Flotación.....	58
Cuadro 10.	Balance Metalúrgico de Mineral Plomo Plata.....	61
Cuadro 11.	Balance de Metalúrgico de Mineral Cobre.....	61
Cuadro 12.	Mano de Obra Requerida en la Planta	63
Cuadro 13.	Consumo Agua de Uso Industrial.....	66
Cuadro 14.	Relación de Reactivos Requeridos por la Planta	68
Cuadro 15.	Puntos de Monitoreo de Agua	71
Cuadro 16.	LMP Para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero Metalúrgicos	75
Cuadro 17.	MA-1: Toma Agua Pozo Captación Agua Fresca-Planta.....	82
Cuadro 18.	MA-2: Efluente Líquido del Proceso de Flotación - Cancha Relavera	82
Cuadro 19.	MA-3: Efluente del Espejo de Agua de la Relavera.....	82
Cuadro 20.	MA-4: Poza de Recirculación de Agua Clarificada-Planta.....	83
Cuadro 21.	MA-6: Aguas Abajo Río Condorire	83
Cuadro 22.	Promedio de Muestras Tomadas del Monitoreo.....	83
Cuadro 23.	Resultados de Análisis de la Temperatura.....	84
Cuadro 24.	Resultados de Análisis del pH.....	85
Cuadro 25.	Resultados de Análisis de la Conductividad Eléctrica	86
Cuadro 26.	Resultados de Análisis del Oxígeno Disuelto.....	87
Cuadro 27.	Resultados de Análisis de la Turbidez.....	89

Cuadro 28. Resultado de Análisis de los Sólidos Disueltos Totales	90
Cuadro 29. Resultado del Laboratorio para Comparar con ECA.....	91
Cuadro 30. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo	94
Cuadro 31. Resultado del Laboratorio para Comparar con ECA.....	94
Cuadro 32. Resultados de las Muestras de Agua Fresca y de Operaciones Metalúrgicas	105
Cuadro 33. Resultados de las Muestras de Agua Fresca y de Operaciones metalúrgicas.....	106
Cuadro 34. Resultados de las Muestras de Agua Fresca y de Operaciones metalúrgicas.....	107
Cuadro 35. Resultados de las Muestras de Agua Fresca y de Operaciones Metalúrgicas	108
Cuadro 36. Resultado de las Muestras de Relave de las Operaciones Metalúrgicas	109
Cuadro 37. Resultado de las Muestras de Relave de las Operaciones Metalúrgicas	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Burbujas de Espumas en Celda de Flotación.....	29
Figura 2.	Ubicación de la Planta Concentradora de Tiquillaca-Plano N° 01.....	47
Figura 3.	Planta Concentradora de Tiquillaca-Plano N° 03.....	47
Figura 4.	Planta Concentradora de Tiquillaca-Plano N° 04; Plano N° 06; Plano N° 07.....	52
Figura 5.	Celdas de Flotación	59
Figura 6.	Área de Ensacado de Concentrado-Plano N° 06	60
Figura 7.	Concentrado de Pb Ag-Cu	60
Figura 8.	MA-2 Cancha de Relaves-Plano N° 04y 05	63
Figura 9.	MA-3 Recuperación de Agua - Cancha de Relaves	64
Figura 10.	MA-4 Poza de Clarificación de Agua-Plano N° 04 y 05.....	64
Figura 11.	MA-4 Poza de Recirculación de Agua Clarificada y Bombeo	65
Figura 12.	MA-1 Pozo Artesanal de Captación.	66
Figura 13.	MA-1 Muestreo Pozo de Captación.	67
Figura 14.	MA-5 Muestreo Río Condorire - Aguas Arriba.	67
Figura 15.	MA-5 Muestreo Río Condorire - Aguas Arriba	68
Figura 16.	Puntos de Monitoreo de Agua	77
Figura 17.	Diagrama de Flujo de la Marcha Analítica - Evaluación de los Parámetros Físico Químicos.....	78
Figura 18.	Diagrama de Flujo del Almacenamiento de Agua en Circuito de Operación por Flotación.	79
Figura 19.	Concentración de Metales Pesados en los Puntos de Monitoreo.....	92
Figura 20.	Concentración de Metales Pesados en Suelo.....	95
Figura 21.	Diseño de las Pozas de Tratamiento de Aguas de Relave	96
Figura 22.	Plano N° 02. Topográfico del Área de Proyecto	112
Figura 23.	Plano N° 03. General de Distribución de Instalaciones.....	113
Figura 24.	Plano N° 04. Manejo de Aguas del Proceso Metalúrgico.	114
Figura 25.	Plano N° 05. Diseño de las Pozas de Tratamiento de Aguas de Relave..	115
Figura 26.	Plano N° 06. Perfil de Distribución de Equipos de la Planta Concentradora de Minerales de Tiquillaca.....	116
Figura 27.	Plano N° 07. Flow Sheet de la Planta Concentradora de Minerales de Tiquillaca.....	117

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Matriz de Consistencia de la Investigación.....	104
Anexo 2.	Resultados de Laboratorio	105
	Resultados de las Muestras de Agua Fresca y de Operaciones Metalúrgicas.....	105
	Resultados de las Muestras de Agua Fresca y de Operaciones Metalúrgicas.....	106
	Resultados de las Muestras de Agua Fresca y de Operaciones Metalúrgicas.....	107
	Resultados de las Muestras de Agua Fresca y de Operaciones Metalúrgicas.....	108
	Resultado de las Muestras de Relave de las Operaciones Metalúrgicas.....	109
	Resultado de las Muestras de Relave de las Operaciones Metalúrgicas.....	110
Anexo 3.	Planos.....	111
	Plano N° 01. Ubicación y Acceso al Proyecto.....	111
	Plano N° 02. Topográfico del Área de proyecto.....	112
	Plano N° 03. General de Distribución de Instalaciones.....	113
	Plano N° 04. Manejo de Aguas del Proceso Metalúrgico.....	114
	Plano N° 05. Diseño de las Pozas de Tratamiento de Aguas de Relave	115
	Plano N° 06. Perfil de Distribución de Equipos de la Planta Concentradora de minerales de Tiquillaca.	116
	Plano N° 07. Flow Sheet de la Planta Concentradora de Minerales de Tiquillaca..	117

NOTACIÓN, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

MA	Monitoreo de Agua
PM	Punto de Muestreo
°C	Grados Celsius
T°	Temperatura
pH	Potencial de Hidrogeno
CE	Conductividad Eléctrica
OD	Oxígeno Disuelto
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbidez
STS	Sólidos Totales Suspendidos
STD	Sólidos Totales Disueltos
ECA	Estándar de Calidad Ambiental
ECA	Estándar de Calidad Ambiental para Suelos
LMP	Límite Máximo Permisible
LGA	Ley General del Ambiente
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
MINAM	Ministerio del Ambiente
gr/cm ³	gramos por centímetro cúbico
mg/L	miligramo por litro
gr/L	gramos por litro
L/s	Litros por segundo
mg/kg	miligramo por Kilogramo
mS/cm	micro Siems por centímetro
ppm	partes por millón
EPA	Environmental Protección Agency
m ²	metro cuadrado
TMD	Toneladas Métricas por Día
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
UTM	Universal Transversal de Mercator
WGS	World Geodetic System 84
RSD	Residuos Sólidos Domésticos
EPP	Equipos de Protección Personal

RESUMEN

La flotación es un proceso selectivo que se emplea para llevar las separaciones específicas de minerales complejos, basándose en las diferentes propiedades superficiales de cada uno de ellos, con este método de procesamiento de minerales eficaz y con mayores aplicaciones de todos los existentes, se emplean diferentes tipos de celdas como Wemco, Denver, Flash, y otros. El presente trabajo denominado **“Determinación de los efluentes del proceso de flotación y diseño del proceso de tratamiento en la planta concentradora de Tiquillaca”** tiene la finalidad de orientar una gestión responsable respecto al recurso hídrico en el procesamiento de minerales, el cual incorpora la variable ambiental en la operación de la planta; enfocándose también en la recirculación del agua recuperada de los relaves en las pozas de sedimentación de los efluentes para cumplir con la legislación vigente y mejorar su política ambiental. Sabiendo que los efluentes líquidos nacen del proceso de flotación y contienen, en la mayoría de los casos, sólidos en suspensión, sólidos coloidales, iones disueltos (cationes y aniones), así como en circuitos de flotación, también contienen concentraciones de iones metálicos. Según los resultados de análisis fisicoquímico de efluentes líquidos, las concentraciones de oxígeno disuelto están entre 0,3 y 1,5 mg/L y la turbiedad entre 130 y 140 NTU, los cuales no se encuentran dentro de los límites máximos permisibles en la calidad de agua categoría III para riego de vegetales y bebida de animales, comparados con la Norma Técnica de Calidad Ambiental, el resto de los parámetros fisicoquímicos son normales. En cuanto a las concentraciones de metales pesados los valores de plomo es 1,457 mg/l y de zinc es 5,497 mg/L los cuales sobrepasan los límites máximos permisibles en la calidad de agua categoría III para riego de vegetales y bebida de animales. El resto de los metales pesados se encuentran dentro los límites máximos permisibles. Toda actividad minera debe contar con herramientas de gestión ambiental y monitoreo permanente para minimizar los impactos ambientales negativos, de esta manera garantizará la calidad ambiental y desarrollo sostenible.

Palabras clave: Contaminación, efluente, mineral, monitoreo, pulpa, relaves.

ABSTRACT

Flotation is a selective process that is used to carry the specific separations of complex minerals, based on the different surface properties of each of them, with this method of mineral processing effective and with greater applications of all existing, they are employed different types of cells are used like Wemco, Denver, Flash, and others. The present work called "Determination of the effluents of the flotation process and design of the treatment process in the concentrator plant of Tiquillaca" has the purpose of guide a responsible management regarding the water resource in the mineral processing, which incorporates the environmental variable in the operation of the plant; focusing also in the recirculation of the water recovered from the tailings in the sedimentation ponds of the effluents in order to comply with current legislation and improve its environmental policy. Knowing that the liquid effluents are born from the flotation process and contain, in most cases, suspended solids, colloidal solids, dissolved ions (cations and anions), as well as in flotation circuits, they also contain concentrations of metal ions. According to the analysis results physicochemical of liquid effluents, dissolved oxygen concentrations are between 0.3 and 1.5 mg / L and turbidity between 130 and 140 NTU, which are not within the maximum permissible limits in water quality category III for irrigation of vegetables and animal drink, compared with the Technical Standard of Environmental Quality, the rest of the physicochemical parameters are normal. In terms of heavy metal concentrations, the values of lead is 1,457 mg / l and zinc is 5,497 mg / L, which exceed the maximum permissible limits in the category III water quality for irrigation of vegetables and animal beverages. The rest of the heavy metals are within the maximum permissible limits. All mining activity must have environmental management tools and permanent monitoring to minimize negative environmental impacts, thus ensuring environmental quality and sustainable development.

Keywords: Contamination, effluent, mineral, monitoring, pulp, tailings.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio es planteado con el objetivo de determinar los efluentes del proceso de flotación y diseño del proceso de tratamiento en la planta concentradora de Tiquillaca, para orientar una gestión responsable respecto al recurso hídrico en el procesamiento de minerales, teniendo como fin la recirculación del agua recuperada de los relaves en las pozas de sedimentación de los efluentes para cumplir con la legislación vigente y mejorar su política ambiental. Los efluentes líquidos nacen del proceso de flotación y contienen, en la mayoría de los casos, sólidos en suspensión, sólidos coloidales, iones disueltos (cationes y aniones), en circuitos de flotación de minerales de concentración de iones; donde el grado de toxicidad de los reactivos químicos varía, desde muy tóxicos a no tóxicos (Santander, 2011). La mayoría de las actividades productivas usan agua; es por ello, que existe la necesidad de incorporar de manera integrada la gestión del recurso hídrico para asegurar su conservación, calidad y uso racional (Feder, 2006). La flotación es un proceso de concentración de minerales que permite la recuperación de las especies mineralógicas valiosas a partir de minerales complejos y de baja ley. Por lo cual, la flotación es ampliamente usada para la recuperación de minerales. La separación por flotación es el resultado de muchos procesos fisicoquímicos complejos que ocurren en las interfaces sólido/líquido, líquido/gas y sólido/gas (Bravo, 2008). La flotación es una técnica de concentración que aprovecha la diferencia entre las propiedades superficiales o interfaciales del mineral, especies de valor y la ganga, el cual se basa en la adhesión de algunos sólidos a burbujas de gas generadas en la pulpa por algún medio externo en la celda de flotación (Bravo, 2008).

Las pruebas de ensayo son las técnicas que mejor encajan a las pruebas de flotación a nivel de laboratorio, ya que estas permiten una evaluación simultánea de todas las variables, se componen básicamente de los diferentes tipos de equipos como Wemco, Denver, Flash y otros, los reactivos químicos y operaciones. Por lo tanto, en cada una de ellas se debe emplear metodologías y técnicas apropiadas (Flores, 2007).

Los puntos de muestreo ubicados en la línea base del proyecto, constituyen puntos de control ambiental, las cuales serán monitoreadas durante el tiempo de

actividades de beneficio de minerales, los resultados obtenidos de las muestras tomadas son comparados con los límites máximos permisibles, dados por las normativas nacionales vigentes del MEM y MINAM en el Cuadro 29 LMP Para La Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero Metalúrgicos.

Las pozas de agua servirán como punto principal para el control de calidad y manejo de aguas y la presa de relaves ha sido dimensionada para proveer suficiente almacenamiento temporal sobre el nivel normal de operación de la poza, en todo momento, para permitir que la descarga de agua excedente sea detenida, de ser necesario, por períodos significativos de tiempo. A lo largo de la vida de la Planta se llevará a cabo la progresiva recuperación de las aguas mediante pozas de sedimentación (Carranza, 2014). La disposición final del material sedimentado con presencia de iones metálicos disueltos retorna al clasificador Helicoidal para ser clasificado, luego ser activado para su flotabilidad de los metales.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La flotación, se emplea para la producción de metales preciosos de oro y polimetálicos (Pb-Ag, Cu, Zn), este método de tratamiento de mineral de los sulfuros de oro se presenta principalmente en la parte norte del Perú, los polimetálicos se da en el centro y en el sur del Perú, donde las instalaciones de plantas concentradoras de proceso de flotación se encuentran ubicadas en entornos climáticos y físicos. Los efluentes líquidos contienen, en la mayoría de los casos, sólidos en suspensión, sólidos coloidales e iones disueltos (cationes y aniones) en circuitos de flotación de minerales de concentración de iones, donde el grado de toxicidad de los reactivos químicos varía desde muy tóxicos a no tóxicos. Son considerados como *muy tóxicos* los colectores tiólicicos, sulfonatos y aminas; como tóxicos los espumantes elaborados a partir de alcohol y como *no tóxicos* el polipropileno glicol y los jabones.

La flotación, además es un proceso selectivo que se emplea para llevar las separaciones específicas de minerales complejos, basándose en las diferentes propiedades superficiales de cada uno de ellos, este método de procesamiento de minerales es más eficaz y tiene mayores aplicaciones de todos los existentes, aquí se emplean diferentes tipos de celdas como Wemco, Denver, Flash y otros. El problema es complejo ya que la acción de los reactivos está basada en equilibrios iónicos, lo que es difícil de controlar, ya que aparte de los reactivos que introducimos en la pulpa tiene considerable cantidad de ion en ella, procedentes de las impurezas que aporta el mineral así como el agua de tratamiento.

Los estudios ambientales actuales están dando mayor énfasis a la minimización del volumen o concentración de los efluentes líquidos contaminados.

1.2. ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Frente al problema planteado en el punto anterior, lo que se persigue es realizar la evaluación de los efluentes líquidos del proceso de flotación para evitar la contaminación de la zona y demostrar la recirculación del efluente líquido, en circuito cerrado, para el proceso de flotación, en donde el problema se formula bajo las siguientes interrogantes:

1.2.1. Pregunta General

¿Cuál es la composición de los efluentes del proceso de flotación y el tratamiento de dichas soluciones en la planta concentradora de Tiquillaca?

1.2.2. Preguntas Específicas

¿Cuáles son los elementos constituyentes de los efluentes líquidos del proceso de flotación?

¿Cómo es el diseño de tratamiento de los efluentes en la planta concentradora de Tiquillaca?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo General

Determinar la composición de los efluentes del proceso de flotación y su tratamiento de la planta concentradora de Tiquillaca.

1.3.2. Objetivos Específicos

Determinar la composición y cantidad de los elementos constituyentes en los efluentes del proceso de flotación.

Diseñar el proceso de tratamiento de los efluentes en la planta concentradora de Tiquillaca.

1.4. JUSTIFICACIÓN

La determinación de los elementos constituyentes de los efluentes líquidos del proceso de flotación, con la recirculación del agua, por las pozas de sedimentación, permitirá obtener una eficiente operación de la planta concentradora de Tiquillaca pues se está dando mayor énfasis a la minimización del volumen o concentración de los efluentes líquidos contaminados, esta situación responde a una creciente preocupación por el acelerado deterioro de la naturaleza y agotamiento de recursos naturales, provocados por la expansión de la actividad del hombre, tanto en su extensión como intensidad, esto no solo representa intereses de tipo naturalistas o conservaciones de gran difusión, hoy en día, sino que una preocupación por el bienestar y la calidad de vida de futuras generaciones.

Concentrado, aludeal producto obtenido del procesamiento de minerales, que contiene el metal valioso, y es derivado a un filtrado de donde se elimina el agua con contenido de elementos químicos y sólidos en suspensión.

Relave, se refiere al conjunto de desechos tóxicos de la concentración de minerales, usualmente constituido por una mezcla de mineral molido más agua, lo que resulta como efluente de flotación, lo que es derivado a la cancha de relaves originándose un espejo de agua obtenido.

Los efluentes líquidos, son residuos líquidos mezclados con sólidos, que resultan del proceso de flotación, arrastrados por el agua con bajas concentraciones de metales pesados, tales como el Plomo (Pb), Cinc (Zn), Cobre (Cu), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y Arsénico (As).

Por consiguiente, en la actualidad la ciencia y la tecnología se han caracterizado por la progresiva incorporación de la cuestión ambiental como tema de fondo en su desarrollo; en su etapa de operación, la planta concentradora de Tiquillaca anteriormente no trabajaba con medidas ambientales de los efluentes que se vertían en la cancha de relaves sin ningún control ambiental, con la evaluación de los efluentes del proceso de flotación se controlará y minimizarán la contaminación del agua, se mejorará una dosificación adecuada de los insumos químicos y uso adecuado del agua en el proceso mismo de flotación.

1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Hipótesis General

Conociendo la composición de los efluentes del proceso de flotación y el tratamiento de dichas soluciones, se reducirá la contaminación del agua y suelo de la planta concentradora de Tiquillaca.

1.5.2. Hipótesis Específicas

La determinación de los elementos constituyentes de los efluentes líquidos del proceso de flotación se recircularán por las pozas de sedimentación para obtener una eficiente clarificación.

Con el proceso del diseño de tratamiento de los efluentes se reducirá la contaminación del agua y suelo de la zona.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. MARCO REFERENCIAL

La planta concentradora de Tiquillaca se ubica en el paraje Sonsuri, comunidad Paxa del Distrito de Tiquillaca, provincia de Puno, Región Puno, a una altitud de 3920 m.s.n.m.; tiene una capacidad de procesamiento de 50 TMD, años atrás no se trabajó bajo condiciones ambientales no controladas impactando a la calidad de agua y suelo creando malestar a los pobladores aledaños de la zona. Su reinicio de operación obedece al Centro Experimental para el Desarrollo de la Investigación Científica Académica y Complementar con Prácticas Pre-Profesionales según al D.S. N°025-PCM/93. Históricamente el área de la Planta Concentradora ha sido trabajada en la época del Banco Minero a pequeña escala y se han dejado en el lugar cancha de relaves como pasivos ambientales para la zona.

Años anteriores el banco minero del Perú, fue propietario de la planta concentradora, posteriormente, mediante decreto supremo extraordinario N° 025-PCM/93, 15 de marzo del 1993 fue transferido a la Universidad Nacional del Altiplano - Puno. Históricamente el área de la Planta ha sido trabajada en la época del Banco Minero, a pequeña escala, dejando pasivos ambientales para la zona. Las instalaciones de la planta concentradora de Tiquillaca se encuentra en una área de 3.5283 hectáreas, que traspasó el banco minero a la universidad Nacional del Altiplano, lo que se aprecia en los planos (Plano N° 01, Plano N° 02, Plano N° 03, Plano N° 04, Plano N° 05, Plano N° 06 y Plano N° 07).

La contaminación de un cuerpo de agua depende del tamaño y calidad del vertimiento así como del tamaño de la fuente y su capacidad de asimilación; los cuerpos hídricos son receptores de vertimientos de aguas residuales y su calidad se ve afectada, principalmente, por los vertimientos no controlados provenientes de la actividad minera o industrial; los relaves se depositan hidráulicamente, donde las partículas más gruesas o arenas se deposita rápidamente, mientras que las finas fluyen y se depositan a distintas distancias; las propiedades de los relaves suelen ser similares a la de los suelos naturales, tamaño arena, mientras que la de relaves limosos presentan un comportamiento más complejo (Feder, 2006).

La sedimentación o decantación es la eliminación de los sólidos suspendidos en un líquido, por asentamiento gravitacional, depositándose los sólidos en el fondo de las pozas para que se efectúe la sedimentación, la velocidad del agua debe ser igual a un valor tal que los sólidos se asienten por gravedad, si el tiempo de retención es lo suficientemente grande en el depósito de sedimentación, la velocidad de asentamiento de las partículas está determinada por su tamaño, su forma y su densidad, además de la naturaleza del líquido, en el cual se encuentran las partículas; para mayor neutralización se usa los procesos de coagulación y de floculación, los cuales se emplean para extraer los sólidos que se encuentran suspendidos en el líquido, en este caso, se trata de partículas finas y gruesa que no se asientan por la gravedad (Feder, 2006).

El principal objetivo de este proyecto es reducir al mínimo la descarga del residuo líquido de nuestra planta concentradora haciendo que éste sea reutilizado – y aprovechado al máximo – nuevamente en el proceso de concentración de minerales sin perjudicarlo – en la medida de lo posible beneficiándolo y una vez que este residuo líquido recirculado se sature tratarlo adecuadamente antes de ser vertido al cuerpo receptor, cumpliendo la legislación de calidad de aguas vigente, presentando una descripción de la performance ambiental y de impacto positivo interno y externo (Jiménez, 2008).

Con el proceso de Tecnología de Limpieza, como una alternativa de solución en la remediación de efluentes metalúrgicos, con el empleo de la dolomita calcinada y sin calcinar, mediante Pruebas Metalúrgicas Experimentales se logró reducir las concentraciones del ion de cobre disuelto presente en los efluentes provenientes del

Proceso Metalúrgico de Flotación de la Planta Concentradora de la UNI, al cual se denominará “efluente metalúrgico UNI” y el Efluente Metalúrgico de la Solución de Sulfato de Cobre, que denominaremos “efluente metalúrgico UNMSM” (Flores, 2007).

Se originó con el fin de demostrar que para mejorar el desempeño ambiental de las empresas mineras, en los procesos de flotación, no solo basta cumplir las normas ambientales aplicables que son muy restringidas y no ayudan a prevenir posibles impactos ambientales puesto que no existe una metodología de control de xantatos en efluentes mineros; por lo tanto, el motivo de la presente tesis es implementar un método específico que podrá determinar el umbral de contaminación para prevenir, controlar y minimizar los posibles efectos negativos que puede causar la interacción con el medio acuático receptor (Guerrero, 2010).

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Flotación de Minerales

La flotación de minerales por espumas es un proceso físico - químico de la concentración de minerales, el proceso comprende el tratamiento químico de una pulpa de mineral a fin de crear condiciones favorables para la adhesión de ciertas partículas de minerales a las burbujas de aire. Tiene por objeto la separación de especies minerales, divididos a partir de una pulpa acuosa, aprovechando sus propiedades de afinidad (hidrofílicos) o repulsión (hidrofóbicos) por el agua (Bravo, 2008).

2.2.2. Los Reactivos

Son insumos o sustancias químicas que se usan en proceso de flotación, conjuntamente en agua, aire, y minerales molidos que gustan y se asocian a uno o más de los elementos.

La clasificación moderna divide a los reactivos en función del papel que desarrollan en el proceso:

Colectores

Cuya función principal es la de proporcionar propiedades hidrofóbicas a las superficies de los minerales. Los colectores son reactivos de compuestos orgánicos a los cuales les gustan los sulfuros y el aire, realizan su trabajo en una celda de flotación; son elementos que actúan primero sobre los sulfuros cubriéndolos con una capa delgada hidrófoba y luego se pegan a una burbuja de aire que pase cerca y viajan con ellas hasta la superficie llevando consigo su carga de sulfuros, los colectores más usados son: Xantatos y Aerofloth y el consumo es:

Cuadro 1.
Dosificación de Colectores

Reactivos	Forma	Dosificación gr./Tn.	Método de Alimentación
Aerofloth 31, 208, 404	Líquido	10 - 100	Sin diluir o diluido
Xantato Z-6, Z-11	Sólido	15 - 100	Solución

Fuente: Elaboración propia

Espumantes

Que permiten la formación de una espuma estable, de tamaño de las burbujas, apropiado para llevar los minerales al concentrado.

El tamaño de estas burbujas y su estabilidad dependerán de la cantidad de espumante agregado, con un aumento de la cantidad de espumante disminuirá el diámetro de las burbujas pero aumentará la estabilidad de la espuma, debido a mayor grosor de su película. Sin embargo, pasada una cierta concentración, la espuma desaparece completamente; a los reactivos espumantes les gusta el aire, más un elemento que los otros, los más usados como espumante son: el aceite de pino, el ácido cresílico, alcoholes sintéticos como es Dowfroth 250 y el consumo es:

Cuadro 2.
Dosificación de Espumantes

Reactivo	Forma	Dosificación gr. /Tn.	Método de Alimentación
Aero froth 65, 70, 73	Líquido	05 - 100	Sin diluir o diluido
Dowfroth 250	Líquido	15 - 100	Sin diluir o diluido
Aceite de pino	Líquido	15 – 100	Sin diluir
MIBC	Líquido	10 – 100	Sin diluir

Fuente: Elaboración propia

Modificadores

Que sirven para la regulación de las condiciones de funcionamiento de los colectores y aumentan su selectividad que lo forman como depresores, reactivadores, dispersantes, reguladores de pH. La función es la de disminuir la flotabilidad de un mineral en una flotación de minerales complejos de dos o más elementos como plomo-zinc-pirita, los reactivos depresores más usados son: Cal, silicato de sodio, Cianuro de sodio y el consumo es según a la dosificación de reactivos (Opa cit., Bravo, 2015).

Depresores

La función es la de disminuir la flotabilidad de un mineral. En la flotación, cuando queremos que floten algunos sulfuros usamos los reactivos depresores. Ejemplo: en una flotación de minerales complejos de plomo-zinc-pirita, se realiza la flotación diferencial de plomo y zinc. Se suele usar cianuro de sodio para que no floten ni el zinc ni la pirita. En este caso, el cianuro es un reactivo depresor porque deprime a los sulfuros de zinc y de hierro.

Cuadro 3.**Dosificación de Depresores**

Reactivos	Forma	Dosificación gr/Tn	Método de Alimentación
Cal	Sólido	Según al requerimiento	Sólido o lechada
Sulfato de zinc	Sólido		Solución
Silicato de sodio	Sólido		Solución
Hidróxido de sodio	Sólido		Solución
Floculantes	Sólido		Solución

Fuente: Elaboración propia

Activadores o activantes

La función reactivadora es contraria a la función depresora, es decir, que los reactivos de este tipo hacen flotar los sulfuros que han sido deprimidos en otros circuitos.

Cuadro 4.**Dosificación de Reactivadores o Activadores**

Reactivo	Forma	Dosificación gr./Tn.	Método de Alimentación
Sulfato de cobre	Sólido	Según al requerimiento	Solución
Acetato de plomo	Sólido		Solución
Sulfuro de sodio	Sólido		Solución

Fuente: Elaboración propia

Reguladores de pH

El pH indica el grado de acidez o de alcalinidad de la pulpa, el pH 7 es neutro (ni alcalino, ni ácido) y corresponde al agua pura, de 0 – 6 es ácido y de 8 – 14 es alcalino. El pH se mide con un aparato llamado potenciómetro, multiparámetro, pH metro, papel panpeha (Opa cit., Bravo, 2015).

El Aire: El aire es un factor importante de la flotación, porque forman las burbujas que se encargan de transportar los sulfuros valiosos hasta la superficie de la celda formando espumas.

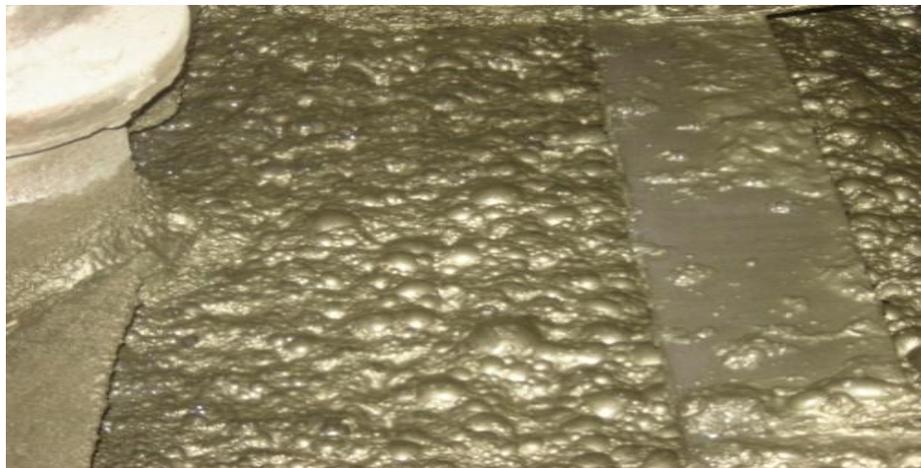


Figura 1. Burbujas de espumas en celda de flotación

2.2.3. Celdas y circuitos de flotación

Acondicionadores: Los diversos reactivos necesarios en la flotación exigen un cierto tiempo de contacto de la mezcla con la pulpa para que al llegar el momento de la espumación puedan rendir el máximo del efecto que se le pide. Con este fin se “acondiciona” la pulpa en tanques llamados acondicionadores.

Circuitos de flotación: la flotación es una operación destinada a seleccionar los sulfuros valiosos contenidos en la pulpa y rechazar la ganga como relave. Pero resulta casi imposible hacer esta operación en una sola celda, no se puede conseguir un concentrado limpio y un relave igualmente limpio. Es necesario que las espumas de las primeras celdas pasen a un nuevo grupo de celdas que se encarguen de limpiar los elementos indeseables que hayan logrado flotar con la parte valiosa. Lo mismo ocurre con los relaves de la primera celda ya que aún tienen apreciable cantidad de sulfuros valiosos que no se pueden perder y es necesario recuperarlos en otro grupo de celdas.

Las celdas de flotación son máquinas que sirven para obtener una espuma llamada concentrado.

2.2.4. Efluentes Mineros

Término empleado para nombrar a las aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos, que son emitidos por industrias metalúrgicas, generalmente a los cursos de agua; o que se incorporan a estas por el escurrimiento de terrenos causado por las lluvias. Los productos tóxicos presentes en los efluentes son muy variados, tanto en tipo como en cantidad, y su composición depende de la clase de efluente que los genera. Los desechos que contienen los efluentes pueden ser de naturaleza química y/o biológica (Ceamse 1985, Hernández, 1993).

2.2.5. Características de los Efluentes Líquidos

Los efluentes líquidos o aguas efluentes, contienen, en la mayoría de los casos, sólidos en suspensión, sólidos coloidales, iones disueltos (cationes y aniones) y una variada gama de reactivos residuales utilizados en la mayoría de los procesos industriales, el grado de toxicidad de los reactivos químicos varía, desde muy tóxicos a no tóxicos. Son considerados como muy tóxicos los colectores tióxicos, sulfonatos y aminas, como tóxicos los espumantes elaborados a partir de alcohol y como no tóxicos el polipropileno glicol y los jabones (Santander, 2011).

2.2.6. Gestión de Efluentes

Las mayores fuentes de contaminación del agua son los efluentes domésticos e industriales; los escurrimientos de tierra labrada, el arrastre de las lluvias la filtración de operaciones mineras, petroleras y rellenos sanitarios, teniendo en cuenta que solo el 32 % de los efluentes proveniente de los desagües son tratados y el 59.7% de estas aguas son usadas para regadío (Chung, 2017).

2.2.7. Métodos de Tratamiento de Efluentes

Es necesario mejorar los mecanismos de gestión para mitigar la carga contaminante por efluentes líquidos; los métodos de tratamiento de efluentes de separación por gravedad, biológica, aireación, filtración, cloración, decantación y

digestión son mostrados según su aplicación común, las limitaciones y los cambios principales en los aspectos de la calidad del efluente (Carranza, 2014).

2.2.8. Estudio de los metales pesados en el relave abandonado de Ticapampa

Resultado de operaciones de tratamiento de beneficio metalúrgico por flotación, que constituye un importante pasivo ambiental, que se encuentra alterando produciendo impacto negativo, debido a la contaminación del medio natural de la cuenca del río Santa. Es en ese sentido, se realizó un análisis geoquímico de 14 puntos de muestreo, destacándose, principalmente, tres puntos (P190, P192, P197) los cuales, según análisis geoquímico, son los más críticos, puesto que contienen mayor presencia y contenido de metales pesados (Romero, 2008).

2.2.9. Los relaves mineros, su efecto en el ambiente y la salud

El efecto ambiental de la industria minera produce contaminantes potenciales que afectan al agua y al aire. En el medio natural los excesos pueden generarse por drenajes de agua de minas, de desmontes o de relaves mineros. Algunos metales, como cadmio y mercurio, y metaloides como antimonio o arsénico, los cuales son muy común en pequeñas cantidades en depósitos metálicos son altamente tóxicos, aun en pequeñas cantidades, particularmente en forma soluble, la cual puede ser absorbida por los organismos vivos (García, 2011).

2.2.10. Tratamiento de Aguas en Minería

El tratamiento de aguas ha llegado a ser un componente principal en las operaciones mineras alrededor del mundo. El suministro de agua, la escasez y restricciones regulatorias están cambiando la visión del manejo global de aguas en la minería, además, la disposición del drenaje minero, por propósitos de seguridad y operacionales, posee un alto riesgo de contaminación de las aguas superficiales si no son manejadas responsablemente. Sin embargo, si estas aguas son tratadas, pueden optimizar positivamente el balance de aguas de la operación minera (Pall Corporation, 2012).

2.2.11. Tratamiento de Efluentes por el Método de Pantanos Artificiales (Wetland)

La especial atención es la aplicación de sistemas pasivos para mejorar la calidad de las aguas ácidas, proponiendo diferentes alternativas de actuación. La predicción de la calidad de sus aguas, así como una previsión de posibles métodos de tratamiento que pudieran llevarse a cabo en caso de ser necesarios, conforma el motivo principal de esta tesis. En ese sentido, se propone la aplicación de diversas técnicas existentes para el tratamiento de las aguas ácidas de mina, apoyadas sobre todo en métodos pasivos e indicando en cada caso los materiales y requisitos necesarios para su aplicación (Blancas, 2011).

El Estudio presenta una metodología de tratamiento de las aguas ácidas obteniendo la remediación de los efluentes de la industria minera basado en el empleo de la dolomita tratada que permite reducir las concentraciones de los iones de metales pesados disueltos en los efluentes minero-metalúrgicos, los cuales son indicadores de una mejora en la calidad de agua de los desechos industriales de procesos metalúrgicos de plantas concentradoras. Se reconoce el empleo de la dolomita mineral no metálico de carbonato doble de calcio y magnesio ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) (Flores, 2012).

2.2.12. Contaminación de Suelo

La contaminación es uno de los problemas más importantes del suelo (PNUMA, 2004) y se asocia con la entrada de sustancias que, a partir de una cierta concentración, deben considerarse como no deseables, la contaminación del suelo consiste en la introducción de elementos extraños al sistema suelo o la existencia de un nivel inusual de uno propio que, por sí mismo o por su efecto sobre los restantes componentes, genera un efecto nocivo para los organismos del suelo, sus consumidores, o es susceptible de transmitirse a otros sistemas (Porta, 1994).

2.2.13. Contaminación por Minería a Cielo Abierto

Es una actividad industrial de alto impacto ambiental, social y cultural. Data desde la EDAD DE PIEDRA, remontándonos al hombre prehistórico quien hace más de 2,5 millones de años, recolectaba rocas ricas en sílice para la fabricación de sus armas,

Las minas de superficie, son aquellas cuyo proceso extractivo se realiza en la superficie del terreno y con maquinarias mineras de gran tamaño (Monserrat, 2012).

2.2.14. Suelos Contaminados por La Minería son Recuperados con Plantas

La técnica se conoce como fitorremediación. Es decir, plantas adaptadas a condiciones de suelo extremas, que son capaces de aprovechar los minerales disueltos y devolver a la superficie su capacidad para generar vida. Los detalles de la tecnología se mantienen bajo reserva, ya que está en proceso de patentamiento. Lo claro es que desde que el proyecto Fondef partió en 2007, los suelos contaminados con escoria de un relave conocido como el salar de la India, han comenzado a adquirir un color verde. (García, 2011).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

Los conceptos involucrados en el proyecto es la flotación de minerales, son efluentes que nacen del proceso de flotación, agua recuperada de cancha de relaves, y sedimentos en suelo por la acción del material de relaves acumulados, para determinar los parámetros físicos y químicos del efluente y del suelo.

2.3.1. Aspecto Ambiental

Elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que pueden interactuar con el ambiente.

2.3.2. Impacto Ambiental

Cualquier cambio en el ambiente, sea adverso o beneficioso, resultante de manera total o parcial de las actividades, productos o servicios de una organización.

2.3.3. Contaminación Ambiental

Acción que resulta de la introducción por el hombre, directa o indirectamente en el medio ambiente, de contaminantes, por su concentración, al superar los niveles

máximos permisibles establecidos, como por el tiempo de permanencia, hagan que el medio receptor adquiera características diferentes a las originales, perjudiciales o nocivas a la naturaleza, a la salud y a la propiedad.

2.3.4. Calidad del Agua

Es un término variable en función del uso determinado que se vaya a hacer de ella. Para los usos más importantes y comunes del agua existen una serie de requisitos recogidos en normas específicas basados tradicionalmente en las concentraciones de diversos parámetros físico-químicos:

Aguas continentales: Todas las aguas en la superficie del suelo y todas las aguas subterráneas situadas hacia tierra desde la línea que sirve de base para medir la anchura de las aguas territoriales.

Aguas costeras: Las aguas situadas fuera de la línea de bajamar o del límite exterior de un estuario. Las aguas superficiales situadas hacia tierra desde una línea cuya totalidad de puntos se encuentra a una distancia de una milla náutica mar adentro desde el punto más próximo de la línea de base que sirve para medir la anchura de las aguas territoriales y que se extienden, en su caso, hasta el límite exterior de las aguas de transición.

Aguas dulces: Agua que surge de forma natural, con baja concentración de sales, y que con frecuencia puede considerarse apta para ser extraída y tratada a fin de producir agua potable.

Aguas residuales: Aguas vertidas después de ser utilizadas o producidas en un proceso, que contienen sustancias disueltas y/o en suspensión procedentes de ese proceso.

Aguas residuales domésticas: Las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios y generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

Aguas residuales industriales: Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.

2.3.5. Contaminación de Aguas

El agua es considerada, con mucha razón, como la víctima más común de la minería. Desde la fase de exploración hasta la de cierre, el agua puede ser agotada, re-dirigida y contaminada, con efectos serios y de largo plazo para los organismos que viven en agua, tierra, incluyendo a los seres humanos.

Grandes cantidades de agua son utilizadas durante casi todas las fases de producción minera. En regiones donde las fuentes de agua son escasas, o durante las estaciones secas, puede haber necesidad de importarla de fuentes fuera del área de la mina. Si el agua es tomada de ríos o lagos, el hábitat de organismos acuáticos podría verse negativamente afectado.

2.3.6. Manejo Ambiental del Agua

El manejo ambiental del agua comprende la fusión del manejo de los recursos hídricos aprovechables, con el manejo de agua de mina, nacen como efluentes del proceso de beneficio, comprendiendo el Sistema del Manejo de Recursos de Aguas (SMRA). Un SMRA considera las fuentes potenciales de descargas de contaminantes relacionadas con las operaciones mineras y de beneficio, las características son utilizadas de las aguas subterráneas y superficiales que potencialmente pueden ser impactadas y las metodologías que pueden ser seguidas para eliminar o reducir, tratar y manejar apropiadamente los efluentes.

2.3.7. Principales Contaminantes del Agua

Hay gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar en medio físico y biológico.

- PH (Potencial Hidrogeno).

- T° (Temperatura del Agua).
- CE (Conductividad Eléctrica).
- OD (Oxígeno Disuelto).
- STD (Sólidos totales disueltos).
- Q (Caudal).

Los Parámetros Orgánicos incluyen:

- Parámetros Químicos (Aceites y grasas).
- Parámetros Biológicos (Coliformes fecales).

2.3.8. Identificación de los Efluentes del Proceso de Flotación

En una operación de procesamiento de minerales, la fuente principal contaminante en el recurso hídrico son los reactivos que se emplea en el proceso de flotación, del cual se tiene el concentrado y los relaves, tales como:

- Efluentes Líquidos de la Planta concentradora.
- Efluentes Líquidos de Relavera.

2.3.9. Identificación y Caracterización de las Aguas que Pueden ser Impactadas por los Efluentes Contaminantes

La ubicación y usos benéficos de las aguas superficiales que pueden ser impactadas por actividades del proceso de flotación. La ubicación (profundidad y extensión del área), dirección del flujo y sus usos de las aguas subterráneas subyacentes al lugar del proyecto podrían ser impactadas por las actividades del proyecto. La identificación de todos los criterios de calidad de aguas superficiales y subterráneas potencialmente impactadas.

Cuadro 5.

Niveles Máximos Permisibles de Emisión para las Actividades Minero Metalúrgico

Parámetros	Valor en Cualquier Momento	Valor Promedio Anual
pH	Mayor que 6 y menor que 9	Mayor que 6 y menor que 9
Sólidos suspendidos (mg/l)	50	25

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

Cuadro 6.

Niveles Máximos Permisibles: Empresas en Operación o que Reinician sus Actividades

Parámetros	Valor en Cualquier Momento	Valor Promedio Anual
pH	Mayor que 5.5 y menor que 10.5	Mayor que 5.5 y Menor que 10.5
Sólidos suspendidos (mg/l)	100	50

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

2.3.10. Parámetros de campo

Parámetros Físicos: T°, pH, CE, OD, Turbidez, STD.

Temperatura (T°): Es un parámetro muy importante ya que influye en la obtención de resultados confiables en el campo o en el laboratorio. La variación de la temperatura del agua depende del clima local y en las influencias del entorno.

Potencial Hidrógeno (pH): Es una expresión del carácter ácido o básico del agua u otra sustancia líquida, determinada por el número de iones hidrógenos presente. Su importancia radica dependiendo del valor de pH, lo que puede limitar la posibilidad de vida acuática y muchos de los usos del agua.

La escala de pH contiene una serie de números que varían de 0 a 14, miden el grado de acidez de una solución.

Los valores de inferiores a 7 y próximos a cero (0) indican aumento de acidez.

Los que son mayores de 7 y próximos a 14 indican aumento de la basicidad, cuando el valor es 7 indica neutralidad.

Medición: Lo mejor es que el pH sea determinado *in situ*. El método de medición usado es el electrométrico debido a su facilidad y exactitud.

Conductividad Eléctrica (CE): Es la capacidad del agua para transportar la corriente eléctrica; esta capacidad depende de los iones presentes en el agua, debido a la división de sales inorgánicas, ácidos y bases. Su importancia nos permite verificar en forma rápida la variación del contenido de sales disueltas en aguas superficiales y estimar cuantitativamente los sólidos totales disueltos (TDS) en una muestra de agua. Así mismo los cambios en la conductividad nos pueden indicar intrusión salina u otras fuentes de contaminación. En las aguas superficiales, los iones que son directamente responsables de los valores de la conductividad son: el calcio, magnesio, potasio, sodio, los carbonatos, sulfatos y cloratos.

Medición: El método de medición más usado es el potenciométrico debido a su facilidad y exactitud. No obstante recomienda medir *in situ*.

Oxígeno Disuelto (OD): Es el oxígeno que se encuentra disuelto en el agua, proveniente, principalmente, del oxígeno absorbido de la atmósfera por el movimiento constante del agua como los oleajes, saltos y rápidos. Otra fuente de oxígeno disuelto es la fotosíntesis del fitoplancton, las algas y las plantas acuáticas (eliminan dióxido de carbono y lo reemplazan con oxígeno). La importancia del oxígeno en el agua es vital para la vida acuática (peces, plantas, bacterias aerobias, etc.), por esa razón, la falta del mismo es dañina para ella. Así mismo, la falta de oxígeno disuelto es un indicador de contaminación que puede estar en función de la presencia de plantas acuáticas, materia orgánica oxidable, de organismos y de gérmenes aerobios, existencias de grasas, de hidrocarburos, de detergentes, etc.

Medición: El oxígeno disuelto (OD) debe medirse *in situ* ya que las concentraciones pueden cambiar en un corto tiempo, para realizar mediciones muy exactas, se debe considerar el método potenciométrico.

Turbidez: Es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión se haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez.

Medición: La turbidez debe medirse *in situ* ya que el estado físico del agua puede cambiar en corto tiempo, para esto se debe usar el instrumento turbidímetro.

2.3.11. Parámetros de Laboratorio

Parámetros químicos: pH, sólidos totales de suspensión (STS), sólidos totales disueltos (STD), carbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, fosfatos, sulfuros, metales pesados, DBO, DQO.

Sólidos Totales Suspendidos (STS): Están constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales, cuyo tamaño de partícula no pase el filtro estándar de fibra de vidrio. La concentración de partículas son retenidas en un medio filtrante de microfibra de vidrio, con un diámetro de poro de 1.5 micrómetros o su equivalente.

Sólidos Totales Disueltos (STD): Constituyen una medida de la parte de sólidos en una muestra de agua que pasa a través de un poro nominal de 2,0 μm (o menos) en condiciones específicas. Esta medida proporciona otra indicación (como la conductividad) de la salinidad en las descargas de la industria petrolera.

Cloruros (Cl): Son los principales aniones inorgánicos en el agua. A diferencia de los indicadores más generales de la salinidad (la conductividad y los STD), la concentración de cloruros es una medida específica de la salinidad de las descargas de la industria petrolera. Los cloruros son los principales componentes de las salmueras de petróleo. El incremento de cloruro en el agua ocasiona el aumento de la corrosividad del agua. El alto contenido de cloruros impide que el agua sea utilizada para el consumo

humano o el ganado. Altos porcentajes de cloruros en los cuerpos de agua también pueden matar a la vegetación circundante.

Sulfatos (SO_4^{2-}): Están presentes en forma natural en numerosos minerales y se utilizan comercialmente, sobre todo, en las industrias químicas. Se descargan a través de los desechos industriales y de los depósitos atmosféricos; no obstante, las mayores concentraciones se dan, por lo general, en las aguas subterráneas.

Nitratos (NO_3^-): Los nitritos (NO_2^-) son oxidados por el grupo de nitrobacterias para formar nitratos (NO_3^-). Los nitratos formados pueden servir como fertilizantes para las plantas. Los nitratos producidos en exceso, para las necesidades de la vida vegetal, son transportados por el agua; luego, estas se filtran a través del suelo, debido a que el suelo no tiene la capacidad de retenerlos, por ello, se pueden encontrar concentraciones superiores en aguas subterráneas.

Fosfato (PO_4^{3-}): Son nutrientes para las plantas. Tienen aplicaciones industriales diversas y como fertilizantes. Los vertidos de PO_4^{3-} a las aguas naturales pueden causar eutrofización.

Sulfuro (SO_3): La medición del sulfuro total en el agua incluye H_2S y HS^- disueltos, así como sulfuros metálicos solubles en ácido que pueden estar presentes en la materia suspendida. Con frecuencia los SO_3 están presentes en las aguas residuales de las refinерías; lo que puede ser tóxicos para los peces y generar olores desagradables.

Metales Pesados: Son elementos químicos metálicos que tienen una relativa alta densidad y sea tóxico, debido a la posible contaminación de aguas superficiales, y algunas veces están presentes en pequeñas cantidades en las aguas residuales de los efluentes mineros, como son Plomo (Pb), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y Arsénico (As) (Prieto, 2009).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno usado por las bacterias con condiciones aeróbicas en la oxidación de materia orgánica para obtener CO_2 y H_2O . Esta prueba proporciona una

medida de la contaminación orgánica del agua, especialmente de la materia orgánica biodegradable.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): La demanda química de oxígeno (DQO) es una medida del equivalente en oxígeno del contenido de materia orgánica en una muestra que es oxidable utilizando un oxidante fuerte. Es diferente a la prueba de la DBO, pues la DBO mide sólo la fracción orgánica oxidable biológicamente. Es importante obtener una medida de la DQO en aguas residuales de refinería, pues estos residuos, con frecuencia, contienen contaminantes orgánicos no biodegradables.

2.3.12. Frecuencia de Muestreo

Número de muestras representativas tomadas en un período determinado de tiempo, en las diferentes estaciones de muestreo.

Métodos de muestreo

- a. **Muestreo manual:** El muestreo manual implica un mínimo de equipos, pero para programas de muestreo a gran escala o de rutina puede ser excesivamente costoso su manejo.
- b. **Muestreo Automático:** Los equipos de muestreo automático pueden eliminar errores humanos, inherentes al muestreo manual, reducen los costos y permiten aumentar la frecuencia del muestreo. El muestreador automático no debe contaminar la muestra, en el caso de que los recipientes de plásticos sean incompatibles para almacenar muestras que contienen compuestos orgánicos que son solubles en el envase de plástico o puede contaminarse al contacto con éste. En estos casos un muestreador manual con recipiente de vidrio es más adecuado. No obstante se debe programar el muestreador automático de acuerdo con las especificaciones y las necesidades del muestreo, ajustando cuidadosamente las velocidades de la bomba y los tamaños de los tubos, según el tipo de muestra a tomar.

2.3.13. Tipos de Muestras

- a. **Muestra simple o puntual:** Una muestra representa la composición del cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancia particular en la que se realiza su captación. Cuando la composición de una fuente es relativamente constante a través de un tiempo prolongado o a lo largo de distancias sustanciales en todas las direcciones, puede decirse que la muestra representa un intervalo de tiempo o un volumen más extenso.
- b. **Muestras compuestas:** Se refiere a una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos. La mayor parte de las muestras compuestas en el tiempo se emplean para observar concentraciones promedio, usadas para calcular las respectivas cargas o la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales.

2.3.14. Medición de Caudales

El caudal de un río es la cantidad o volumen de agua que pasa por una sección determinada en un tiempo dado; para medir existen varios métodos, de los cuales más utilizados es el método del correntómetro y el método del flotador, para el trabajo de investigación se utilizó uno de los métodos.

Método del Flotador

El método del flotador se utiliza cuando no se tiene equipos de medición, para este fin se tiene que conocer el área de la sección y la velocidad del agua. Para medir la velocidad se utiliza un flotador (tecnopor, corcho, pelotita de plástico) con él se mide la velocidad del agua de la superficie.

El cálculo consiste en:

$$Q = A \times V$$

$$V = \frac{e}{t}$$

Dónde:

Q = caudal

A = área de la sección transversal

V = es la velocidad en m/s

e = espacio recorrido en m del flotador

t = tiempo en segundos del recorrido e por el flotador

2.4. MARCO LEGAL

2.4.1. Marco Legal del Agua

- Constitución Política del Perú – Título III, Capítulo II, del Ambiente y los recursos Naturales.
- Ley General del Ambiente N° 28611.
- D.S. N° 016-93-EM, Reglamento de Protección Ambiental en la actividad Minero-Metalúrgico.
- Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM: Aprueba los Niveles Máximos Permisibles Para Efluentes Líquidos para las Actividades Minero – Metalúrgicas.
- D.S. N° 002-2008-MINAM, Aprueban Estándares Nacionales de calidad Ambiental para Agua.
- Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, aprueba disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental.
- Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA, aprueba la clasificación de cuerpos de agua superficiales y marinos.
- Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles - LMP, para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas.
- Protocolo de la calidad ambiental del agua.
- Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM: Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación.

- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Establecen Disposiciones Complementarias.

2.4.2. Marco Legal del Suelo

- Constitución Política del Perú – Título III, Capítulo II, del Ambiente y los recursos Naturales.
- Ley General del Ambiente N° 28611.
- Decreto Supremo N° 016-93-EM, Reglamento de Protección Ambiental en la Actividad Minero-Metalúrgico.
- Decreto Supremo N°002-2013-MINAM, Aprueban Estándares de calidad Ambiental (ECA) para Suelo.
- Decreto Supremo N° 002-2014-MINAM, Aprueban Disposiciones Complementarias para la Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.
- R.M. N° 085-2014-MINAM. Aprueban Guía para el Muestreo de Suelos y Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos.
- Protocolo de la Calidad Ambiental del Suelo.
- Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1.1. Ámbito de estudio

La Planta Concentradora de Tiquillaca tiene una capacidad de procesamiento de 50 TMD por proceso de flotación, se encuentra ubicado en la Quebrada Sonsuri, Comunidad Paxa, se aprecia en el Plano N° 01 (pág. 28).

3.1.1.1. Ubicación

La Planta Concentradora Tiquillaca se encuentra ubicada al sur-oeste de la región Puno. La extensión superficial del área es de 3.5283 Hás. El centro de ubicación de la planta concentradora se asume un radio de acción de 65 km. efectivos, se describe en el Plano N° 01 y Plano N° 02 (anexo 3).

Lugar de ubicación	: Yanacancha Sonsori
Distrito	: Tiquillaca
Provincia	: Puno
Región	: Puno

Las coordenadas geográficas (Datos ubicados según Internet-carta cartográfica del Perú) y la elevación aproximada son:

Latitud sur	: 15° 56' 54''
-------------	----------------

Longitud oeste : 70° 14' 23''
Elevación : 3875 – 3935 m.s.n.m.

3.1.1.2. Accesibilidad

Las Vías de acceso a la Planta Concentradora de Minerales de Tiquillaca, se presentan por las siguientes rutas como:

Cuadro 7.

Ruta de acceso a la planta concentradora de minerales. Tiquillaca-Puno

Ruta	De	A	Km	Tipo Vía	Tiempo Hr
A	Puno	Dist. Tiquillaca	24.5	Carretera Afirmada Asfaltada	0:45' 00''
	Dist. Tiquillaca	Planta Concentradora	8.0	Trocha Carrozable	0:15' 00''
	TOTAL		32.5		1:00' 00''
B	Planta Concentradora	Dist. Tiquillaca	8.0	Trocha Carrozable	0:15' 00''
	Dist. Tiquillaca	Puno	24.5	Carretera Afirmada Asfaltada	0:45' 00''
	TOTAL		32.5		1:00' 00''

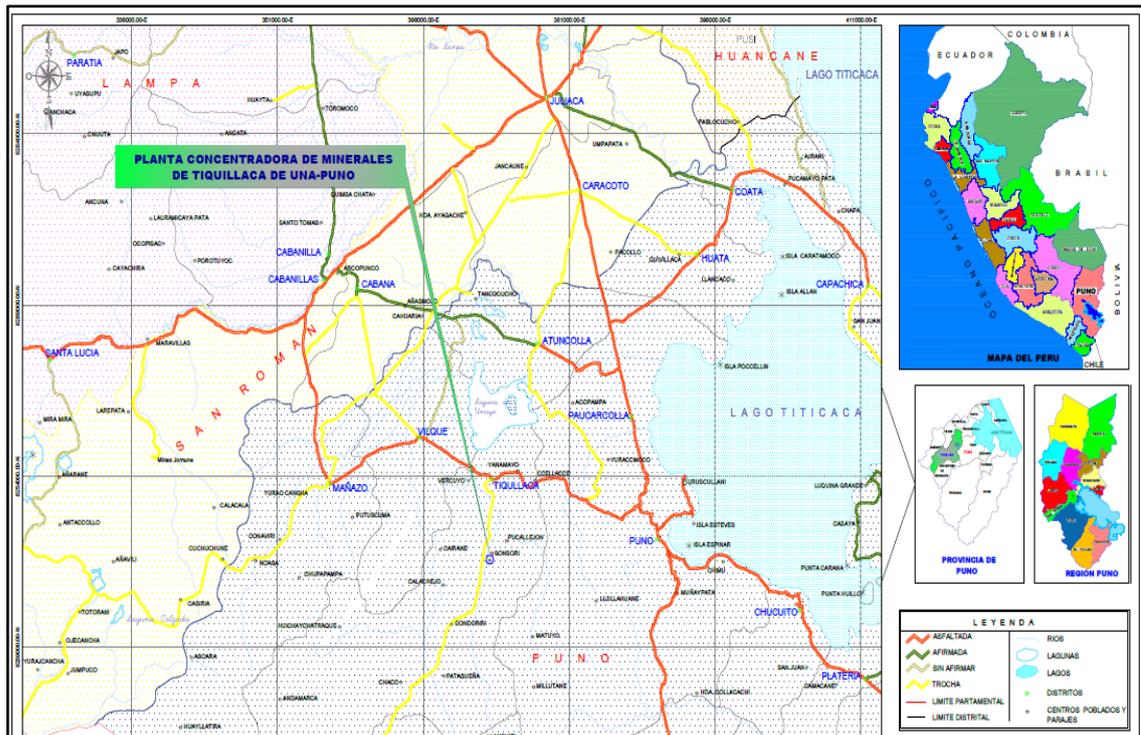


Figura 2. Ubicación de la Planta Concentradora de Tiquillaca-Plano N° 01-Anexo 3.



Figura 3. Planta Concentradora de Tiquillaca-Plano N° 03-Anexo 3

3.1.1.3. Clima y Vegetación

El clima del área es seco. La zona se caracteriza por ser, además, de clima frígido y lluvioso, con cambios bruscos de temperatura entre el día y la noche presenta

el siguiente comportamiento: de abril a Agosto – Época seca, la temperatura llega hasta los 3°C bajo cero; de Agosto a Marzo – Época lluviosa y a veces granizada, la temperatura oscila entre 6 - 10°C. La vegetación es bastante agradable con la presencia de diferentes tipos de pastos en mayor cantidad la presencia de unos pastos silvestres típicos de las alturas (ichu) y (chilligua).

3.1.2. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación desarrollada corresponde a una investigación tipo aplicada, por tener propósitos prácticos inmediatos bien definidos, es decir, como son y cómo se comportan determinados fenómenos en los efluentes líquidos, investigándose para actuar, transformar, modificar o producir cambios en un determinado sector de la realidad, aplicando técnicas de producción de datos y análisis. La investigación aplicada busca la generación de conocimiento, con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo. Esta se basa fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación básica, ocupándose del proceso de enlace entre la teoría y el producto (Bernal, 2006).

3.1.3. Población

La población de estudio está conformada por toda el área destinada de la Planta Concentradora y la muestra será el área destinada al procesamiento de minerales, que está comprendida en:

- Efluente líquido del proceso de flotación
- Agua recuperada del relave (reutilizada)
- Cancha de relaves y suelo estratificada.

3.1.3.1. Muestra

Para los parámetros físicos químicos de los efluentes líquidos del proceso de flotación se tomaron como muestras:

- Muestra de agua fresca de captación.

- Muestra del efluente líquido del proceso de flotación.
- Muestra de agua recuperada del relave.
- Muestra estratificada de suelo.

3.1.4. Método de estudio aplicado

El método de la investigación es cuantitativo, según García y Ortiz (2005), dice: “Es la lógica general empleada tácita o explícitamente para valorar los méritos de una investigación. Es, por tanto, útil pensar acerca del método científico como constituido por un conjunto de normas, las cuales sirven como patrones que deben ser satisfechos si alguna investigación es estimada como investigación responsablemente dirigida cuyas conclusiones merecen confianza racional”.

3.1.5. Técnicas

Se procesará los datos obtenidos del monitoreo durante el trabajo de campo para generar los resultados, a partir de los cuales se realiza el análisis de los parámetros físicos químicos según los objetivos de la hipótesis de la investigación realizada.

3.1.5.1. Materiales

- Mapas y planos de ubicación.
- Libretas de campo.
- Cinta adhesiva ancha (embalaje).
- Plumón indeleble y bolígrafos.
- Pizeta y agua destilada.
- Bolsa plástica transparente gruesa (grande y chico).
- Protocolo de muestreo.
- Guía de instrucciones de muestreo.
- Cadena custodia.
- Etiquetas para identificación de Frascos.
- Kits de recipientes para monitoreo y muestreo.
- Cooler proporcionado por el laboratorio.
- Refrigerantes.

- Guantes quirúrgicos.

3.1.5.2. Equipos.

- Multiparametro modelo HI 9828 (Portátil).
- Equipo turbidímetro modelo Wagtech.
- Cámara fotográfica.
- GPS Navegador Garmin 650.
- Distanciómetro (Flexómetro).
- Equipos de protección personal (EPP).

3.1.6. Principales Características del Procesamiento de minerales en la planta concentradora

La planta concentradora de Tiquillaca está diseñada para realizar el proceso de extracción de minerales polimetálicos mediante el proceso de flotación, de los minerales de cobre, plomo plata, Cinc y otros, el relave es depositado en la cancha de relaves, incluyendo con cochas de concentrado y pozas de sedimentación para decantar el agua luego para ser reusado nuevamente en un circuito cerrado en proceso de flotación.

El yacimiento minero se encuentra ubicado en la Quebrada Sureste y Suroeste de Paxa, distrito de Tiquillaca, Las especies mineralógicas principales son sulfuros de plomo plata, cinc, cobre, con leyes considerables. El mineral es transportado a la planta concentradora mediante volquetes, con una relación estéril/mineral de 8/1. El beneficio del mineral a razón de 50 ton/día, incluye etapas convencionales de chancado, molienda y flotación, obteniéndose un producto final o concentrado con ley entre 45% de Pb y 35% de Cu para recuperaciones metalúrgicas entre 80% y 90%. El yacimiento o depósito de mineral está ubicado fuera del área de la planta de procesamiento de minerales a 45 km al suroeste de Tiquillaca. El material pesado procedente de la mina es sometido a chancado, molienda fina húmeda y flotación alcalina, lo que le permite obtener como producto útil, concentrados de plomo plata y cobre, por otra parte como desecho, material estéril o relave (84%-90% del tonelaje extraído) que en forma de pulpa es conducido y depositado en el embalse de relaves.

El relave es depositado en cancha de relave sobre los depósitos de relaves anteriores que han sido compactados y analizado en sus alrededores determinando que por el suelo arcilloso no ha contaminado aguas abajo.

Adicionalmente, en el caso de los depósitos de relaves, se verificó la baja permeabilidad del suelo que servirá de base, no obstante lo cual se ha considerado la colocación de carpeta plástica impermeable para asegurar una condición de mínima o nula infiltración de agua hacia el subsuelo. La medida anterior obedece a la intención de tomar las máximas precauciones para evitar la contaminación del río Condorire.

Se tiene una descripción mediante un diagrama de flujo de operación mecánico del procesamiento de mineral en la planta concentradora.

3.1.6.1. Diagrama de flujo - Flow Sheet Planta Concentradora de Tiquillaca

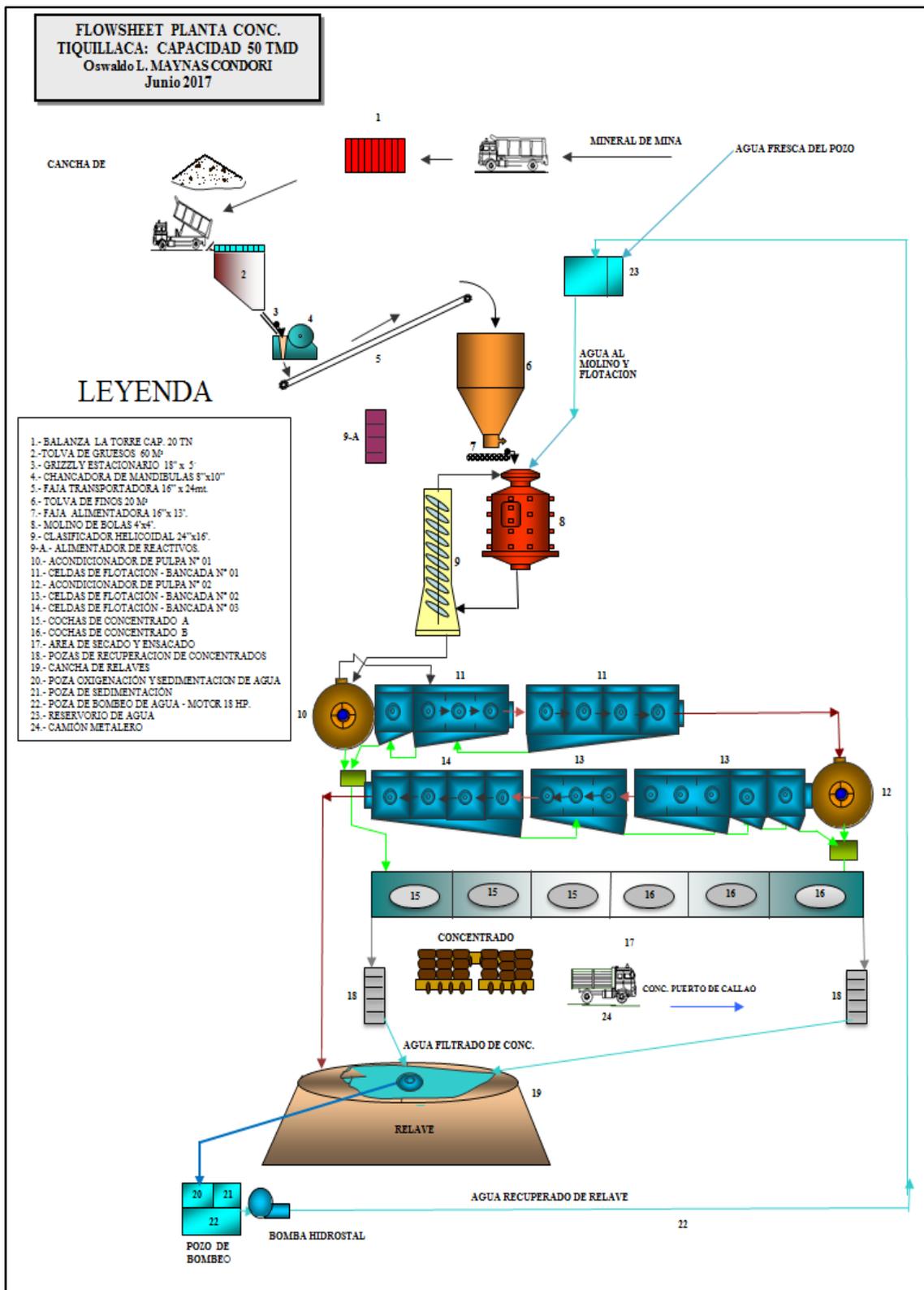


Figura 4. Planta Concentradora de Tiquillaca-Plano N° 04; Plano N° 06; Plano N° 07.

Anexo

3.2. TRATAMIENTO DE MINERALES EN LA PLANTA CONCENTRADORA

La Planta Concentradora de Tiquillaca tiene una capacidad de procesamiento de 50 TMD. El yacimiento minero no se encuentra ubicado en la Quebrada de Paxa, distrito de Tiquillaca, solamente, se ubica la planta concentradora de minerales mediante la concentración por proceso de flotación. Las especies mineralógicas principales son sulfuros de plomo, plata, oro, sulfuro de cobre, y cinc de alta ley. El mineral es transportado a la planta concentradora mediante camiones volquetes, con una relación estéril/mineral de 5.10/1. El beneficio del mineral, a razón de 50 ton/día, incluye etapas convencionales de chancado, molienda y flotación, obteniéndose un producto final o concentrado con ley entre 50.80% Pb, 18.60% Ag y 38% Cu para recuperaciones metalúrgicas entre 96.49%, 84.40% y 95.78%.

El yacimiento o depósito de mineral está ubicado fuera del área de la planta de procesamiento de minerales a 39 km al suroeste de Tiquillaca. El material pesado procedente de la mina es sometido a chancado, molienda fina húmeda y flotación alcalina lo que le permite obtener, por una parte, como producto útil, concentrado de plomo plata, concentrado de cobre; por otra lado, como desecho, material estéril o relave (75%-90% del tonelaje extraído) que en forma de pulpa es conducido y depositado en el embalse de relaves.

El relave se deposita en una cancha de relaves sobre los depósitos de relaves anteriores que han sido compactados y analizado en sus alrededores determinando que por el suelo arcilloso no ha contaminado aguas abajo ni filtraciones.

Adicionalmente, en el caso de los depósitos de relaves, se verificó la baja permeabilidad del suelo que servirá de base, para lo cual se ha considerado la colocación de carpeta plástica impermeable para asegurar una condición mínima o nula de infiltración de agua hacia el subsuelo. La medida anterior obedece a la intención de tomar las máximas precauciones para evitar la contaminación del río Condorire y en el sector, como se aprecia en el Plano N° 04 y plano N° 05.

3.2.1. Etapa de Operación

La actividad Principal de la Planta Concentradora de Tiquillaca es el tratamiento de minerales sulfuros polimetálicos (Pb, Ag, Au, Cu, Zn, etc.), operación que viene realizando actualmente a una capacidad operativa de 50 TMSD. La etapa de operaciones comprende el tratamiento del mineral en la planta concentradora, mediante un circuito de flotación que se producirá por un proceso de separación, un concentrado de plomo plata y cobre. Estas actividades también involucran la puesta en operación del depósito de relaves. A continuación se describe las actividades involucradas en la etapa de operación del proyecto, por lo que el Proyecto Planta concentradora de Tiquillaca considera las siguientes actividades de operación:

- Transporte de mineral hasta la planta concentradora para la sección de chancado.
- Procesamiento y beneficio del mineral en la sección molienda-clasificación y sección de flotación.
- Construcción de las fases de la presa de relaves.
- Disposición de relaves.
- Transporte de concentrados.

3.3. OPERACIÓN DE PLANTA CONCENTRADORA

La planta de concentradora consiste en la etapa de conminución del mineral y la separación mediante el proceso de flotación para obtener plomo-plata-oro y cobre en concentrados, teniendo la planta un área construida de 470.00 m². La planta está construida con estructura metálica, las paredes y techo de calamina a una sola agua, el área tiene piso de cemento traslucido, en tres desniveles divididos con muros de concreto armado.

3.3.1. Transporte de Minerales

El transporte de los minerales, proviene de diferentes sitios como cuzco (Colquemarca), Potoni, San Antonio de Esquelachi, Pichacani, y entre otras; el transporte se realiza por medio de camión volquete y camiones de carga (volvos).

3.3.2. Almacenamiento de Minerales

El peso de mineral se obtiene por medio de la cubicación en mismo camión volquete por falta de una balanza. El mineral se alimenta a la tolva de gruesos de una capacidad de 60 TM, el almacenamiento en mayor cantidad; los volquetes descargan en la cancha de gruesos de 1000 m² que esta acondicionada para almacenar aproximadamente 10,000 toneladas; para luego ser descargado en forma regulada hacia la sección de chancado.

3.3.3. Tolva de Gruesos

La tolva de grueso está construido de planchas de acero de tipo desmontaje, con una capacidad de 60 TM, en la parte inferior lleva una compuerta de regulación con una abertura de 69 x 60 cm, en la parte interna de la tolva tiene la forma de paralelepípedo rectangular y prismática, esto para alimentar a la chancadora.

3.3.4. Grizzly Estacionario

El mineral es alimentado a la tolva de gruesos a través de una compuerta y pasa por un Grizzly estacionario de 2'x4' con abertura de 1" entre rieles, los finos pasan directamente a la faja transportadora N° 1 y los mayores a 1" pasan a la chancadora de quijada por intermedio de un chute con plancha de 1/8. Es seleccionar el mineral evitando apelmazamientos con minerales finos y molestias en la chancadora.

3.3.5. Área de Chancado

El proceso de chancado se refiere a la reducción mecánica de las partículas por medio de la chancadora que reducen el tamaño del mineral.

Esta área inicia con el paso de mineral por el Grizzly. El proyecto contempla operar una chancadora de quijada tipo BLAKE 8"x10" marca COMESA, para lo cual el mineral es alimentado a la chancadora de quijadas, es accionada con un motor de 33 HP y 1715 rpm.

Las operaciones de chancado se emplean para fracturar los agregados de minerales y así inducir la liberación de partícula. Esta sección ocasiona la fractura por compresión ya que este es el método más práctico de aplicar la fuerza de fractura a las partículas grandes. Esto significa a su vez que la máquina está construida para que las aberturas impongan limitaciones al tamaño de la alimentación y el producto. La descarga de la chancadora es alimentada a una faja transportadora.

3.3.6. Faja Transportadora

El equipo de transporte más usado se compone de una banda sin fin que se mueve sobre una serie de polines de transporte, las fajas transportadoras se fabrican en una amplia gamma de tamaños y materiales. Pueden diseñarse para trabajar horizontalmente o a una cierta inclinación. En este caso la chancadora descarga mineral a la faja transportadora N° 1 de 16" x 14m de largo. Con estructura metálica con faja de jebe de 16" accionada con un motor de 4.8 HP, esta faja sirve para el transporte del material chancado y alimentar a la tolva de finos. Esta Faja tiene implementados en los puntos de transferencia, "correas magnéticas" autolimpiantes para captar elementos metálicos no deseados en el mineral.

3.3.7. Tolva de Finos

El mineral transportado por la faja transportadora N° 1 es alimentado a la tolva de finos con una capacidad de 50 Ton, de forma circular con fondo cónico fabricada de plancha de acero A-36 de ¼" de espesor de secciones desarmables. Esta tolva descarga por la parte inferior controlada por una compuerta con un tope a una faja transportadora N° 2 de 16"x5' de largo con bastidor metálico, suspendido sobre polines de transporte y accionada por motor reductor de velocidad con una excéntrica de 2"x19" y brida de 4" con motor de 3HP. Esta faja transportadora por intermedio de un chute alimenta mineral al molino.

3.3.8. Molienda y Clasificación

El molino es el equipo por el cual se aplica una fuerza de fractura a un gran número de partículas, lográndose el efecto mediante el uso de medios de molienda para que se produzca predominantemente fractura por estallido.

El mineral de la tolva de finos es regulado por medio de una compuerta a razón de 2.083 TM por hora, esto permite pasar 50 TMD. La alimentación se hace por medio de un alimentador faja N° 2 de 16"x5.20 m. tipo Morse de Strokes regulable. El mineral es alimentado al Molino de bolas, forma cilíndrico de 5'x5', marca COMESA, con motor eléctrico, marca ASEA de 69 HP, 220/440V, se diluye para una densidad de 1.8 a 2.0 Kg/l conjuntamente con la alimentación del mineral se adicionan los reactivos, depresores y algunos promotores con el fin de darle el tiempo suficiente de acondicionamiento. Los medios de molienda lo constituyen las bolas de acero. La pulpa de la descarga del molino entra al Clasificador Helicoidal de 30"x18' con motor eléctrico de 4.8 HP, 220/440 V Marca ASEA tipo PBC.

El clasificador tiene dos descargas los finos que van a la celda de acondicionamiento con 60 – 75 % a malla -200 Tyler para la flotación y los gruesos retornan al molino 5'x5' como carga circulante, trabajan en circuito cerrado de clasificación.

La alimentación al molino es controlada cada hora mediante pesaje y la densidad de pulpa se controlará cada media hora, en la alimentación y descarga del molino, en el overflow del clasificador, un continuo control de pH en molienda y flotación.

Cuadro 8.

Dosificación y Consumo de Reactivos en Molienda

Molienda	Solución	Kg/TM
- Cal	Sat.	0.031kg/T
- Aerofloat 208	5%	0.030 Kg./T
- Aerofloat 242	5%	0.026 Kg./T
- Aerofloat 404	5%	0.032 Kg./T

Fuente: Planta Tiquillaca 2016

3.3.9. Sección Flotación

El sistema de flotación es reconocido, dentro de las tecnologías disponibles, para concentrar los minerales sulfurados polimetálicos como plomo plata, oro, cinc y cobre, el menos contaminante, considerando que se usan principalmente aceites orgánicos naturales.

La pulpa del rebose del clasificador helicoidal es alimentado a la celda de acondicionamiento N° 1, donde se realiza una operación unitaria en el cual son dosificados los reactivos colectores, modificadores y espumantes.

La pulpa generada en el molino pasa por un proceso de acondicionamiento y luego, por espumación y adherencia (absorción) selectiva con la ayuda de reactivos de flotación, se logra elevar las partículas mineralizadas en la espuma generada; obteniéndose de esta forma el concentrado. El material estéril sale como relave.

La sección de flotación consta de una celda de acondicionamiento y dos bancadas de celdas de flotación, 04 unidades c/b. El circuito de flotación produce un concentrado de plomo plata oro, cinc y cobre. Las celdas son Cleaner, Rougher y Scavenger. El concentrado de este circuito es recepcionado en un depósito en forma cuadrada de material metálico (caja metálica de recepción) y por medio de una tubería de acero de 4" \varnothing es llevada a las cochas de concentrado.

Cuadro 9.

Dosificación y Consumo de Reactivos en Flotación

Flotación Rougher	Solución	Kg./TM
- Xantato Z-11	5%	0.076 kg/t
- Frother 70	100%	0.032 kg/t
- Na ₂ SIO ₃	10%	0.071kg/t
Flotación Scavenger	Solución	Kg/TM
- Cal	Sat.	0.025 kg/t
- Xantato Z-6 / Z-11 (1:1)	5%	0.015 kg/t
- Frother 70	100%	0.006 kg/t

Fuente: Planta Tiquillaca 2016

Los reactivos son preparados en soluciones de 5 a 10% de concentración, que están dentro del rango permisible por ley, la adición de la cal es en molineta clasificación y en el proceso de flotación permite trabajar en condiciones alcalinas.



Figura 5. Celdas de Flotación

3.3.10. Cochas de Almacenaje de Concentrado

El concentrado de flotación es recolectado en un depósito de acero y enviado mediante tubería a las cochas de concentrado para su filtrado siendo la zona de decantación y control de concentrado final. Cada cocha tiene dimensiones de 2 x 6 x 3m, construidas de material de concreto armado, el cual se utiliza para decantación del concentrado. En el fondo de estas cochas se adecua un doble fondo con rafia y madera de modo tal que el agua es filtrada; el concentrado, posteriormente, es secado y transferido de la pila de acopio a los camiones para el transporte del concentrado. El flujo filtrado es derivado por una tubería de acero de 2" a unas cinco pozas de sedimentación para evitar cualquier fuga de sólidos en las cuales serían recuperadas para su posterior secado, en estas pozas confeccionadas de concreto sirve para clarificar el agua y derivar por tubería a la cancha de relaves.



Figura 6. Área de Ensacado de Concentrado-Plano N° 06



Figura 7. Concentrado de Pb Ag-Cu

El relave de las celdas de flotación son derivadas a la cancha de relaves por medio de una tubería de concreto hasta el exterior de la planta y después mediante una tubería de PVC de 4" de diámetro. La topografía del sitio es utilizada al máximo para permitir el flujo por gravedad. Se muestra en el diagrama de flujo del almacenamiento de agua en circuito de operación y en el Plano N° 04-Manejo de Aguas del proceso Metalúrgico y Balance Metalúrgico del mineral procesado.

3.3.11. Balance Metalúrgico del Proceso de Operación

Es un cuadro de datos que nos proporciona información sobre la performance de una operación metalúrgica, se fundamenta en un balance de materia de entrada y salida en una planta concentradora cuyo balance metalúrgico debe ser el resultado de un análisis técnico.

Cuadro 10.

Balance Metalúrgico de Mineral Plomo, Plata

PROD.	TMD	LEYES			CONTENIDO METÁLICO			% RECUPERACIÓN			Radio
		%Pb	Oz Ag /TM	gr Au /TM	TM Pb	Oz Ag	gr Au	Pb	Ag	Au	
Cabeza	105.030	10.32	4.32	2.06	10.839	453.730	216.362	100.00	100.00	100.00	
Conc.	20.589	50.80	18.60	8.92	10.459	382.952	183.652	96.49	84.40	84.88	5.10
Relave	84.441	0.45	0.65	0.52	0.380	54.887	43.909	3.51	15.60	15.12	

Fuente: Planta Tiquillaca 2016

Cuadro 11.

Balance Metalúrgico del Mineral Cobre

Producto	TMD	% Peso	% Cu	% Recuperación	Radio
Cabeza	30.00	100.00	3.1	100.00	
Concentrado	2.84	9.46	29.6	91.40	10.6
Relave	27.16	90.5	0.3	8,6	

Fuente: Planta Tiquillaca 2016

3.3.12. Relaves

Las fundaciones estarán libres de todo el suelo orgánico y material coluvial, se instalarán drenajes para interceptar cualquier filtración o manantial. Tendrá canales de derivación sobre banquetas seleccionadas y con pendientes determinadas para eliminar la escorrentía de manera segura.

El relave será derivado por gravedad a través de una tubería polietileno de HDPE y será depositado clasificando hidráulicamente por cicloneo; arenas y lamas para

formar el muro y espejo de agua para luego ser recolectado mediante tubería a tres pozas de sedimentación. Posteriormente será bombeada recirculando el agua al proceso de flotación.

Se utiliza en el proceso de separación selectiva los reactivos Cal, aceite de pino y reactivos (Xantato-11, Aeroflot 208, 242, 404). La caracterización de la cancha de relaves es alcalina con componentes de S y N, que serán cuidadosamente controlados y protegidos en el depósito, a pesar que son elementos que benefician a la agricultura. Los relaves estarán compuesto de material estéril y agua en una relación de 2.5/1, la cancha de relaves tiene un área de 1200m² constituido en dos áreas para realizar cambios y acondicionamientos oportunos sin ocasionar derrames. El muro inicial será con piedras y material de la zona, luego se incrementara con material grueso para formar el talud de reposo, mientras los finos se acumulan en la parte central y decantar originando agua clarificada o espejo de agua, esta agua será colectada y dirigida a las tres pozas de sedimentación.

3.3.13. Depósito de Relave

Los relaves serán almacenados en la parte baja de la Planta Concentradora sobre antiguos relaves ya existentes en el área del proyecto completamente segura y diseñada para ser construida por etapas, principalmente con caliza, desmonte y óxidos no mineralizados. La presa de relaves será construida usando el método de línea central modificada y presentará una baja permeabilidad interna, un núcleo vertical y una cortina de lechada en la cimentación para reducir la infiltración. La estabilidad física completa será provista por la construcción de espaldones rígidos y densos de relleno de roca tanto aguas arriba como aguas abajo de la presa. Internamente, utilizando como base el antiguo relave, se instalará una mini manta con inclinación de 5° hacia tuberías de 3"Ø para captar e interceptar la filtración de efluente líquido. La presa será diseñada como una estructura de retención de agua y relaves que servirá como poza para obtener agua para el proceso de sedimentación del estudio.

Las pozas de agua servirán como punto principal para el control de calidad y manejo de aguas y la presa de relaves ha sido dimensionada para proveer suficiente almacenamiento temporal sobre el nivel normal de operación de la poza, en todo

momento, para permitir que la descarga de agua excedente sea detenida, de ser necesario, por períodos significativos de tiempo. A lo largo de la vida de la Planta se llevará a cabo la progresiva recuperación de las aguas mediante pozas de sedimentación.

Cuadro 12.

Mano de Obra Requerida en la Planta

Especificación	Número de Personas
1. Mano de obra directa	
- Obreros Planta	3
2. Mano de obra indirecta	
- Superintendente de Planta	1
- Jefe de Planta	1
- Jefe de guardia	3
3. Administración	
- Almacenero	1
- Guardián	2
- Cocinero	2
Total	13

Fuente: Planta Tiquillaca 2016



Figura 8. MA-2 Cancha de Relaves-Plano N° 04y 05



Figura 9. MA-3 Recuperación de Agua - Cancha de Relaves



Figura 10. MA-4 Poza de Clarificación de Agua-Plano N° 04 y 05



Figura 11. MA-4 Poza de Recirculación de Agua Clarificada y Bombeo

3.4. AGUA

El sistema portátil de tratamiento de agua propuesto para el proyecto durante la etapa de operaciones consiste en los siguientes componentes: Pozo artesanal de aprovisionamiento de agua, ubicado en la parte debajo de la planta concentradora de material rústico, y por bombeo se abastecen las necesidades de la planta. El sistema de aprovisionamiento de agua para la operación, para el proceso y el sistema de descarga incluye los siguientes componentes:

- Sistema de colección de escorrentía incluyendo diques de derivación y pozas de retención de sedimentos para la planta.
- Tubería de descarga de relaves y tuberías para recuperación de agua en el depósito de relaves.
- Descarga desde el depósito de relaves, incluyendo el sistema de tratamiento de agua si fuera necesario.

La demanda de agua de proceso es nominalmente 1.831 L/s, siendo el agua recirculada al máximo posible. El agua fresca requerida provendrá del pozo artesanal,

en un inicio, para el arranque de planta, posteriormente reducirá el consumo de agua fresca por utilizar agua de retorno en circuito cerrado.

Cuadro 13.
Consumo Agua de Uso Industrial

CONSUMO DE H2O		
Chancado	0.00 m ³ /día	
Molienda	49.00 m ³ /día	
Concentrado de Plomo	4.25 m ³ /día	
Concentrado de Zinc	8.18 m ³ /día	
Relave	95.28 m ³ /día	
Total Planta	156.71 m³/día	= 1.814 L/s
Servicios	1.49 m ³ /día	= 0.017 L/s
Gran Total	158.20 m³/día	= 1.831 L/s

Fuente: Elaboración propia



Figura 12. MA-1 Pozo Artesanal de Captación



Figura 13. MA-1 Muestreo Pozo de Captación

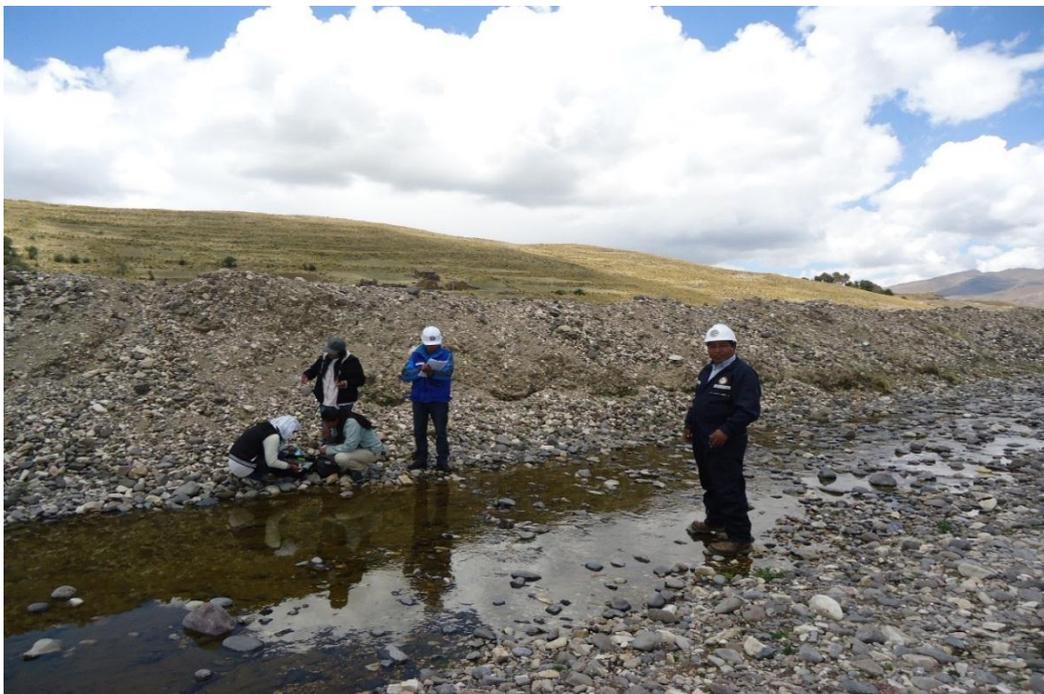


Figura 14. MA-5 Muestreo Rio Condorire - Aguas Arriba



Figura 15. MA-5 Muestreo Rio Condorire - Aguas Arriba

3.5. REACTIVOS

Los reactivos que son usados en el proceso de flotación de los minerales polimetálicos se muestran en la siguiente tabla:

Cuadro 14.

Relación de Reactivos Requeridos por la Planta

Reactivos	Nombre del Reactivo
1 Colectores	- Xantato Z-11
	- Aerofloat 208
	- Aerofloat 242
	- Aeropromotor 404
	- GR-315
2 Espumantes	- Dowfroth 250
	- Frother 70
	- MIBC
3 Modificadores	- Cal viva
	- Silicato de Sodio
	- Floculante
	- Sulfato de Cobre

Fuente: Planta Tiquillaca 2016

3.6. MATERIALES Y MÉTODOS

3.6.1. Elección del área de muestreo

El área de muestreo se ubicó en río Condorire, pozo de captación, relaves de flotación, el espejo de agua de la cancha de relaves y pozas de sedimentación. El río principal se localiza a 150 m al suroeste de la planta concentradora.

3.6.1.1. Método de muestreo

Para tomar muestras útiles y representativas se requiere poner atención a las normas nacionales, protocolos, técnicas de muestreo y tratamiento de muestras.

Se ha seguido el protocolo de muestreo de aguas y especificaciones de cadena de custodia proporcionada por el Laboratorios Analíticos del Sur (LAS). Se emplearon frascos de PVC y vidrio esterilizado de 500 ml y 1000 ml, las muestras fueron preservadas según los objetivos de análisis. En los puntos de muestreo fueron medidos parámetros físicos con instrumentos digitales, tales como, temperatura (T°), pH, conductividad eléctrica (CE), Oxígeno Disuelto (OD), Solidos Totales Disueltos (STD), como se evidencia en el panel fotográfico.

3.6.1.2. Selección de los puntos de muestreo y parámetros

Con el fin de caracterizar la calidad actual de las aguas en la zona de estudio, durante la etapa de campo, se han tomado un conjunto de muestras ubicadas estratégicamente para poder evaluar de forma integral las condiciones de la calidad del agua, tanto de los posibles efluentes provenientes de las actividades de beneficio de los minerales como canchas de relaves, cochas de concentrado, sección molienda clasificación, sección de flotación, recepción y descarga del mineral, desmontes y otros posibles contaminantes así como la de los cuerpos receptores (ríos y quebradas), considerado para ello los siguientes aspectos:

- Los puntos de muestreo fueron determinados tomando criterios de posible contaminación y en función de actividad de beneficio de minerales.
- Facilidad de acceso y captación, tales como carreteras y puentes.
- Ubicación de frente, aguas arriba, en cualquier lugar, carretera, puente o cruce, para evitar la contaminación del agua por sedimentos en suspensión.
- Recolección al mismo tiempo de muestras duplicadas, para el análisis en el laboratorio.
- Registro de todas las observaciones del campo por cada punto de muestreo.
- Complementación de la información proveniente de muestreos anteriores.

3.6.1.3. Rotulado

Se realizó el rotulado claro y consistente de cada muestra, con etiquetas adhesivas y escribiendo directamente en la botella con lápiz a prueba de agua, codificándose con numeración correlativa según la ruta de recorrido de campo.

3.6.1.4. Almacenamiento, Manipuleo y entrega de muestras al laboratorio

Durante el recorrido por el campo, las muestras se conservaron en un cooler con preservante oscuro y en posición vertical, hasta la llegada al laboratorio.

Las fichas de entrega al laboratorio se consignaron de los siguientes datos:

- Códigos de la muestra.
- Lugar de procedencia de la muestra.
- Métodos de preservación empleadas en cada muestra.

3.6.1.5. Recolección de las muestras

Se tomaron manualmente muestras captadas de diferentes puntos en horas de la tarde en cada uno de los sitios de muestreo. La recolección se llevó a cabo en envases de plástico (PET) de 1000 ml, previamente enjuagados tres veces según al protocolo de muestreo. Las muestras fueron almacenadas a temperatura de 5° C hasta el momento del análisis.

Se llevó a cabo un muestreo sistemático y estratificado. El muestreo fue sistemático, ya que la toma de muestra se hizo a intervalos constantes de espacio y tiempo (mismo día y misma hora) y estratificado ya que se dividió los puntos estableciendo como: 1, 2, 3,4, 5 y 6. El muestreo fue paralelo con la toma de datos en equipos portátil multiparámetro marca HANNA HI 9829 y Hanna HI 98127, para la comparación de datos con resultados de análisis.

Durante el trabajo de campo se colectaron con mucho cuidado ya que un adecuado muestreo es sumamente importante para garantizar la representatividad de las muestras y la seguridad en los resultados.

3.6.2. Ubicación de zonas de muestreo

En el plano de monitoreo se muestra la ubicación de los puntos de muestreo. La descripción de los puntos de monitoreo comprende:

Cuadro 15.
Puntos de Monitoreo de Agua

ESTACIÓN DE MUESTREO	UBICACIÓN			REFERENCIA
	NORTE Y	ESTE X	m.s.n.m.	
MA - 1	8246554	372651	3850	Toma Agua Pozo Captación Agua Fresca – Planta C.
MA - 2	8246660	372779	3860	Efluente Liquido del Proceso de Flotación-C. Relavera
MA - 3	8246668	372794	3859	Efluente del Espejo de agua-Cancha Relavera
MA - 4	8246668	372794	3845	Pozo Recirculación de Agua clarificada – Planta C.
MA - 5	8246431	372499	3850	Aguas Arriba Río Condorire - Captación
MA - 6	8246867	372544	3845	Aguas Abajo Río Condorire

Fuente: Elaboración propia

3.7. PARÁMETROS

Se midieron el pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto en las diferentes zonas al momento de la recolección de las muestras de acuerdo a las técnicas de medición analítica estándar.

3.7.1. Temperatura

La temperatura influye de forma muy significativa en las especies acuáticas determinando su metabolismo, productividad primaria, respiración y descomposición de materia orgánica. Por ejemplo cuando la temperatura aumenta se da una proliferación del fitoplancton aumentando también la absorción de nutrientes disueltos.

Un líquido caliente que vuelca a un curso receptor, puede aumentar la temperatura del entorno e incidir en la solubilidad del oxígeno disuelto en él, a mayor temperatura disminuye la solubilidad del oxígeno, influye también en las velocidades de las reacciones químicas, en los usos del agua y en la vida de la flora y la fauna acuática, ya que puede provocar la coagulación de las proteínas de la materia orgánica y aumentar la toxicidad de algunas sustancias. Para la determinación de la temperatura en los análisis "in situ" se utilizó un Multiparámetro Hanna HI 9829, sumergido directamente a una profundidad estándar de 10 a 20 cm.

3.7.2. Potencial de Hidrogeno pH

El término pH es usado universalmente para determinar si una solución es ácida o básica. Lo óptimo debe estar entre 6,5 y 8,5; es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, siendo el máximo aceptado de 9. Las aguas de pH menor de 6,5 son corrosivas debido al anhídrido carbónico, ácidos o sales ácidas que tienen en disolución.

En la determinación "in situ" del pH, se utilizó un pH metro digital Marca Hanna HI 98127 y Multiparámetro Hanna HI 9829, previamente calibrado cuyo electrodo se introdujo directamente en la fuente de agua.

3.7.3. Conductividad Eléctrica

La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas así como de la temperatura de medición. Cuanto mayor sea la concentración de iones mayor será la conductividad.

En las aguas continentales los iones que son directamente responsables de los valores de conductividad son entre otros el calcio, magnesio, potasio, sodio, carbonatos, sulfatos y cloratos. En aguas naturales la medida de la conductividad tiene varias aplicaciones, tal vez la más importante sea la evaluación de las variaciones de la concentración de minerales disueltos en aguas naturales y residuales. La variación estacional mínima que se encuentra en las aguas embalsadas contrasta notablemente con las fluctuaciones diarias de algunas aguas de río contaminadas. La conductividad se puede expresar de diferentes formas, lo más común es expresarla en microhmios por centímetro ($\mu\text{mhos/cm}$) o si utilizamos el sistema internacional en micro siemens por centímetro ($\mu\text{S/cm}$).

Para la determinación de la conductividad se tomó una muestra de 1000 cm^3 , luego en un vaso de precipitado de 100 ml se vació el contenido de muestra y se introdujo el aditamento del equipo Multiparámetro Hanna HI 9829 procurando que quede bien cubierto, de esa forma podremos leer el valor de la conductividad en la pantalla del equipo.

3.7.4. Oxígeno Disuelto

La presencia de oxígeno en el agua es indispensable para la vida acuática y depende de las condiciones ambientales, ya que su cantidad aumenta al disminuir la temperatura o aumentar la presión.

Los desperdicios orgánicos que se encuentran en el agua son descompuestos por microorganismos que usan el oxígeno para su respiración, esto quiere decir que cuanto mayor es la cantidad de materia orgánica mayor es el número de microorganismos y por

tanto mayor el consumo de oxígeno. En muchas ocasiones esta falta de oxígeno es la causa de la muerte de peces y otros seres acuáticos más que la existencia de compuestos tóxicos.

Por tanto el análisis de oxígeno disuelto es una prueba clave en la determinación de la contaminación del agua. Para el análisis "in situ" del nivel de oxígeno en las aguas muestreadas se utilizó el Multiparámetro Hanna HI 9829 medidor de oxígeno disuelto, previamente calibrado. Para ello se introdujo el dispositivo para medir el oxígeno disuelto de forma que quede bien cubierto en un vaso precipitado la muestra de agua, tras unos segundos el aparato nos ofrece una medida.

3.7.5. Turbidez

Es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua. Pero además, es esencial eliminar la turbidez para desinfectar efectivamente el agua que desea ser bebida. Esto añade costes extra para el tratamiento de las aguas superficiales.

Las partículas suspendidas también ayudan a la adhesión de metales pesados y muchos otros compuestos orgánicos tóxicos y pesticidas. Una medición de la turbidez puede ser usada para proporcionar una estimación de la concentración de STS (Sólidos Totales en Suspensión), lo que de otra forma es un parámetro tedioso y difícil de medir.

3.8. OPERACIÓN DE VARIABLES

Primero se representa lo relacionado a la variable independiente (V_i):

- Variable independiente: Determinar la composición y cantidad de los elementos constituyentes en los efluentes del proceso de flotación en las pozas de sedimentación.

Indicadores:

- Análisis de parámetros Físicos.
- Análisis de parámetros Químicos.

Seguidamente lo relacionado a la variable dependiente (Vd.):

- Variable Dependiente: Diseñar el proceso de tratamiento de los efluentes para la reducción de contaminación del agua y suelo.

Indicadores:

- Capacidad de almacenamiento para la cantidad de efluentes contaminados
- Diseño de las pozas para la cantidad de agua recuperada

3.9. DATOS DE MUESTREO

3.9.1. Valores de normas nacionales

Los parámetros, unidades y LMP establecidos para efluentes provenientes de actividades minero-metalúrgicas que deben verificar los GORE y la DGM, se detallan en la siguiente Cuadro:

Cuadro 16.

LMP Para La Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero Metalúrgicos

PARÁMETRO	Unidad	Límite en Cualquier Momento	Límite Para el Promedio Anual
Potencial de Hidrógeno pH	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

(*) En muestra no filtrada

3.2. b) Incluyendo procesos de trituración, molienda, flotación, separación gravimétrica, separación magnética, amalgamación, reducción, tostación, sinterización, fundición, refinación, lixiviación, extracción por solventes, electrodeposición y otros.

c). Incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros, efluentes industriales y efluentes domésticos.

3.9.2. Valores de muestreo

Se considera la toma de muestras en seis puntos y codificados en:

MA-1: Toma de Agua de Pozo, Captación de Agua Fresca - Planta C.

MA-2: Efluente Líquido del Proceso de Flotación - Cancha de Relaves.

MA-3: Efluente del Espejo de Agua de la Relavera.

MA-4: Poza de Recirculación de Agua clarificada - Planta C.

MA-5: Aguas Arriba Río Condorire - Captación.

MA-6: Aguas Abajo Río Condorire.

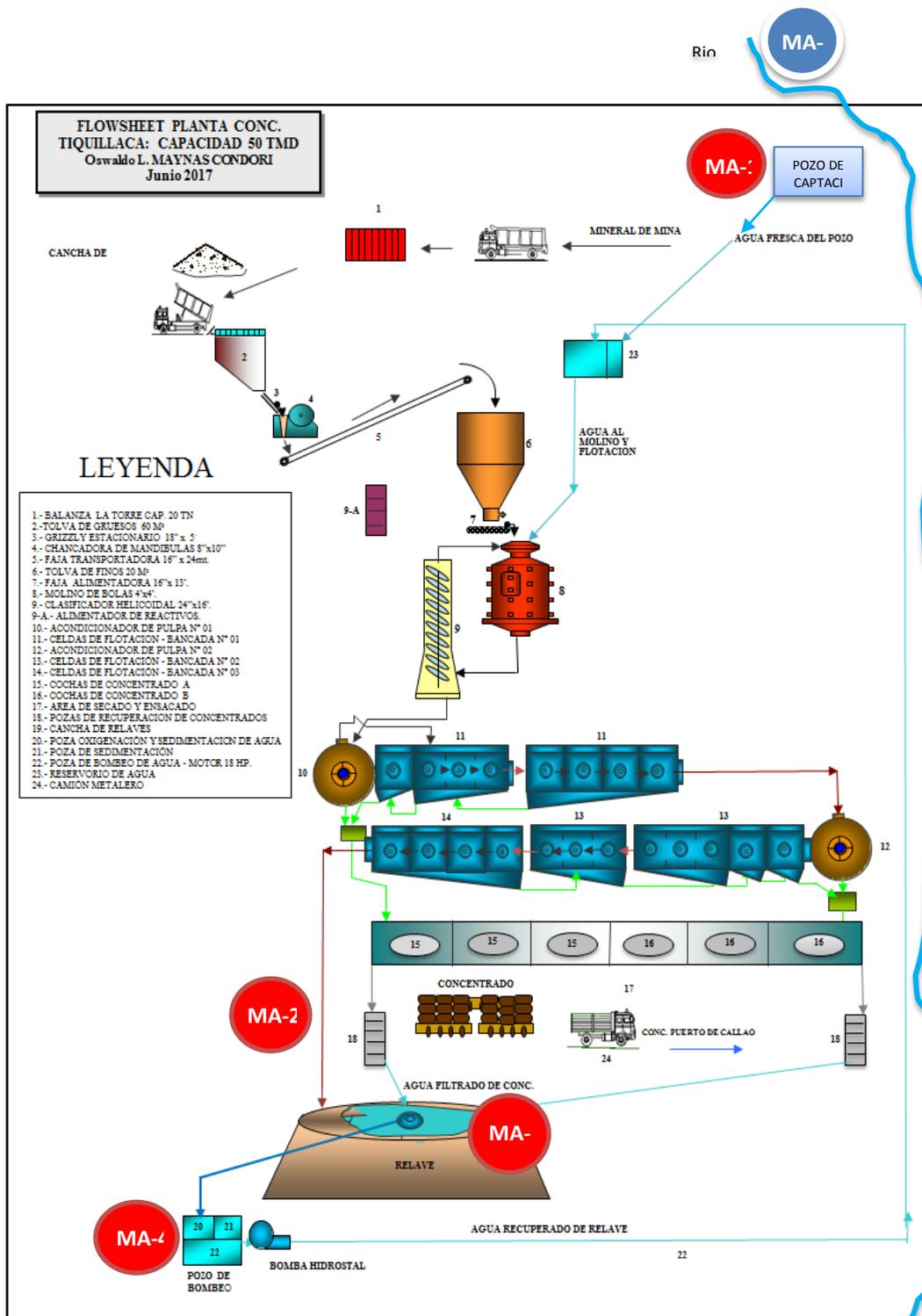


Figura 16. Puntos de Monitoreo de Agua

El proceso de muestreo de la marcha analítica para evaluación de los parámetros físico químicos insitu se describe en la Figura 17.

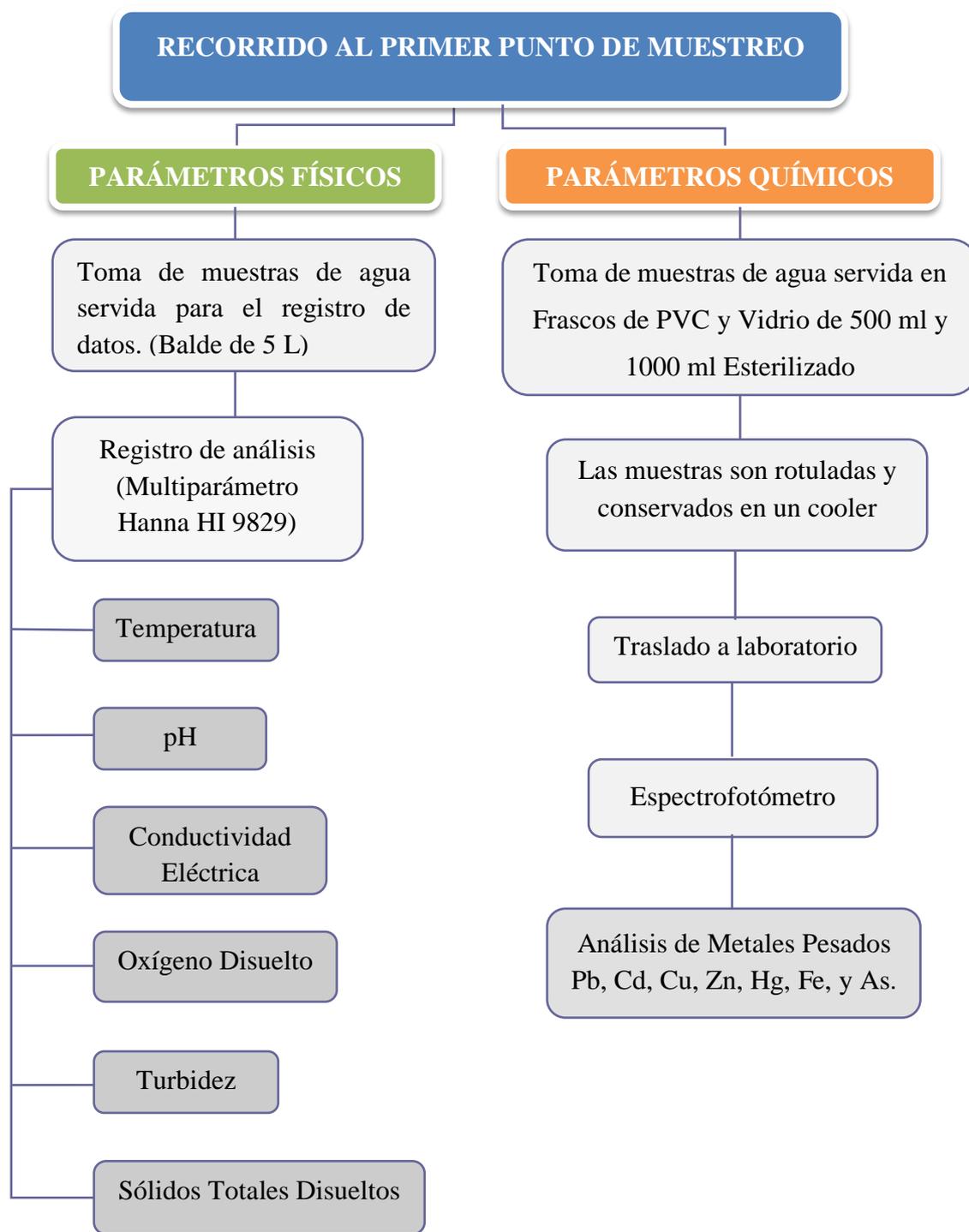


Figura 17. Diagrama de flujo de la marcha analítica - evaluación de los parámetros físico químicos

3.10. BALANCE DE AGUA DEL PROCESO METALÚRGICO

La capacidad de la planta metalúrgica para la concentración de minerales por flotación es de 50 TMD de mineral polimetálico. Para este proceso se utilizarán 156.71 m³ de agua /día (1.814 L/s). La cantidad de agua requerida para el procesamiento al inicio de operación será abastecida en 100%, las 8 horas de trabajo con agua fresca, después se abastecerán con agua recuperada recirculando en circuito cerrado en una cantidad de 106.56 m³/día (68.00%) y el restante se cumplimentará con agua fresca en proporción de 50.15 m³/día (32.00%), como se muestra en el diagrama de flujo de almacenamiento de agua en circuito de operación metalúrgico por flotación en Figura 18.

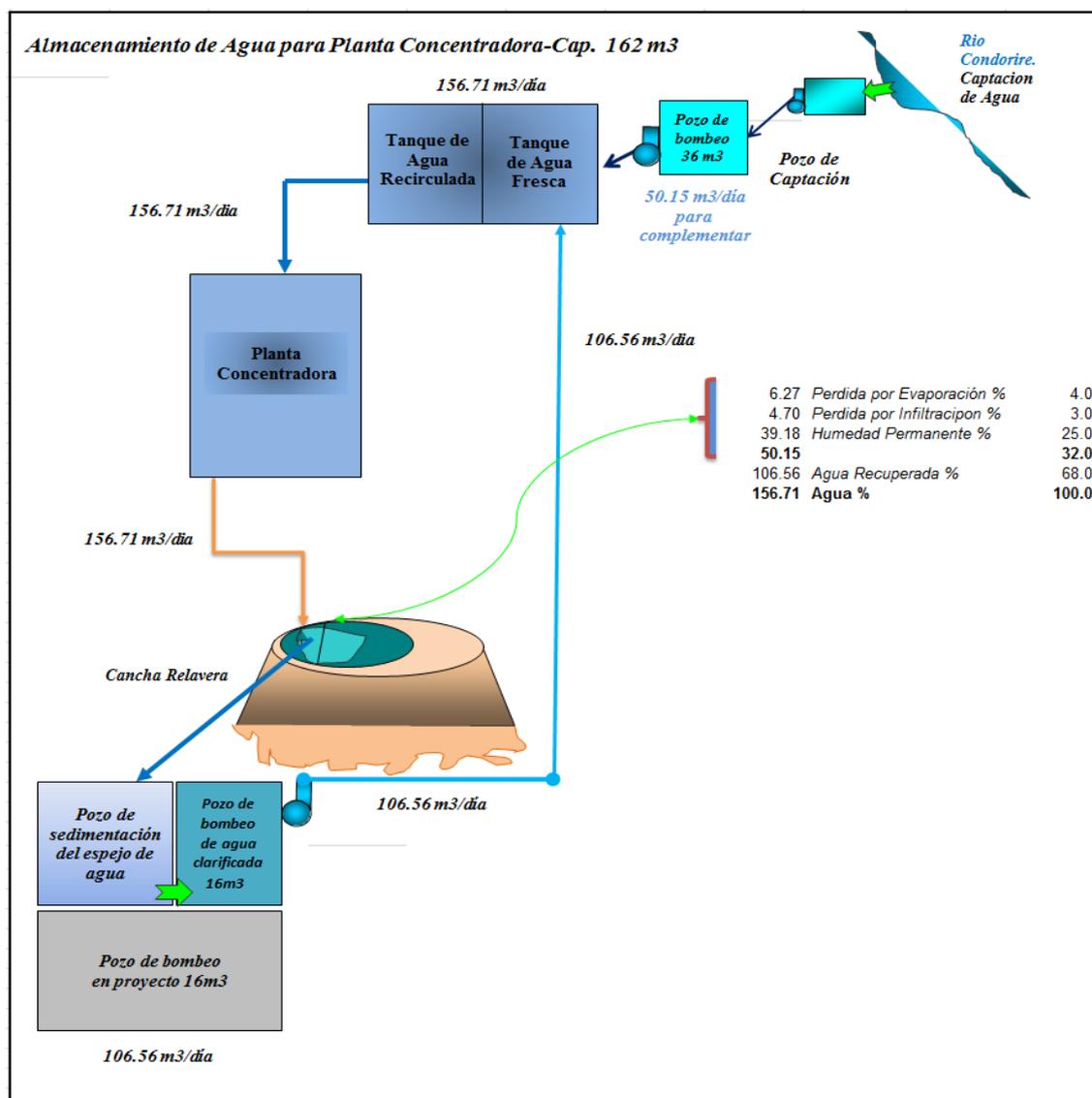


Figura 18. Diagrama de Flujo del Almacenamiento de Agua en Circuito de Operación por Flotación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

4.1.1. Evaluación de la Calidad de las Aguas en el Área de la Planta Concentradora Tiquillaca

La evaluación de la calidad natural de las agua es un componente de gran importancia en la determinación de la línea base de intervención de la actividad metalúrgica. El objetivo es determinar la composición de los efluentes del proceso de flotación y su tratamiento de la planta concentradora de Tiquillaca. Para evaluar la calidad natural de las aguas superficiales como subterráneas mediante la caracterización de la variación espacial y temporal que se presenta en el área del Proyecto. Con esta finalidad, se ha seleccionado 2 puntos de muestreo de los puntos inventariados en la zona de estudio, MA-5 Aguas Arriba Rio Condori-Captación, y MA-6 Aguas Abajo Rio Condorire del área industrial y en dentro del área de operación se determinó 4 puntos de muestreo MA-1, MA-2, MA-3, MA-4, donde se encuentra la actividad minera para evaluar y controlar los parámetros físicos y químicos del agua.

La cantidad de muestras colectadas representan el universo estudiado tanto aguas superficiales como subterráneas.

Los puntos de muestreo ubicados en la microcuenca, constituyen puntos de control ambiental, las cuales serán monitoreadas durante el tiempo de actividades de beneficio de minerales.

En concordancia a los dispositivos legales de Estudios de Impacto Ambiental, para el análisis de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de muestras de agua. En el cuadro 23 se muestran la ubicación y los resultados de los puntos de muestreo.

Algunos parámetros se utilizan para evaluar el impacto ambiental o el nivel de toxicidad del agua, ya sea para la salud humana, recursos acuáticos y para el riego agrícola; estos principalmente son los Metales pesados y disueltos en las aguas.

4.2. LOS RESULTADOS PLANTEADAS Y OBTENIDAS IN SITU

En la Figura 16 se muestra el diagrama de flujo de marcha analítica realizada para la respectiva evaluación de los parámetros controlados con el uso de un Multiparámetro Hanna HI 9829, posteriormente las muestras fueron enviadas al laboratorio para su análisis físico, químico.

Los parámetros medidos in situ fueron: Temperatura, pH, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, Turbidez, Solidos Totales Disueltos.

4.2.1. Calidad de Aguas

La caracterización de la calidad de las aguas del área de influencia de la Planta Concentradora Tiquillaca, se ha realizado en base a muestreos y análisis in situ y laboratorio; durante el trabajo de campo se han tomado muestras en 06 puntos. Las estaciones seleccionadas representan a los cuerpos de agua de mayor relevancia de la zona de evaluación, en el Cuadro 23 están indicados la ubicación de los puntos de muestreo.

La toma de muestras se efectuó durante el mes de diciembre del año 2016 y 2017. Los resultados han sido comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y de Límites Máximos Permisibles (LMP) de la Categoría 3 (parámetros para riego de vegetales bebida de animales) del Decreto Supremo 002-2008 MINAM y Decreto Supremo 004-2017 MINAM, dichos resultados se presentan en el cuadro 22 (Resultados de pruebas in situ de calidad de aguas promedios).

Los resultados de análisis físico químico se muestran en los cuadros descritos. Por cada punto de muestreo se realizó 3 muestras y analizadas con un equipo Multiparámetro marca HANNA HI 9829 y Hanna HI 98127.

Cuadro 17.

MA-1: Toma de Agua de Pozo, Captación de Agua Fresca – Planta C.

Parámetros	Und. M.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Temperatura	°C	13.3	13.2	13.3	13.3
pH		7.9	7.8	7.9	7.9
Conductividad Eléctrica	µS/cm	55	55	54	55
Oxígeno disuelto	mg/l	1.3	1.2	1.2	1.2
Turbidez	NTU	72	72	71	72
Sólidos Totales Disueltos	mg/l.	0.36	0.34	0.35	0.35

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 18.

MA-2: Efluente Líquido del Proceso de Flotación - Cancha Relavera

Parámetros	Und. M.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Temperatura	°C	15.6	15.5	15.4	15.5
pH		8.2	8.1	8.2	8.2
Conductividad Eléctrica	µS/cm	0.85	0.86	0.87	0.86
Oxígeno Disuelto	mg/l	0.0	0.3	0.5	0.3
Turbidez	NTU	-5	-2	0	-2
Sólidos Totales Disueltos	mg/l.	5.4	5.1	4.50	5.0

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 19.

MA-3: Efluente del Espejo de Agua de la Relavera

Parámetros	Und. M.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Temperatura	°C	13.2	13.1	13.1	13.1
pH		7.9	7.8	7.8	7.8
Conductividad Eléctrica	µS/cm	10	11	12	11.0
Oxígeno Disuelto	mg/l	1.2	1.1	1.2	1.2
Turbidez NTU	NTU	94	94	94	94.0
Sólidos Totales Disueltos	mg/l.	0.38	0.37	0.36	0.37

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 20.

MA-4: Poza de Recirculación de Agua Clarificada-Planta C.

Parámetros	Und. M.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Temperatura	°C	14.2	14.1	14.1	14.1
pH		7.6	7.7	7.7	7.7
Conductividad Eléctrica	µS/cm	44	45	44	44
Oxígeno Disuelto	mg/l	1.3	1.2	1.3	1.3
Turbidez	NTU	98	97	97	97
Sólidos Totales Disueltos.	mg/l.	0.29	0.29	0.28	0.29

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 21.

MA-6: Aguas Abajo Rio Condorire

Parámetros	Und. M.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Temperatura	°C	13.9	13.8	13.8	13.8
pH		8.5	8.4	8.4	8.4
Conductividad Eléctrica	µS/cm	24	25	25	25
Oxígeno Disuelto	mg/l	1.5	1.5	1.5	1.5
Turbidez	NTU	130	129	130	130
Sólidos Totales Disueltos	mg/l.	0.16	0.15	0.15	0.16

Fuente: Elaborado en base a datos de muestreo

Cuadro 22.

Promedio de Muestras Tomadas del Monitoreo

ESTACIÓN	CÓDIGO	PUNTO DE REFERENCIA DE MONITOREO	PARÁMETROS PROMEDIOS					
			T°	pH	CE	OD	TURB	STD
P1	MA-1	Toma Agua Pozo Captación	13.3	7.9	55	1.2	72	0.35
P2	MA-2	Efluente Liquido Flotación	15.5	8.2	0.86	0.3	140	5.0
P3	MA3	Efluente Espejo de Agua	13.1	7.8	11	1.2	94	0.37
P4	MA-4	Poza Recirculación Agua	14.1	7.7	44	1.3	97	0.29
P5	MA-5	Aguas Arriba R. Condorire	14.2	8.5	23	1.3	129	0.15
P6	MA-6	Aguas Abajo R. Condorire	13.8	8.4	25	1.5	130	0.15

Fuente: Elaboración propia-Estaciones de monitoreo.

4.3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados de los análisis de las muestras de agua en el laboratorio seleccionado se muestran en los cuadros y figuras que expresan el aporte de contaminación de los elementos analizados.

Para la interpretación se usaron los criterios de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua en el Perú.

Esta ley establece los límites de calidad de agua sobre la base del uso previsto de este elemento. También se han tomado en cuenta las 4 categorías que esta involucra y que son poblacional y recreacional, actividades marino costeras, riego de vegetales y bebidas de animales y conservación del ambiente acuático.

4.4. LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

4.4.1. Análisis para el efecto Temperatura

Como se observa en el Cuadro 23, la temperatura es variable en los ríos esto debido a la altura sobre el nivel del mar en que se encuentran los puntos de monitoreo.

Cuadro 23.

Resultados de Análisis de la Temperatura

Código	Punto de Referencia de Monitoreo	Temperatura °C
MA - 1	Toma Agua Pozo Captación	13.3
MA - 2	Efluente Líquido del Proceso de Flotación	15.5
MA - 3	Efluente del Espejo de agua	13.1
MA - 4	Poza Recirculación de Agua clarificada	14.1
MA - 5	Aguas Arriba Río Condorire	14.2
MA - 6	Aguas Abajo Río Condorire	13.8

Fuente: elaboración propia.

Los valores reportados fluctúan entre 14.2 y 13.8 °C: En el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, se prevé variable $\Delta 3$ °C grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y LMP para este parámetro.

En los demás puntos de control reportan 13.3 a 15.5, esta variación es por el tipo de procesamiento de minerales en la Molienda.

4.4.2. Análisis del efecto Potencial de Hidrógeno (pH):

Como el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrógenos, es usado universalmente para determinar si una solución es ácida o básica. De esta forma se mide la concentración de iones hidrógeno en una disolución.

Como podemos observar en el Cuadro 24 y comparados con los valores de los ECAs que se muestran en el Cuadro 24A, se han encontrado valores dentro de los límites mínimos permisibles para consumo poblacional y recreacional, riego de vegetales y bebida animal, toda vez que dichos resultados, nos demuestran que las aguas tomadas en los puntos de muestreo son aguas neutras, producto de las formaciones rocosas existentes en las nacientes tanto del Río Condorire como de la quebrada del mismo nombre.

Cuadro 24.

Resultados de Análisis del pH

Código	Punto de Referencia de Monitoreo	pH
MA - 1	Toma Agua Pozo Captación	7.9
MA - 2	Efluente Líquido del Proceso de Flotación	8.2
MA - 3	Efluente del Espejo de agua	7.8
MA - 4	Poza Recirculación de Agua clarificada	7.7
MA - 5	Aguas Arriba Río Condorire	8.5
MA - 6	Aguas Abajo Río Condorire	8.4

Fuente: Elaboración propia.

Las aguas analizadas reportan un pH dentro de los parámetros señalados por el D.S. N° 004-2017-MINAN tal como se observa en el Cuadro 24A, en comparación con los límites de los ECAS, lo que nos indica que estaríamos en presencia de aguas neutras en río y en las secciones de operación por adición de insumos industriales como reactivos de flotación, la flotabilidad de estos elementos trabajan es este rango.

Cuadro 24A.
Parámetros del pH

Categoría 1			Categoría 3		Categoría 4
A1	A2	A3	Riego Vegetales	Bebidas Animales	Lagunas y Lagos
6.5 – 8.5	5.5 – 9.0	5.5 – 9.0	6.5 - 8.5	6.5 – 8.4	6.5 – 9.0

Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

4.4.3. Análisis del efecto de Conductividad Eléctrica

Se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. El agua pura, prácticamente no conduce la corriente; sin embargo, el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica.

Diversos estudios como el caso de Pizarro (1978) coinciden en no confundir la Conductividad Eléctrica aceptable en el agua de la solución del suelo (expresado normalmente por la CE que corresponde al estado de saturación) generalmente es mayor que la del agua de riego (Medrano 2001).

Cuadro 25.
Resultados de Análisis de la Conductividad Eléctrica

Código	Punto de Referencia de Monitoreo	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
MA - 1	Toma Agua Pozo Captación	55
MA - 2	Efluente Líquido del Proceso de Flotación	0.86
MA - 3	Efluente del Espejo de agua	11
MA - 4	Poza Recirculación de Agua clarificada	44
MA - 5	Aguas Arriba Río Condore	23
MA - 6	Aguas Abajo Río Condore	25

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de conductividad de aguas arriba y aguas abajo de río Condorire están entre 23 y 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que nos indica que se encuentran por muy debajo de los límites permisibles señalados en el Cuadro 25A, también los demás resultados nos indica lo mismo.

Cuadro 25A.

Parámetros de la Conductividad Eléctrica

Categoría 1		Categoría 3	
A1	A2	Riego Vegetales	Bebidas Animales
1500	1600	2500	5000

Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

4.4.4. Análisis del efecto de Oxígeno Disuelto (Valor mínimo)

El oxígeno disuelto en aguas superficiales en el Cuadro 26 presenta valores de 1.3 y 1.5 mg/L, son valores inferiores al estándar, como mínimo es requerido 4,0 mg/L para que exista vida de organismos acuáticos, la actividad fotosintética de las algas y otras plantas acuáticas.

Existen cunas donde registran valores de oxígeno disuelto que van desde los 1.3 hasta los 1.5; la concentración de oxígeno disuelto varía diaria y estacionalmente, dependiendo de muchos otros factores, como ser la fotosíntesis, la respiración, penetración de la luz, disponibilidad de nutrientes, entre otros. Su concentración es importante para evaluar la calidad del agua superficial y para controlar el proceso de tratamiento de residuos. Es un compuesto esencial para la respiración aeróbica y es un indicador de la actividad biológica.

Cuadro 26.

Resultados de Análisis del Oxígeno Disuelto

Código	Punto de Referencia de Monitoreo	Oxígeno Disuelto
MA - 1	Toma Agua Pozo Captación	1.2
MA - 2	Efluente Líquido del Proceso de Flotación	0.3
MA - 3	Efluente del Espejo de agua	1.2
MA - 4	Poza Recirculación de Agua clarificada	1.3
MA - 5	Aguas Arriba Río Condorire	1.3
MA - 6	Aguas Abajo Río Condorire	1.5

Fuente: Elaboración propia.

Según el ECA, el OD debe tener un valor mayor que 4 mg/L en la categoría III para riego de vegetales y bebida de animales. Los valores de OD entre 1.3 y 1.5 mg/L, se encuentran por debajo de los límites permisibles por lo tanto no cumple con la normatividad establecida; así mismo, en los demás puntos también se encuentran debajo de los límites permisibles, tal como se puede observar en el cuadro 26A.

Cuadro 26A.

Parámetros del Oxígeno Disuelto

Categoría 1			Categoría 3	
A1	A2	A3	Riego Vegetales	Bebidas Animales
≥ 6	≥ 5	≥ 4	≥ 4	≥ 5

Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

4.4.5. Análisis del Efecto Turbidez

La turbidez en agua se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas. Materia en suspensión como arcilla, cieno o materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como compuestos solubles coloridos, plancton y diversos microorganismos. La transparencia del agua es muy importante cuando está destinada al consumo humano, a la elaboración de productos destinados al mismo y a otros procesos de manufactura que requieren el empleo de agua con características específicas, razón por la cual, la determinación de la turbiedad es muy útil como indicador de la calidad del agua y juega un papel muy importante en el desempeño de las plantas de tratamiento de agua, formando como parte del control de los procesos para conocer cómo y cuándo el agua debe ser tratada.

Los resultados obtenidos nos muestran que en su totalidad no superan los límites máximos permisibles, hay que tener en cuenta que cuanto más turbia, menor será su calidad.

Cuadro 27.

Resultados de Análisis de la Turbidez

Código	Punto de Referencia de Monitoreo	Turbidez (NTU)
MA - 1	Toma Agua Pozo Captación	72
MA - 2	Efluente Líquido del Proceso de Flotación	140
MA - 3	Efluente del Espejo de agua	94
MA - 4	Poza Recirculación de Agua clarificada	97
MA - 5	Aguas Arriba Río Condorire	129
MA - 6	Aguas Abajo Río Condorire	130

Fuente: Elaboración propia.

Los valores reportados en el cuadro 27, la turbidez de los puntos de referencia de monitoreo de efluente líquido del proceso de flotación (140 NTU), aguas arriba río Condorire (129 NTU) y aguas abajo río Condorire (130 NTU) superan las tres categorías, lo cual indica que pueden ser potabilizadas con tratamiento y desinfección, en los demás puntos de control está por debajo del rango indicado.

Cuadro 27A.

Parámetros de la Turbiedad

Categoría 1		
A1	A2	B1
5	100	100

Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

4.4.6. Sólidos Totales Disueltos

El término de STD describe la cantidad total de sólidos disueltos en el agua.

La STD y la conductividad eléctrica están estrechamente relacionadas. Cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica.

La mayoría de los sólidos que permanecen en el agua tras una filtración de arena, son iones disueltos. El cloruro de sodio por ejemplo se encuentra en el agua como Na^+ y Cl^- . El agua de alta pureza que en el caso ideal contiene solo H_2O sin sales o minerales tiene una conductividad eléctrica muy baja. La temperatura del agua afecta a la conductividad eléctrica de forma que su valor aumenta de un 2 a un 3 % por grado Celsius.

Cuadro 28.**Resultado de Análisis de los Sólidos Disueltos Totales**

Código	Punto de Referencia de Monitoreo	S.D.T. (mg/L)
MA - 1	Toma Agua Pozo Captación	0.35
MA - 2	Efluente Líquido del Proceso de Flotación	5.0
MA - 3	Efluente del Espejo de agua	0.37
MA - 4	Poza Recirculación de Agua clarificada	0.29
MA - 5	Aguas Arriba Río Condorire	0.15
MA - 6	Aguas Abajo Río Condorire	0.15

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 28 se reportan valores de sólidos disueltos totales cuyos valores se encuentran muy por debajo de los límites permisibles comparados con la Norma Técnica de Calidad Ambiental.

Cuadro 28A.**Parámetros de los Sólidos Disueltos Totales**

Categoría 1			Categoría 4
A1	A2	A3	Lagos y Lagunas
1000	1000	1500	500

Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.-D.S.N° 002-2008-MINAM.

4.5. LA DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL LABORATORIO

Los resultados de laboratorio son procedimiento ensayados en determinada muestra; es determinada y examinada para obtener información acerca de los elementos que contienen, ya sea en una información precisa y confiable acerca de los metales

pesados. Los resultados obtenidos son comparados con los límites máximos permisibles, dados por las normativas nacionales vigentes del MEM y MINAM en el Cuadro 29 LMP Para La Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero Metalúrgicos.

4.5.1. Resultados de Análisis de iones Metálicos de Muestras del Agua

Los resultados de las muestras tomadas son comparados con ECA de agua para determinar los parámetros de control dentro de los LMP esta descrita en el cuadro 29.

Cuadro 29.

Resultado del Laboratorio para Comparar con ECA

Código Monitoreo ECA	As mg/L	Cd mg/L	Cr mg/L	Cu mg/L	Fe mg/L	Pb mg/L	Hg mg/L	Zn mg/L
Límite En Cualquier Momento	0,1	0,05	0,1	0,5	2	0,2	0,002	1,5
Límite Para el Promedio Anual	0,08	0,04	0,08	0,4	1,6	0,16	0,0016	1,2
PM-P01		0.00022	0.00107	0.0138	0.370	0.0224		0.0202
PM-P02		0.06576	0.00195	0.0312	0.416	1.457		5.497

Fuente: Elaboración propia

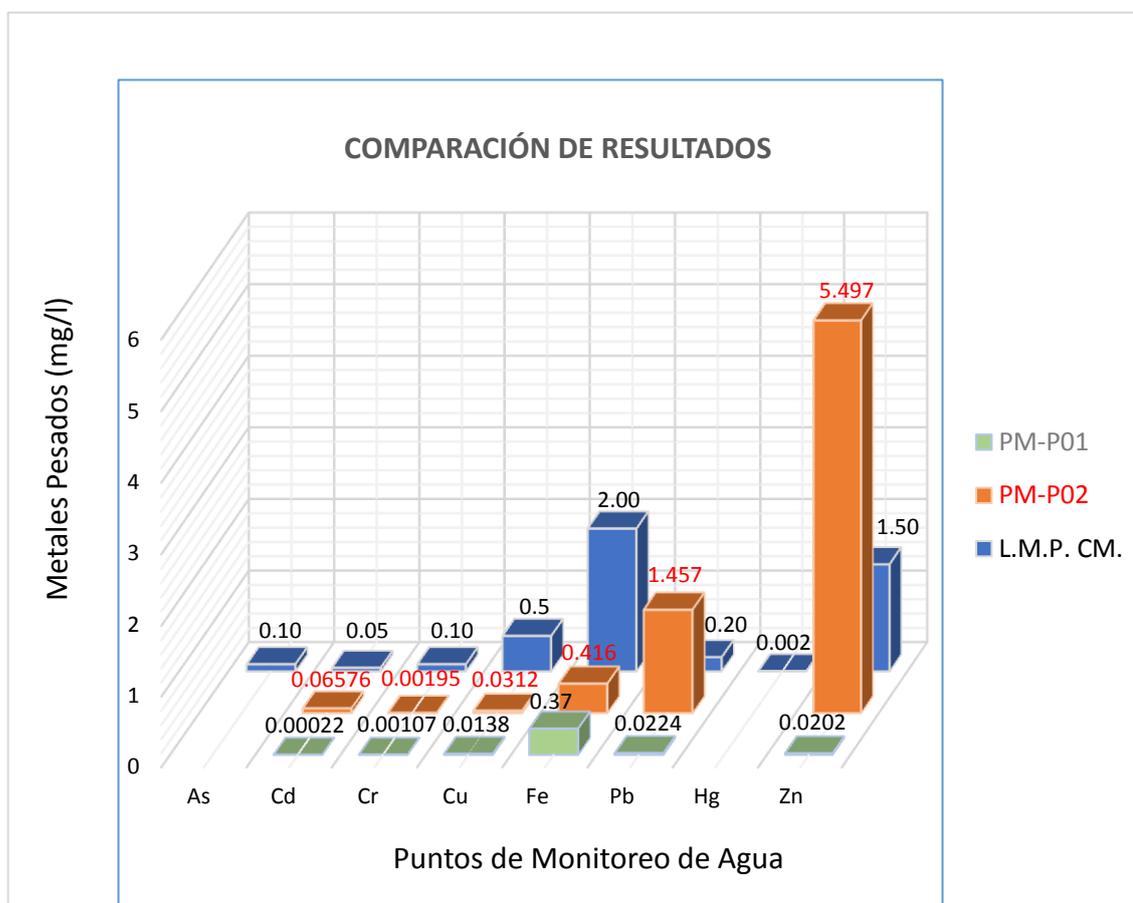


Figura 19. Concentración de metales pesados en los puntos de monitoreo.

4.5.2. Interpretación de los Resultados obtenidos en el Monitoreo de Efluentes Líquidos

La concentración de cadmio en entrada del proceso (0,00022 mg/L) se encuentra por debajo del límite permisible para el tipo de agua clase III para riego de vegetales y bebida de animales, según Norma Técnica de Calidad Ambiental (ECA). Pero sin embargo la concentración de cadmio en salida del proceso (0,06576 mg/L) sobrepasa ligeramente los límites permisibles en cualquier momento comparados con la Norma de la ECA, según los resultados mostrados en el cuadro 29.

La concentración de cromo tanto en entrada y salida del proceso (0,00107 y 0,00195 mg/L) se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles para el tipo de agua clase III para riego de vegetales y bebida de animales, según Norma Técnica de Calidad de Ambiental (ECA), cuyos valores de resultados son mostrados en el cuadro 29.

La concentración de cobre tanto en entrada y salida del proceso (0,370 y 0,416 mg/L) se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles para el tipo de agua clase III para riego de vegetales y bebida de animales, según Norma Técnica de Calidad Ambiental (ECA), cuyos valores de los resultados se muestran en el cuadro 29.

La concentración de hierro tanto en entrada y salida del proceso 0,00107 y 0,00195 mg/L se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles para el tipo de agua clase III, para riego de vegetales y bebida de animales, según Normas Técnica de Calidad Ambiental (ECA), cuyos valores de resultados se muestran en el cuadro 29.

La concentración de plomo en entrada del proceso 0,0224 mg/L se encuentra por debajo de límite permisible para el tipo de agua clase III, para riego de vegetales y bebida de animales, según Normas de calidad de agua (ECA). Pero sin embargo la concentración de plomo en salida del proceso (1,457 mg/L) se encuentra por encima de los límites máximos permisibles comparados con la Norma Técnica de Calidad de Agua (ECA), según los resultados mostrados en el cuadro 29.

La concentración de zinc en entrada del proceso 0,0202 mg/L se encuentra por debajo de límite permisible para el tipo de agua clase III para riego de vegetales y bebida de animales, según Normas de calidad de agua (ECA). Pero sin embargo la concentración de zinc en salida del proceso 5,497 mg/L superan los límites máximos permisibles de la Norma Técnica de Calidad de Agua (ECA, según mostrado en los resultados del cuadro 29.

4.6. RESULTADO DE MUESTRAS DEL SUELO

La Unidad en el Análisis de Suelo se utiliza para medir bajas concentraciones de elementos en soluciones acuosas o en el suelo. En soluciones, ppm se refiere a mg/litro o gramos/m³. Se deben tener en cuenta que esto representa una relación de masa a volumen. Esto se puede hacer dado que la masa de agua es igual que su volumen (en unidades métricas).

En el análisis de suelo, ppm significa, por lo general, mg / kg, así que 1 ppm = 1 mg / kg.

Sin embargo, muchos laboratorios analizan los extractos de suelo, como la pasta saturada, extracto de 1:2 etc. En tales casos, ppm representa mg/litro en el extracto de suelo.

Los resultados obtenidos de las muestras tomadas son comparados con ECA de suelo para determinar los parámetros de control dentro de los LMP esta descrita en el cuadro 30.

Cuadro 30.
Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

Parámetros en mg/Kg PS ⁽²⁾	Uso de Suelos ⁽¹⁾			Métodos de Ensayo ^{(7) y (8)}
	Suelo Agrícola ⁽³⁾	Suelo Residencial/Parques ⁽⁴⁾	Suelo Comercial ⁽⁵⁾ /Industrial/Extractivo ⁽⁶⁾	
Inorgánicos				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ⁽¹⁵⁾	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1.4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0.4	0.4	1.4	EPA 3060/ EPA 7199 o DIN EN 15192 ⁽¹⁶⁾
Mercurio	6.6	6.6	24	EPA 7471 EPA 6020 o 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0.9	0.9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/o ISO 17690:2015

Fuente: Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

Cuadro 31.
Resultado del laboratorio para comparar con ECA

Código Estación ECA	As mg/Kg PS	Ba mg/Kg PS	Cd mg/Kg PS	Cr mg/Kg PS	Cr VI mg/Kg PS	Hg mg/Kg PS	Pb mg/Kg PS	CN mg/Kg PS
Suelo Agrícola ⁽³⁾	50	750	1.4	**	0.4	6.6	70	0.9
Suelo Comercial ⁽⁵⁾ / Industrial/Extractivo ⁽⁶⁾	140	2 000	22	1000	1.4	24	800	8
PM-02 Relave		2 322	9.79	442.3			3 408	

Fuente: Elaboración propia

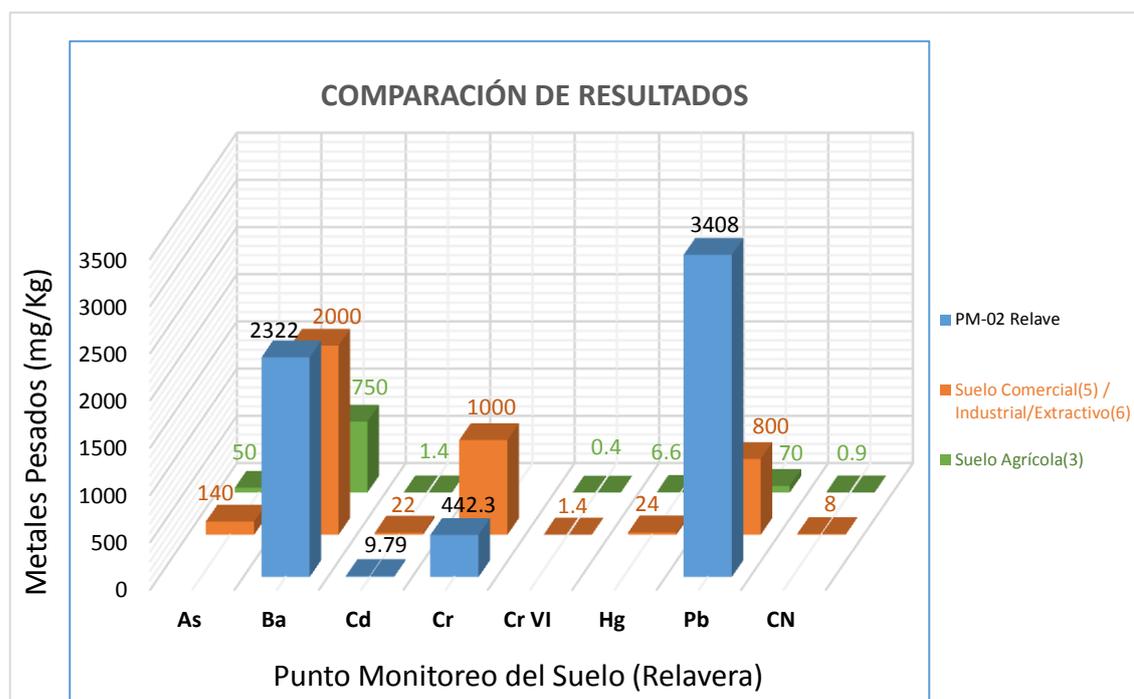


Figura 20. Concentración de metales pesados en Suelo

4.7. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL MONITOREO DE SUELOS

La concentración de bario en el relave es de 2322 mg/Kg. Según ECA, el bario debe tener un valor de 750 mg/Kg en suelo agrícola y 2000 mg/Kg en suelo comercial industrial/extractivo. Por consiguiente, el valor de bario en el relave se encuentra por encima de los límites permisibles. Tal como de muestra en el cuadro 31.

La concentración de cadmio en el relave es de 9,79 mg/Kg. Según ECA, el cadmio debe tener un valor de 1,40 mg/Kg en suelo agrícola y 22 mg/Kg en suelo comercial industrial/extractivo. Por consiguiente, el valor de cadmio en el relave se encuentra por debajo de límites permisibles para el suelo agrícola y por encima de los límites permisibles para el suelo comercial industrial/extractivo. Tal como de muestra en el cuadro 31.

La concentración de cromo en el relave es de 442,3 mg/Kg. Según ECA, el cromo debe tener un valor de 1000 mg/Kg en el suelo comercial industrial/extractivo. Por consiguiente, el valor de cromo en el relave se encuentra por debajo de los límites permisibles. Tal como de muestra en el cuadro 31.

La concentración de plomo en el relave es de 3408 mg/Kg. Según ECA, el plomo debe tener un valor de 70 mg/Kg en suelo agrícola y 800 mg/Kg en suelo comercial industrial/extractivo. Por consiguiente, el valor de plomo en el relave se encuentra por encima de límites permisibles para el suelo agrícola y también superior a los límites permisibles para el suelo comercial industrial/extractivo. Tal como de muestra en el cuadro 31.

4.8. DISEÑO DE LAS POZAS DE SEDIMENTACIÓN

4.8.1. Pozas de Sedimentación

Las pozas de sedimentación deben ser diseñadas según al tipo del material y proceso de tratamiento, para recuperar agua de los efluentes del proceso de flotación, se considera el funcionamiento de un sistema de recirculación en circuito cerrado. Para este efecto, el agua empleada en el proceso de concentración de minerales polimetálicos por flotación será conducida a un conjunto de pozas de sedimentación para su proceso de tratamiento.

El sistema se pondrá básicamente de 03 etapas de tratamiento con funciones específicas de desarenador, deslamador y clarificador (Plano N° 05 Diseño de las Pozas de Tratamiento).

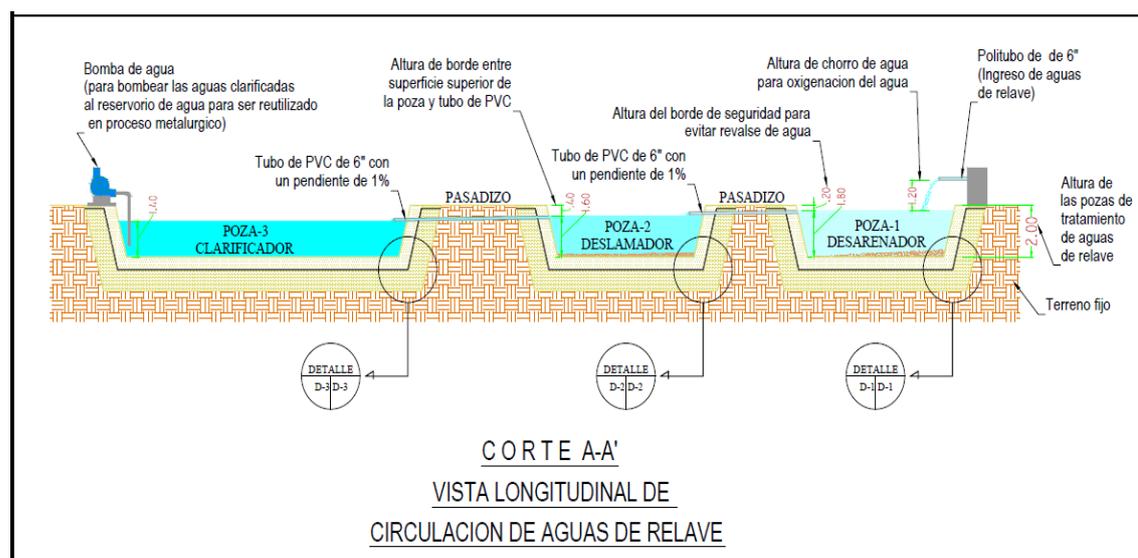


Figura 21. Diseño de las Pozas de Tratamiento de Aguas de Relave

4.8.2. Instalaciones de Servicio

En la zona de emplazamiento de las pozas de sedimentación se adecuará una plataforma para acumulación de los relaves sedimentados, que serán extraídas de las pozas de tratamiento, con el objeto de evitar la colmatación de las pozas con sedimentos.

Al límite de la capacidad de almacenamiento de los materiales acumulados serán empleados como material de relleno de las áreas de minado en situación de cierre. Para esta operación permanente se contará con el apoyo de maquinaria, cargador frontal y volquete, así como personal encargado específicamente de supervisar el adecuado funcionamiento de las pozas.

4.8.3. Tratamiento de los Sedimentos

El tratamiento de relaves, (pulpa) evacuado del proceso de flotación, se desarrolla en 03 pozas de sedimentación, durante la operación los relaves acumulados en cancha de relaves serán separadas por asentamiento por gravedad sólido y líquido, formando espejo de agua para que pase luego a las pozas de sedimentación desde desarenador, deslamador y clarificador, empezando desde las quenas instaladas en cancha de relave hasta las pozas; finalmente resultando agua clarificada que luego es bombeada con retorno al proceso de flotación. Para evitar la colmatación de las pozas el llenado de sedimentos permisibles no deberá de alcanzar más del 50% de profundidad, con mínimamente 1.5 m de profundidad del líquido por encima del estrato de sedimentos.

En la descarga de las pozas se controlará y verificará la remoción de sedimentos (flujo y TSS), siendo inspeccionada y supervisada permanentemente por personal asignado y capacitado para esta tarea.

La disposición final del material sedimentado con presencia de iones metálicos disueltos retorna al clasificador Helicoidal para ser clasificado, luego ser activado para su flotabilidad de los metales.

4.8.4. Recirculación de Agua

Para el abastecimiento de agua en las operaciones de concentración de minerales polimetálicos por flotación, se recircularan el agua recuperada del relave y captada mediante las pozas de sedimentación. El agua luego de ser clarificada en Las Tres etapas de tratamiento, es impulsada por una electrobomba hacia el tanque de almacenamiento mediante las manueras flexibles de 3" \varnothing , luego ser utilizada para proceso de flotación, cumpliendo en circuito cerrado en las 24 horas de operación.

CONCLUSIONES

Las características físicas y químicas de los efluentes líquidos de la planta concentradora de Tiquillaca, tomados durante el muestreo, son normales en los parámetros de temperatura T° (14.1°C), potencial de hidrógeno pH (7.7), conductividad eléctrica CE ($44 \mu\text{S}/\text{cm}$) y sólidos totales disueltos STD ($0.29 \text{ mg}/\text{L}$), excepto en las concentraciones de oxígeno disuelto OD ($1.3 \text{ mg}/\text{L}$) y turbiedad (97 NTU) que sobrepasan los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por la Norma Técnica de Calidad Ambiental del agua. Los resultados de laboratorio del análisis de metales pesados de los efluentes líquidos indican: $0.06576 \text{ mg}/\text{L}$ de cadmio Cd, $0.00195 \text{ mg}/\text{L}$ de cromo Cr, $0.0312 \text{ mg}/\text{L}$ de cobre Cu y $0.416 \text{ mg}/\text{L}$ de hierro Fe, cuyos valores son normales, excepto en los iones de plomo Pb ($1.457 \text{ mg}/\text{L}$) y cinc Zn ($5.497 \text{ mg}/\text{L}$), que sobrepasan los límites máximos permisibles.

Las pozas de tratamiento tendrán las siguientes dimensiones: Poza-1 desarenador $14 \times 7 \times 2 \text{ m}$., poza-2 deslamador $14 \times 7 \times 2 \text{ m}$., poza-3 clarificador $18 \times 13 \times 2 \text{ m}$., lo que permite reducir la presencia de sólidos en suspensión y los iones metálicos disueltos en los efluentes líquidos. Así mismo, evitará los conflictos sociales en la zona donde se encuentra instalada la planta concentradora de Tiquillaca.

La implementación de las pozas de tratamiento mejorará los parámetros físicos químicos de los estándares de calidad ambiental de agua, por lo que es necesario un tratamiento de los efluentes para su vertimiento de los efluentes líquidos a cuerpos de agua.

RECOMENDACIONES

Es necesario monitorear continuamente los efluentes líquidos para controlar los parámetros físicos químicos y la implementación de nuevas pozas de tratamiento a fin de cumplir las normas y protocolos de calidad ambiental.

Promover este tipo de gestión ambiental para evitar la contaminación ambiental por actividad minera y evitar los riesgos ambientales; así mismo, asegurar la implementación del plan de contingencia ante emergencia (vigilancia y control ambiental) a fin de tener controlado todos los factores que puedan influir en impactos ambientales negativos en recurso hídrico.

Se recomienda la capacitación continua al personal de la planta y a la población para generar una cultura y educación ambiental en la zona, así para poder minimizar la ocurrencia de riesgos ambientales que puedan comprometer la contaminación del río Condorire. Mantener una permanente coordinación en el uso y la utilización del agua con la autoridad competente y con la comisión de regantes.

BIBLIOGRAFIA

- Arroyo, A. (2001). *Medio Ambiente*, Lima, U.N. el Callao, Capitulo III.
- Ballester, A. (2002). *Metalurgia Extractiva. Volumen I*. Madrid. España.
- Bravo, G. y Antonio, C. (2004). *Manual de flotación. Planta concentradora Casapalca*, Unidad Yauliyacu.
- Cárdenas, A. (2004). *Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)*. Primera edición, México.
- Carranza, R. (1998). *Curso de Tratamiento de Agua*. Lima. Perú.
- Carranza, R. (2014). *Instrumentos de Gestión Ambiental*, en el Perú.
- Chung, B. (2017). *Calidad del Agua. Capítulo 4*. UNESCO.
- Errol, N. (1990). *Introducción al Procesamiento de Minerales*. Limusa. México.
- Espinosa, G. (1997). *Fundamentos de Evaluación Ambiental*, Centro de Estudios para el Desarrollo (CED). Lima.
- Feder, M. (2006). *Residuos Mineros, Programa Operativo Integrado de Andalucía*. Marco Estratégico de Referencia Nacional de España (MERN) España.
- Flores, S. L. (2007). *Tesis titulada "Tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos con énfasis en el abatimiento de cobre con dolomita"*, Universidad Nacional Mayor de San Marcos de Lima.
- García, R. (2011) *Suelos Contaminados por la Minería son Recuperados con Plantas*. Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico-FONDEF. Chile.
- García, C. A. (2014). *Los relaves mineros, su efecto en el ambiente y la salud*. Universidad Peruana Unión. Tarapoto-San Martín – Perú.
- Guerrero, G. N. (2010). *Tesis titulada "metodología de evaluación y remoción de xantatos en procesos de flotación"*, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México.
- Inga, E. R. (2011). *Tratamiento de Efluentes por el Método de Pantanos Artificiales (WETLAND)*. UNI LIMA-PERÚ.
- Jiménez, L. A. (2008). *Tesis titulada "Estudio y evaluación metalúrgica para la recirculación integral de los efluentes en la planta concentradora Rosaura"*, Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Karl, P. (1980). *La Lógica de la Investigación Científica*, Madrid.
- Manzaneda, J. (1997). *Diseño Experimental*. 2da adición Edit. Cáceres, Lima.

- Medrano, E. (2001). *Estrategia para la gestión sostenible del recurso agua, cuenca del río naranjo*. Provincia las Tunas, Habana-Cuba.
- Norma Internacional ISO 14001:2004. *Sistemas de Gestión Ambiental*, Requisitos con orientación para su uso.
- Pizarro. (1978). *Comportamiento de la conductividad eléctrica en dos series de suelo del sector caño San Miguel*. Municipio Mara. Estado Zulia-Venezuela.
- Porta. (1994). *Contaminación de Suelo. Capítulo II*. Colombia.
- Prieto, M. (2009). *Metales pesados. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe*. España y Portugal.
- Proyecto de Fortalecimiento del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Lima Sur (1997). *MIPRE*, Perú.
- Rojas, E. L. (2002). *Diseño de Presas de Relaves*. Plantas concentradoras.
- Romero, A. (2008). *Contaminación de Suelos por Metales Pesados*. Universidad de Sevilla-sureste España.
- Romero, A. (2008). *Estudio de los metales pesados en el relave abandonado de Ticapampa*. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Santander, M. (2011). *Tratamiento de Riles del Sector Minero-Metalúrgico y Reutilización de las Aguas*. Atacama-Chile.
- Seoáñez, M. (1992). *Ingeniería Medio Ambiental*. Ediciones Mundi Prensa, Madrid.
- Zamora, E.G. (1991). *Tratamiento de Minerales*. UTO impresiones Oruro, Bolivia.
- Hernández, M.A. y González, N. (1993). *Recursos hídricos y ambientes. En: Elementos de política ambiental*. Buenos Aires, Argentina.
- <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/portal/enciclopedia/terminos/Efluentes.htm>
- Pall, C. (2012). *Tratamiento de Aguas en la Industria Minera*.
- <https://industrial-manufacturing.pall.com/content/dam/pall/.../M&EMWTES.pdf>
- Página web de Codelco, Chile. (Codelco Educación).
- <http://.codelco.com/educa/divisiones/definiciones/fdefiniciones.html>.



ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia de la investigación propuesta

Título: “Determinación de los efluentes del proceso de flotación y diseño del proceso de tratamiento en la planta concentradora de Tiquillaca”

Planteamiento del Problema	Hipótesis	Objetivos	Variables	Indicadores	Métodos	Estadística
<p>Pregunta General:</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es la composición de los efluentes del proceso de flotación y el tratamiento de dichas soluciones en la planta concentradora de Tiquillaca? 	<p>Hipótesis General:</p> <ul style="list-style-type: none"> Con la composición de los efluentes del proceso de flotación y el tratamiento de dichas soluciones se reducirá la contaminación del agua y suelo de la planta concentradora de Tiquillaca. 	<p>Objetivo General:</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar la composición de los efluentes del proceso de flotación y su tratamiento de la planta concentradora de Tiquillaca. 	<p>Variable Independiente:</p> <p>Determinar la composición y cantidad de los elementos constituyentes en los efluentes del proceso de flotación en las pozas de sedimentación de la planta concentradora de Tiquillaca</p>	<p>Análisis Físicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Parámetros T°, pH, CE, OD, Turbidez. <p>Análisis Químico</p> <ul style="list-style-type: none"> Metales Pesados Pb, Cd, Zn, Cu, Fe, y As, mg/L 	<p>Toma de muestras</p> <ul style="list-style-type: none"> Resultado de muestras <p>Recolección de muestras del efluente</p> <ul style="list-style-type: none"> Resultado del laboratorio 	<p>Modelo estadístico Descriptivo</p>
<p>Preguntas Específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuáles son los elementos constituyentes de los efluentes líquidos del proceso de flotación? 	<p>Hipótesis Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> La determinación de los elementos constituyentes de los efluentes líquidos del proceso de flotación se recircularan por las pozas de sedimentación para obtener una eficiente clarificación. 	<p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar la composición y cantidad de los elementos constituyentes en los efluentes del proceso de flotación. 	<p>Variable Dependiente:</p> <p>Diseñar el proceso de tratamiento de los efluentes para la reducción de contaminación del agua y suelo en la planta concentradora de Tiquillaca.</p>	<p>Capacidad de almacenamiento de</p> <ul style="list-style-type: none"> Cantidad de efluente 	<p>Toma de muestras (monitoreo)</p> <ul style="list-style-type: none"> Resultado de muestras 	<p>Modelo estadístico Descriptivo correlacional</p>
<p>¿Cómo es el diseño de tratamiento de los efluentes en la planta concentradora de Tiquillaca?</p>	<p>Con el proceso del diseño de tratamiento de los efluentes se reducirá la contaminación del agua y suelo de la zona</p>	<p>Diseñar el proceso de tratamiento de los efluentes en la planta concentradora de Tiquillaca.</p>	<p>Diseño de las pozas</p> <ul style="list-style-type: none"> Cantidad de agua recuperada. 	<p>Recolección de muestras del agua.</p> <ul style="list-style-type: none"> Resultado del laboratorio 		

Anexo 2. Resultados de Laboratorio

Cuadro 32. Resultados de las muestras de agua fresca y de operaciones metalúrgicas



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-16-00452

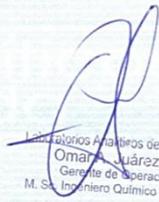
Pág: 1/4

Hoja de datos

Señores: PLANTA CONCENTRADORA TIQUILLACA
 Dirección: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
 Atención: ING. OSWALDO L. MAYNAS CONDORI
 Proyecto: ----
 Nro de muestras: 2
 Toma de muestra realizado por: Cliente: ING OSWALDO L. MAYNAS CONDORI
 Registro de muestreo: 026-16
 Fecha de recepción: 22/01/2016
 Fecha de ensayo: 22/01/2016
 Fecha de emisión: 26/01/2016
 Condiciones de recepción de la muestra: No Adecuadas
 Observaciones: Datos proporcionados por el cliente

Metodo de ensayo aplicado
 *3002 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -AES, Revisión 4.4.

Cod Int. #	Nombre de muestra	Matriz de la muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de inicio de muestreo	Hora de Inicio de muestreo
AG16000064	PM1-CAPTACION AGUAS ARRIBA	Agua Natural Superficial	SUNSURV PAXA/ TIQUILLACA/ PUNO	No proporcionado por el cliente	17/01/16	10:00 a.m.
AG16000065	PM2- POZA DE CLARIFICACION	Efluente	SUNSURV PAXA/ TIQUILLACA/ PUNO	No proporcionado por el cliente	17/01/16	10:00 a.m.



Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar Suárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

" < Valor numérico " = Límite de detección del método, " < Valor Numérico " = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Cuadro 33. Resultados de las muestras de agua fresca y de operaciones metalúrgicas



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-16-00452

Hoja de resultados 26/01/2016

Pág.: 2/4

MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	3002 Ag MT mg/L	3002 Al MT mg/L	3002 B MT mg/L	3002 Ba MT mg/L	3002 Be MT mg/L	3002 Ca MT mg/L	3002 Cd MT mg/L	3002 Co MT mg/L	3002 Cr MT mg/L
AG16000064	PM1-CAPTACION AGUAS ARRIBA	≈<0,0024	0,055	0,0556	0,08781	≈<0,000079	51,1	0,00022	≈<0,000094	0,00107
AG16000065	PM2- POZA DE CLARIFICACION	≈<0,0024	0,105	0,3331	0,16710	≈<0,000079	>250	0,06576	0,006201	0,00195



Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114425

≈<Valor numérico = Límite de detección del método, ≈<Valor Numérico = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Cuadro 34. Resultados de las muestras de agua fresca y de operaciones metalúrgicas



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

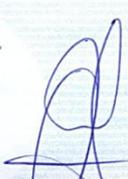
INFORME DE ENSAYO LAS-16-00452

Hoja de resultados 26/01/2016

Pág.: 3/4

MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	3002 Cu MT mg/L	3002 Fe MT mg/L	3002 K MT mg/L	3002 Li MT mg/L	3002 Mg MT mg/L	3002 Mn MT mg/L	3002 Mo MT mg/L	3002 Na MT mg/L	3002 Ni MT mg/L	3002 P MT mg/L
AG16000064	PM1-CAPTACION AGUAS ARRIBA	0,0138	0,370	4,71	0,00370	7,820	0,01046	≤0,00038	14,3	0,00102	0,1284
AG16000065	PM2- POZA DE CLARIFICACION	0,0312	0,416	21,7	0,03062	23,86	3,2904	0,01051	35,4	0,01528	0,3899



Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Solo
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

^a<Valor numérico> = Límite de detección del método, ^b<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Cuadro 35. Resultados de las muestras de agua fresca y de operaciones metalúrgicas



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-16-00452

Hoja de resultados 26/01/2016

Pág.: 4/4

MT=metales totales

Código Interno #	Nombre de Muestra	3002 Pb MT mg/L	3002 Sb MT mg/L	3002 Se MT mg/L	3002 SiO ₂ MT mg/L	3002 Sn MT mg/L	3002 Sr MT mg/L	3002 Ti MT mg/L	3002 Tl MT mg/L	3002 V MT mg/L	3002 Zn MT mg/L
AG16000064	PM1-CAPTACION AGUAS ARRIBA	0,0224	^a <0,00049	^a <0,002	16,99	^a <0,00085	0,4972	0,00585	^a <0,0013	0,00226	0,0202
AG16000065	PM2- POZA DE CLARIFICACION	1,457	0,02148	0,0060	5,727	^a <0,00085	2,998	0,00565	^a <0,0013	^a <0,00014	5,497



Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

^a<Valor numérico = Límite de detección del método, ^b<Valor Numérico = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Cuadro 36. Resultado de las muestras de relave de las operaciones metalúrgicas

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-16-00444

Fecha de emisión: 26/01/2016
Pág.: 1/2

Señores: PLANTA CONCENTRADORA TIQUILLACA
Dirección: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
Atención: ING. OSWALDO L. MAYNAS CONDORI
Recepción: 22/01/2016
Realización: 22/01/2016

Método de ensayo aplicado
*598 Método de ensayo Multi-elemental por ICP-OES digestión multi-ácida

Muestra #	Nombre de muestra	Descrip. de muestra	Procedencia de la muestra	*598 Ag ppm	*598 Al ppm	*598 B ppm	*598 Ba ppm	*598 Be ppm	*598 Bi ppm	*598 Ca ppm	*598 Cd ppm	*598 Co ppm	*598 Cr ppm	*598 Cu ppm	*598 Fe ppm	*598 Ga ppm	*598 In ppm	*598 K ppm
MN16000701	RELAVE PM-02	Relave	No proporcionado por el cliente	16,6	>10.000	205,8	2.322	*<0,64	*<2,0	>10.000	9,79	7,47	442,3	266,2	>10.000	*<1,60	*<0,40	7.560

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Pérez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. INGENIERO QUÍMICO CIP 114426

* <Valor numérico = Límite de detección del método, "b">Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Cuadro 37. Resultado de las muestras de relave de las operaciones metalúrgicas

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-16-00444

Fecha de emisión: 26/01/2016
Pág.: 1/2

Señores: PLANTA CONCENTRADORA TIQUILLACA
Dirección: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
Atención: ING. OSWALDO L. MAYNAS CONDORI
Recepción: 22/01/2016
Realización: 22/01/2016

Método de ensayo aplicado
*598 Método de ensayo Multi-elemental por ICP-OES digestión multi-ácida

Muestra #	Nombre de muestra	Descrip. de muestra	Procedencia de la muestra	*598 Ag ppm	*598 Al ppm	*598 B ppm	*598 Ba ppm	*598 Be ppm	*598 Bi ppm	*598 Ca ppm	*598 Cd ppm	*598 Co ppm	*598 Cr ppm	*598 Cu ppm	*598 Fe ppm	*598 Ga ppm	*598 In ppm	*598 K ppm
MN16000701	RELAVE PM-02	Relave	No proporcionado por el cliente	16,6	>10 000	205,8	2 322	*<0,64	*<2,0	>10 000	9,79	7,47	442,3	266,2	>10 000	*<1,60	*<0,40	7 560

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Andrea Soto
Calle Obispo Obispo Obispo
M. Sc. María C. Seminario Csp 114426

* <Valor numérico = Límite de detección del método, "b<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Anexo 3. Planos

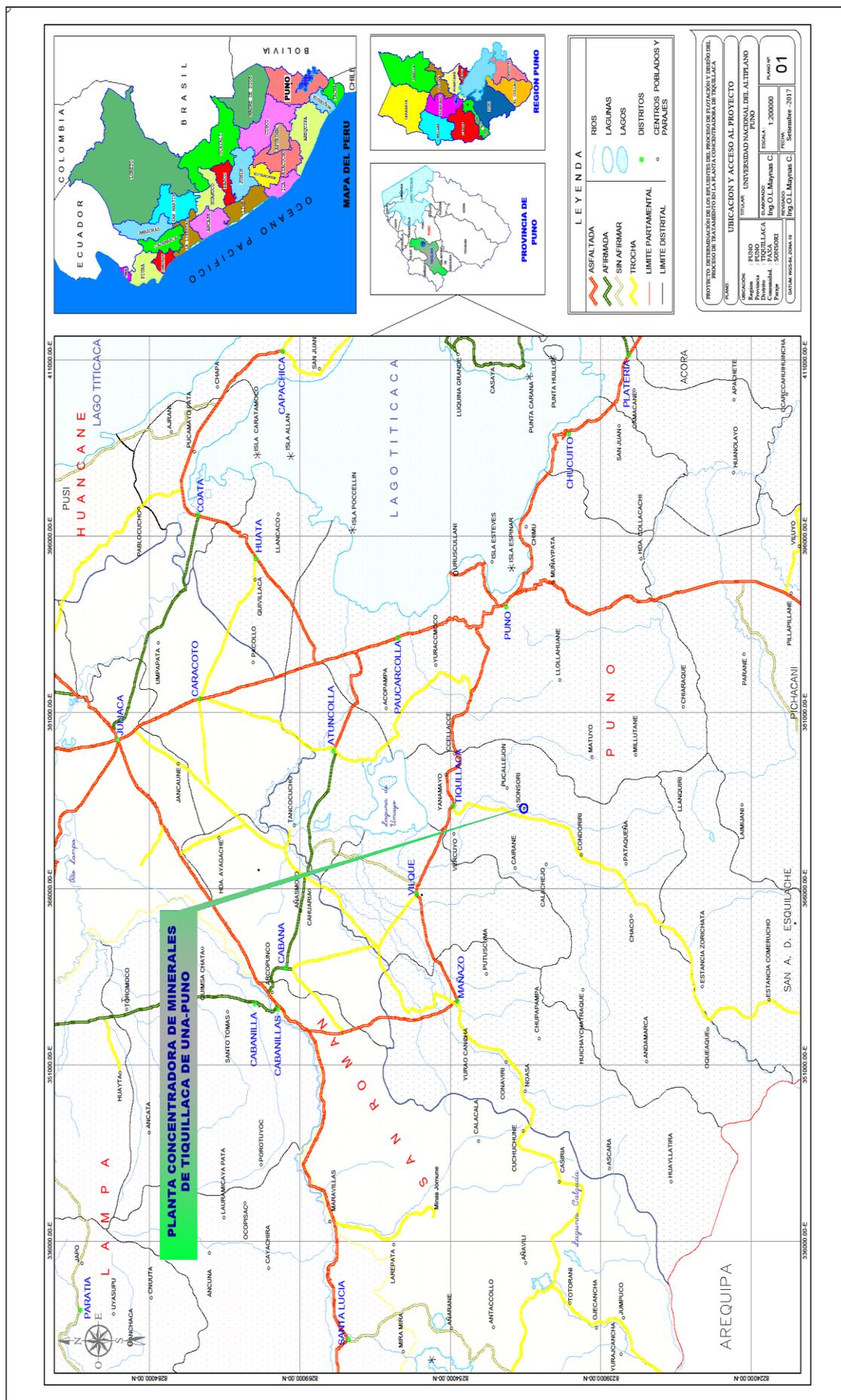


Figura 22. Plano N° 01. Ubicación y acceso al proyecto



Figura 22. Plano N° 02. Topográfico del área de proyecto

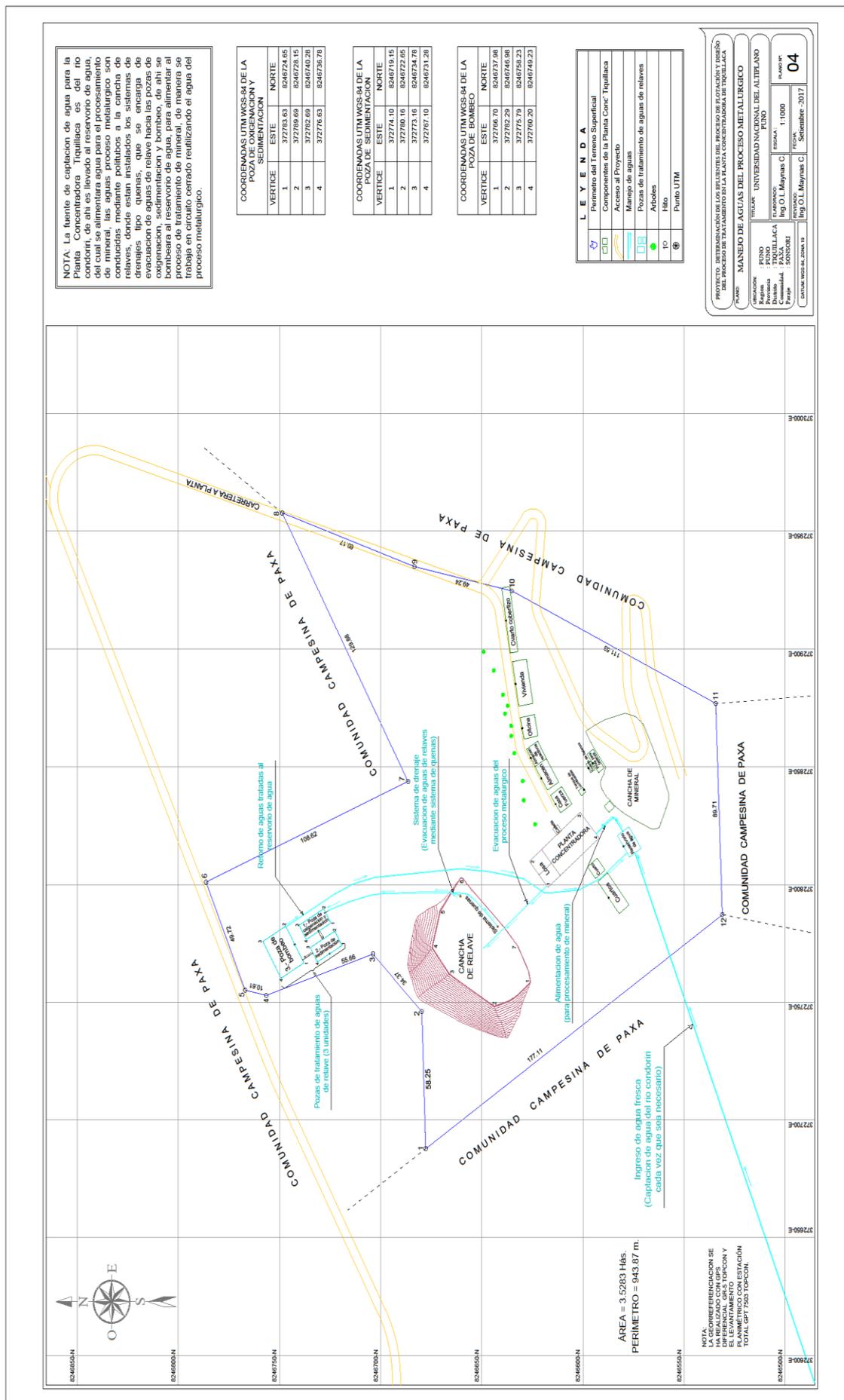


Figura 24. Plano N° 04. Manejo de aguas del proceso metalúrgico.

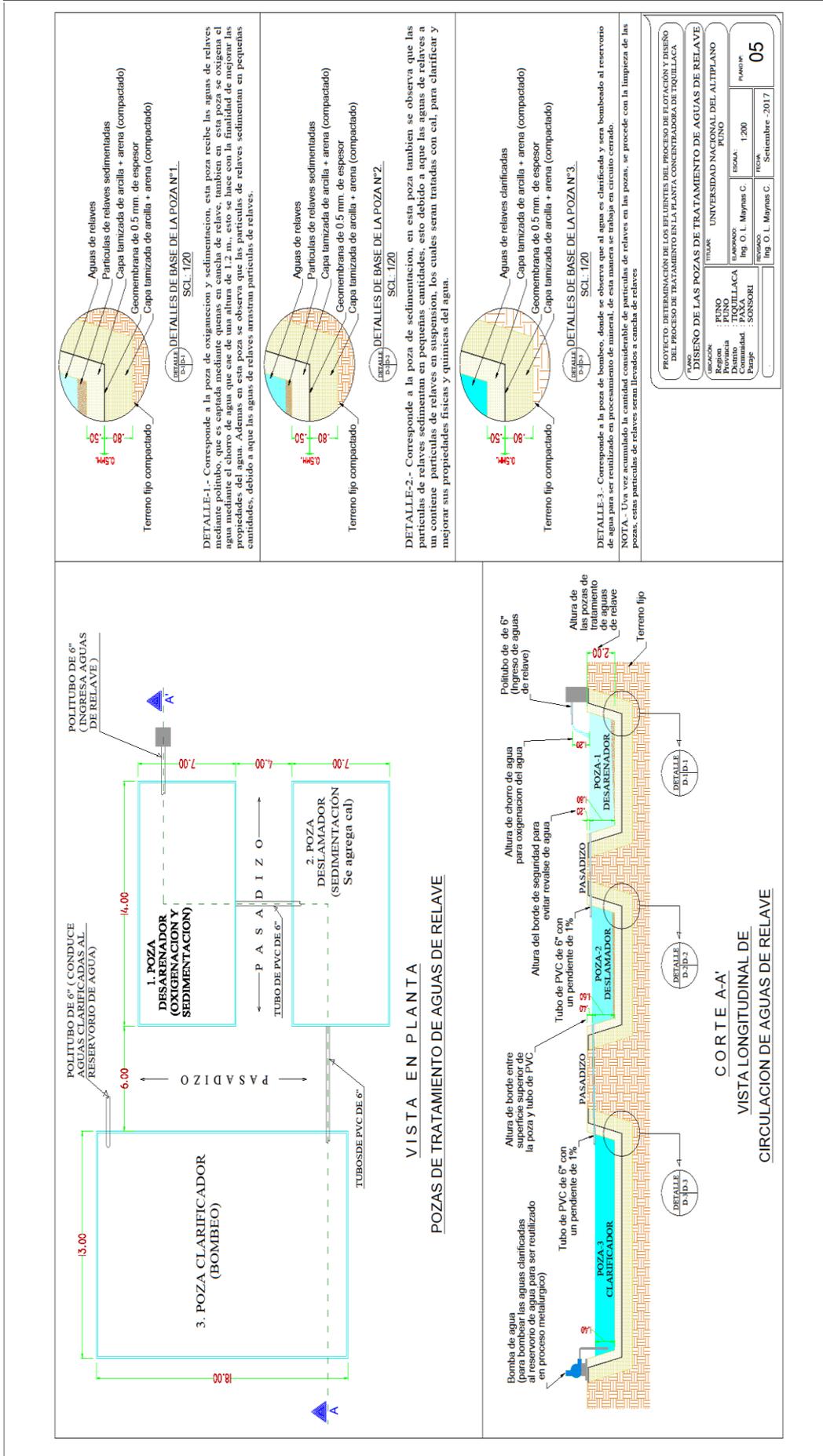
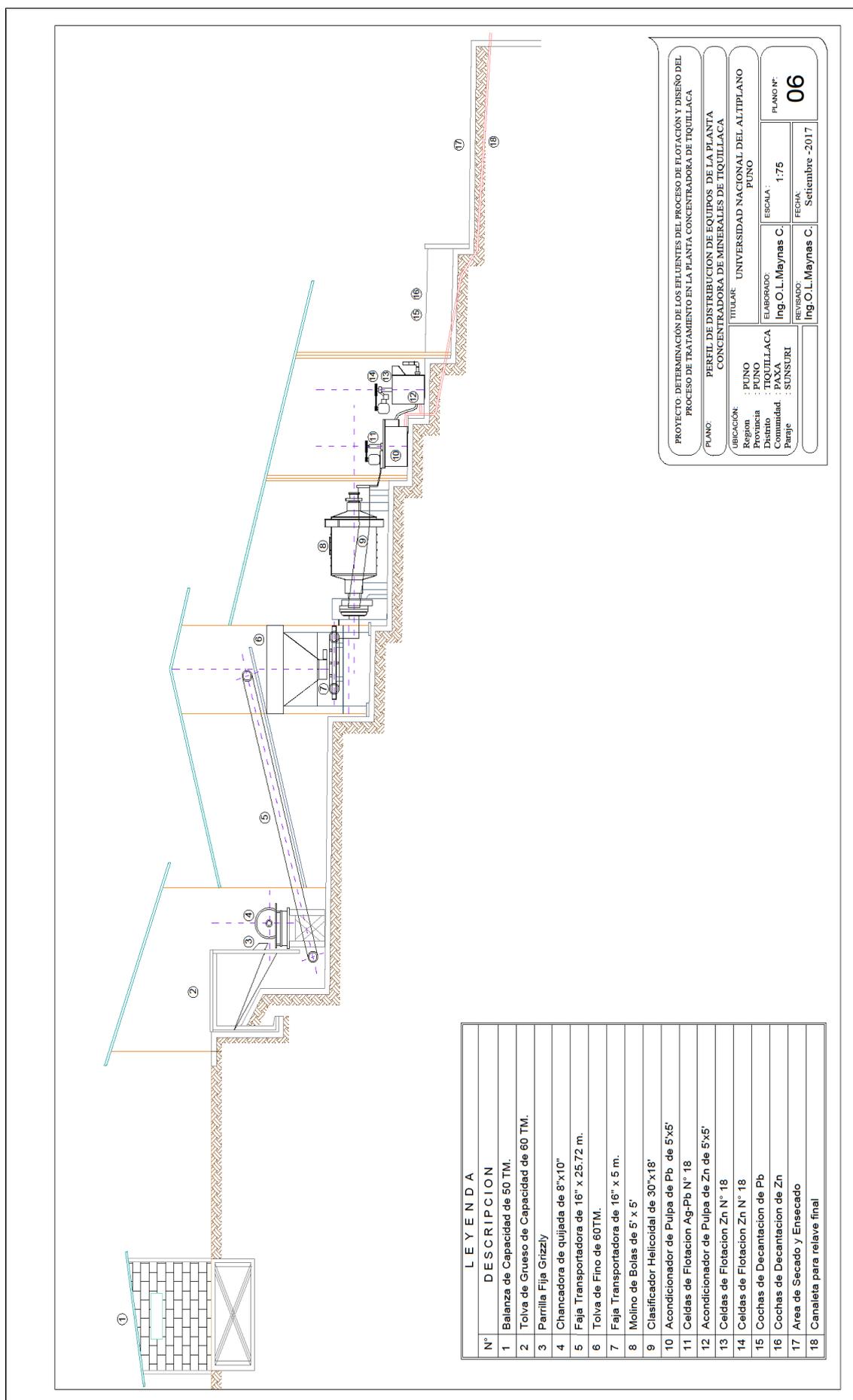


Figura 25. Plano N° 05. Diseño de las pozas de tratamiento de aguas de relave



PROYECTO: DETERMINACION DE LOS FUENTES DEL PROCESO DE FLOTACION Y DISEÑO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO EN LA PLANTA CONCENTRADORA DE TIQUILLACA

PLANO: PERFIL DE DISTRIBUCION DE EQUIPOS DE LA PLANTA CONCENTRADORA DE MINERALES DE TIQUILLACA

UBICACION:	TITULAR:	ELABORADO:	ESCALA:	PLANO N°:
Region : PUNO	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	Ing. O. L. Maynas C.	1:75	06
Provincia : PUNO				
Distrito : TIQUILLACA				
Comunidad : PAXA				
Paraje : SUNSURI				
	REVISADO:	FECHA:		
	Ing. O. L. Maynas C.	Setiembre -2017		

Figura 26. Plano N° 06. Perfil de distribución de equipos de la planta concentradora de minerales de Tiquillaca.

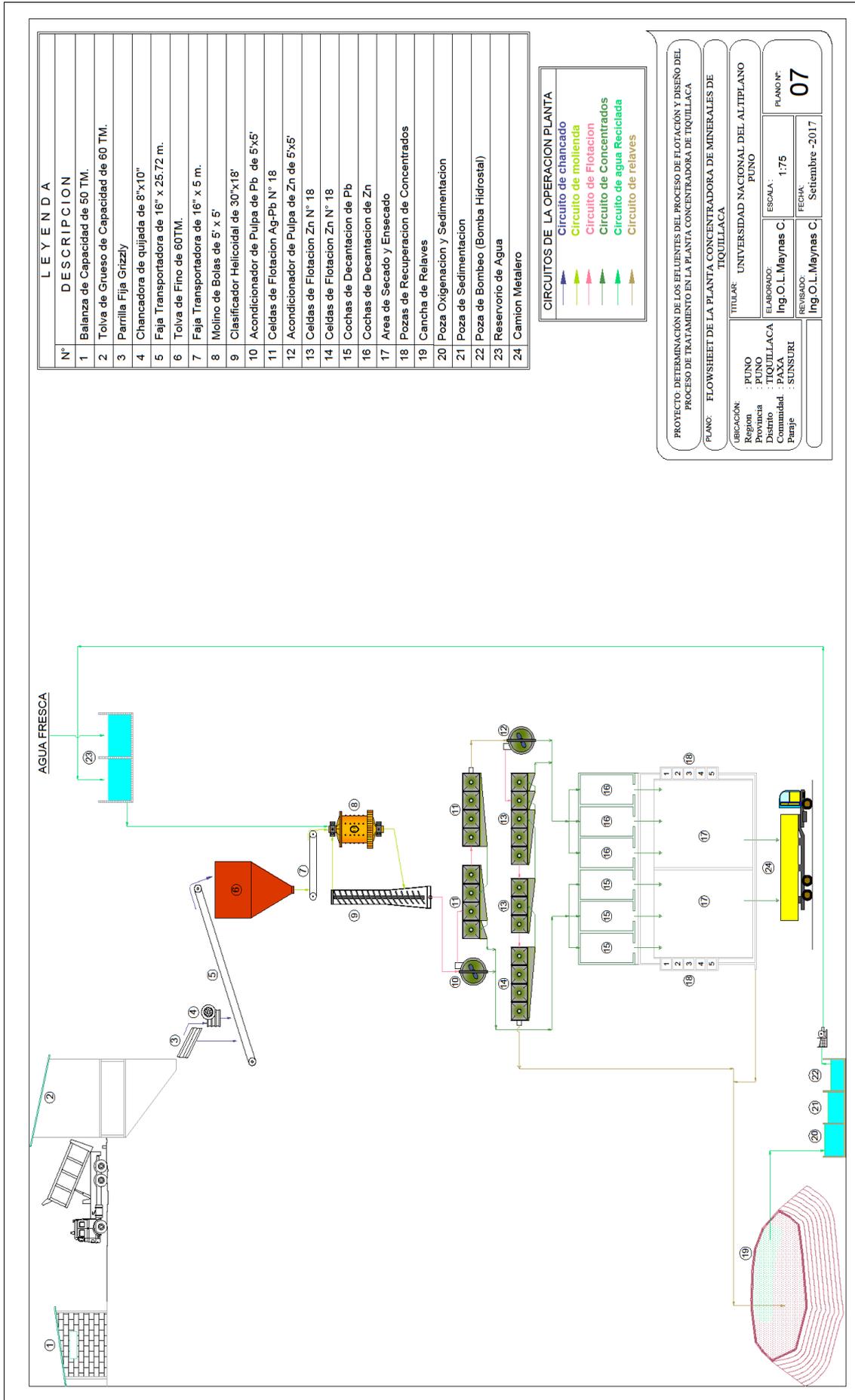


Figura 27. Plano N° 07. Flow Sheet de la planta concentradora de minerales de Tiquillaca.