

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA
MENCIÓN: MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE**



**PROPUESTA DE TRATAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES
DE QUIULACOCHA-PASCO PARA SU REMEDIACIÓN
AMBIENTAL, BASADA EN EXPERIENCIAS EXITOSAS EN
EMPRESAS MINERAS**

TESIS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO

Presentado por:

LEDESMA VELITA, Wenceslao Julio

Asesor: Mg. LOPEZ ALVARADO, Javier

PASCO PERÚ 2018

**“PROPUESTA DE TRATAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE
QUIULACOCHA-PASCO PARA SU REMEDIACIÓN AMBIENTAL, BASADA EN
EXPERIENCIAS EXITOSAS EN EMPRESAS MINERAS”**

LEDESMA VELITA, Wenceslao Julio
Cerro de Pasco - Perú
Diciembre, 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
Maestría en Ingeniería – Mención: Minería y Medio Ambiente
Unidad de la Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL “DANIEL ALCIDES CARRIÓN”

ESCUELA DE POSGRADO

**Maestría en Ingeniería
Mención: Minería y Medio Ambiente**



TESIS

**“PROPUESTA DE TRATAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES
DE QUIULACOCHA-PASCO PARA SU REMEDIACIÓN
AMBIENTAL, BASADA EN EXPERIENCIAS EXITOSAS EN
EMPRESAS MINERAS”**

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO

Presentado por:

LEDESMA VELITA, Wenceslao Julio

Dr. Ricardo CABEZAS LIZANO
PRESIDENTE

Mg. Joel Enrique OSCUVILCA TAPIA
MIEMBRO

Mg. Rubén Edgar PALOMINO ISIDRO
MIEMBRO

A mi familia, por ser el soporte en el transcurso
del desarrollo de esta investigación, y
durante mi formación académica.

Reconocimiento

A Dios, por iluminarme y darme la fortaleza en el logro de mis metas.

A mi esposa e hijos, quienes me brindaron su apoyo incondicional.

A mi asesor quien me supo guiar en el desarrollo de esta investigación.

Y a la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por cobijarme e inculcarme nuevos aprendizajes.

A todos ustedes mi mayor reconocimiento y gratitud.

Resumen

Esta investigación, buscó determinar en qué medida favorece la propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco para su remediación ambiental, basada en experiencias exitosas en empresas mineras. Para ello, según la metodología de la investigación fue de tipo aplicada, de nivel descriptivo – explicativo, y de método científico; el diseño de la investigación fue el no – experimental, y la población estuvo conformada por el depósito de relaves Quiulacocha. La muestra de la investigación estuvo conformada por los elementos físicos involucrados en el depósito de relaves de Quiulacocha Pasco. El muestreo se realizó por la técnica no probabilística, por conveniencia. La propuesta de tratamiento del depósito de relaves tiene dos partes: La primera etapa, actualmente con relaves secos de 79.38 Ha será remediado con encapsulamiento de geomembranas y cobertura de tierra orgánica para revegetar con plantas nativas. Para esta etapa se procederá a realizar la cobertura y revegetación. La segunda etapa será realizada una vez que el estanque de aguas ácidas se haya secado. Esto será posterior al cierre definitivo del depósito de desmontes y luego del encapsulamiento del depósito de relaves de Quiulacocha (primera etapa). Esta propuesta tendrá efectos positivos en la población y en la recuperación de los recursos naturales como es el suelo y agua.

Palabras clave. Depósito de relave, aguas ácidas, geomembranas y cobertura.

Abstract

This research determined the extent to which the treatment proposal for the Quiulacocha-Pasco tailings deposit favors its environmental remediation based on successful experiences in mining companies. For this, according to the methodology, the research was of the applied type, of a descriptive - explanatory level, and of a scientific method; the design of the research was non - experimental, and the population consisted of the Quiulacocha tailings deposit. The sample research was made up of the physical elements involved in the tailings deposit of Quiulacocha Pasco. Sampling was performed by the non-probabilistic technique, for convenience. The treatment proposal of the tailings deposit will be in two parts: The first stage, currently with dry tailings of 79.38 Ha will be remedied with encapsulation of geomembranes and organic earth cover to revegetate with native plants. For this stage, coverage and revegetation will be carried out. The second stage will be carried out once the acid water mirror has dried. This will be after the final closure of the clearing deposit and after the encapsulation of the tailings deposit of Quiulacocha (first stage). This proposal will have positive effects on the population and on the recovery of natural resources such as the soil and water.

Keywords. Tailings deposit, acid waters, geomembranes and coverage.

Índice

	Pág.
PRIMERA PARTE	
Capítulo 1. Problema de investigación	01
1.1. Identificación y determinación del problema	01
1.2. Delimitación de la investigación	05
1.2.1. Delimitación espacial	05
1.2.2. Delimitación temporal	06
1.3. Formulación del problema	06
1.3.1. Problema general	06
1.3.2. Problemas específicos	06
1.4. Formulación de objetivos	06
1.4.1. Objetivo general	06
1.4.2. Objetivos específicos	06
1.5. Justificación de la investigación	07
1.6. Limitaciones de la investigación	08
 Capítulo 2. Marco teórico	 09
2.1. Antecedentes de estudio	09
2.1.1. Antecedentes internacionales	09
2.1.2. Antecedentes nacionales	13
2.1.3. Antecedentes locales	17
2.1.4. Regulación Ambiental	17
2.2. Bases teóricas – científicas	18
2.2.1. Antecedentes históricos	18
2.2.2. Tratamiento de depósito de relave	19
2.2.3. Remediación Ambiental.	28
2.3. Definición de términos básicos	34
2.4. Formulación de hipótesis	35
2.4.1. Hipótesis general	35
2.4.2. Hipótesis específicas	35
2.5. Identificación de variables	35
2.5.1. Variable independiente	35
2.5.2. Variable dependiente	36
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	37
 Capítulo 3. Metodología y técnicas de investigación	 39
3.1. Tipo de investigación	39
3.2. Nivel de investigación	39
3.3. Método de investigación	40
3.3.1. Método general	40
3.3.2. Método específico	40

3.4. Diseño de investigación	41
3.5. Población y muestra	41
3.5.1. Población	41
3.5.2. Muestra	41
3.5.3. Muestreo	41
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	42
3.6.1. Técnicas	42
3.6.2. Instrumentos	42
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	42
3.8. Tratamiento estadístico	43
3.9. Selección y validación de los instrumentos de investigación	43

SEGUNDA PARTE

Capítulo 4. Resultados de la investigación	44
4.1. Descripción del trabajo de campo	44
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	44
4.2.1. Diagnóstico del depósito de relave de Quiulacochoa.	44
4.2.2. Apreciación de la población respecto al depósito de relave de Quiulacochoa.	56
4.2.3. Identificación de Impactos negativos en la zona de estudio	74
4.2.4. Casos de éxito de tratamiento de depósitos de relave	74
4.2.5. Propuesta de Tratamiento del depósito de relave de Quiulacochoa.	88
4.3. Prueba de hipótesis	96
4.3.1. La hipótesis general planteada.	96
4.3.2. Las hipótesis específicas	97
4.4. Discusión de resultados	97

CONCLUSIONES	100
RECOMENDACIONES	102
BIBLIOGRAFÍA	103
ANEXOS	107
Anexo 01. Matriz de consistencia	108
Anexo 02. Instrumento de recolección de datos	110
Anexo 03. Fotos	113
Anexo 04. Análisis químico	118
Anexo 05. Resultados físicos, químicos de la sub cuenca del río San Juan	119

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 01. Operacionalización de variables	37
Tabla 02. Área del depósito de relaves –Quiulacocha	48
Tabla 03. Valores de PH, temperatura y conductividad del agua ácida Quiulacocha	50
Tabla 04. Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero-Metalúrgicas.	52
Tabla 05. Composición química promedio de relave depósito Quiulacocha	53
Tabla 06. Análisis químico: Agua sobrenadante relavera Quiulacocha	53
Tabla 07. Resultado análisis en UV/VIS- Laguna Quiulacocha comparado con los parámetros de la OMS.	54
Tabla 08. Resultado análisis en sub cuenca del rio San Juan.	55
Tabla 09. Parámetros de operación Planta de neutralización aguas ácidas.	56
Tabla 10. Ocupación o actividad principal	57
Tabla 11. Conocimiento sobre el impacto del depósito de relaves de Quiulacocha y su efecto en la comunidad	58
Tabla 12. Conformidad a que se cristalice este proyecto y conocimiento respecto al trabajo para disminuir el impacto que produce el depósito de relaves de Quiulacocha.	59
Tabla 13. Existe un monitoreo o control de los relaves de Quiulacocha	60
Tabla 14. Frecuencia del monitoreo o control de los relaves de Quiulacocha.	61
Tabla 15. Sabe Ud. ¿En qué consiste el plan de cierre de relaves?	62
Tabla 16. ¿Sabe si hubo, hay o habrá un proyecto de plan de cierre del depósito de relaves de Quiulacocha?	63
Tabla 17. El mayor impacto que produce el depósito de relaves está relacionado con.	64
Tabla 18. ¿Tiene conocimiento que el depósito de relaves genera aguas ácidas y que contamina el rio San Juan?	65
Tabla 19. ¿El depósito de relaves estará afectando la salud de la población?	66
Tabla 20. ¿Ha notado que otras comunidades se ven afectadas por la contaminación que genera los relaves de Quiulacocha?	67
Tabla 21. ¿Usted cree que se podría evitar el impacto ambiental generado por los relaves de Quiulacocha?	68
Tabla 22. ¿Cree que podría contraer alguna enfermedad a causa de la contaminación que generan los relaves de Quiulacocha?	69
Tabla 23. ¿Cuáles son las enfermedades más comunes que se presenta en su familia?	70
Tabla 24. ¿Cree que las enfermedades que contrajo su familia se deban a la contaminación que proviene de los relaves de Quiulacocha?	71
Tabla 25. ¿El impacto que generó los relaves de Quiulacocha en el suelo, afectó la actividad agrícola de su comunidad?	72
Tabla 26. ¿La contaminación de las aguas por parte de los relaves de Quiulacocha, trajeron desastre de los ecosistemas acuáticos de su comunidad?	73
Tabla 27. Especies colonizadoras espontáneas de depósitos de relaves.	84
Tabla 28. Contenido de cobre total y porcentaje de cobre soluble en los relaves.	85

Lista de figuras

	Pág.
Figura 01. Laguna de Quiulacocha.	45
Figura 02. Ubicación de la Laguna de Quiulacocha.	48
Figura 03. Toma de muestras de agua ácida del depósito de relaves de Quiulacocha.	49
Figura 04. Determinación del PH de las aguas ácidas del depósito de relaves Quiulacocha.	49
Figura 05. Determinación del PH de las aguas ácidas del depósito de relaves Quiulacocha.	49
Figura 06. Etapas en la formación de aguas ácidas.	51
Figura 07. Ocupación o actividad principal.	57
Figura 08. Conocimiento sobre el impacto del depósito de relaves de Quiulacocha y su efecto en la comunidad	58
Figura 09. Conformidad a que se cristalice este proyecto y conocimiento respecto al trabajo para disminuir el impacto que produce el depósito de relaves de Quiulacocha.	59
Figura 10. Existe un monitoreo o control de los relaves de Quiulacocha.	60
Figura 11. Frecuencia del monitoreo o control de los relaves de Quiulacocha.	61
Figura 12. Sabe Ud. ¿En qué consiste el plan de cierre de relaves?	62
Figura 13. ¿Sabe si hubo, hay o habrá un proyecto de plan de cierre del depósito de relaves de Quiulacocha?	63
Figura 14. Relación del mayor impacto que produce el depósito de relaves.	64
Figura 15. ¿Tiene conocimiento que el depósito de relaves genera aguas ácidas y que contamina el rio San Juan?	65
Figura 16. ¿El depósito de relaves estará afectando la salud de la población?	66
Figura 17. ¿Ha notado que otras comunidades se ven afectadas por la contaminación que genera los relaves de Quiulacocha?	67
Figura 18. ¿Usted cree que se podría evitar el impacto ambiental generado por los relaves de Quiulacocha?	68
Figura 19. ¿Cree que podría contraer alguna enfermedad a causa de la contaminación que generan los relaves de Quiulacocha?	69
Figura 20. ¿Cuáles son las enfermedades más comunes que se presenta en su familia?	70
Figura 21. ¿Cree que las enfermedades que contrajo su familia se deban a la contaminación que proviene de los relaves de Quiulacocha?	71
Figura 22. ¿El impacto que generó los relaves de Quiulacocha en el suelo, afectó la actividad agrícola de su comunidad?	72
Figura 23. ¿La contaminación de las aguas por parte de los relaves de Quiulacocha, trajeron desastre de los ecosistemas acuáticos de su comunidad?	73
Figura 24. Vista del depósito de relaves de Tablachaca, antes del cierre con encapsulamiento y revegetación. Centromin Perú S.A.	77
Figura 25. Vista del depósito de relaves de Tablachaca, después del cierre con encapsulamiento y revegetación. Centromin Perú S.A.	77

Figura 26. Vista del depósito de relaves de Casapalca, antes del cierre con encapsulamiento y revegetación. Centromin Perú S.A.	78
Figura 27. Vista del depósito de relaves de Casapalca, después del cierre con encapsulamiento y revegetación. Centromin Perú S.A.	78
Figura 28. Vista del depósito de relaves de Yauliyacu, antes del cierre con encapsulamiento y revegetación.	79
Figura 29. Vista del depósito de relaves de Yauliyacu, después del cierre con encapsulamiento y revegetación.	79
Figura 30. Vista del depósito de relaves de Hualgayoc, antes del cierre con encapsulamiento y revegetación.	80
Figura 31. Vista del depósito de relaves de Hualgayoc, después del cierre con encapsulamiento y revegetación.	80
Figura 32. Vista del depósito de relaves de Atacocha - Pasco, después del cierre con encapsulamiento y revegetación.	81
Figura 33. Vista del depósito de relaves de Atacocha - Pasco, después del cierre con encapsulamiento y revegetación.	81
Figura 34. Vista del depósito de relaves de una mina en Nueva Zelanda, después del cierre con encapsulamiento y revegetación.	82
Figura 35. Primera etapa del cierre participativo del tranque de relaves Los Quillayes entre la comunidad y Minera Los Pelambres. - Chile.	86
Figura 36. Primera etapa del cierre participativo del tranque de relaves Los Quillayes entre la comunidad y Minera Los Pelambres. - Chile.	86
Figura 37. Puesta en Marcha del proyecto de fitoestabilización de un tranque de relave, en Copiapó. - Chile.	87
Figura 38. Puesta en Marcha del proyecto de fitoestabilización de un tranque de relave, en Copiapó. - Chile	87
Figura 39. Capas del proceso de encapsulamiento y revegetación. (elaboración propia).	93
Figura 40. Propuesta del cierre del depósito de relaves de Quiulacocha y tratamiento con geomembranas.	94
Figura 41. Canales para evitar ingreso de aguas de escorrentía superficial al depósito de relaves de la Quiulacocha.	95

Introducción

Según el transcurso de los años la actividad minera se vincula al desarrollo económico beneficiando a los pueblos, comunidades o países por ser un sustento económico mundial, por el desarrollo económico, desarrollo tecnológico en todos sus sectores; pero, sin embargo la explotación de yacimientos mineros trae un lado negativo en las zonas donde son operadas y muchas veces éstas se extienden, teniendo como consecuencia la afectación severa del medio ambiente, la salubridad humana y los bienes naturales.

Además, a pesar del beneficio minero también ésta trae consecuencias como desastre de los ecosistemas, problemas sociales, un negativo impacto ambiental a nivel de la atmósfera, del agua y de los suelos a gran escala, violación de los derechos humanos y entre otros conflictos que persisten en el tiempo. Es por ello que es necesario realizar la disposición de los relaves y monitorear su tratamiento, para minimizar el impacto ambiental, la afectación a la salud humana, las desapariciones de los ecosistemas, etc.

Por lo tanto, la investigación, tiene como objetivo, determinar en qué medida favorece la propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco para su remediación ambiental basada en experiencias exitosas en empresas mineras.

Además, respecto a la metodología, la investigación es de tipo aplicada, de nivel descriptivo – explicativo, y de método científico; el diseño de la investigación fue el no – experimental, y la población estuvo conformada por el depósito de relaves Quiulacocha.

Por lo tanto, esta investigación está compuesta por el Capítulo I donde se desarrolló el planteamiento del problema, tomando en cuenta la propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco para su remediación ambiental, basada en experiencias exitosas en

empresas mineras. El Capítulo II consta del desarrollo del marco teórico correspondiente al objeto de estudio. El Capítulo III contiene la metodología de investigación aplicada con el fin de alcanzar los objetivos, recopilar datos. El Capítulo IV trata sobre los resultados de la investigación mostrando las estadísticas descriptivas e inferenciales de los ítems, indicadores, dimensiones y variables de la investigación. Finalmente, se hacen las conclusiones y las recomendaciones

PRIMERA PARTE: ASPECTOS TEÓRICOS

Capítulo 1

Problema de investigación

1.1. Identificación y Determinación del Problema

Desde tiempos muy antiguos y hasta la actualidad la actividad minera ha estado vinculada al desarrollo económico esencial de los pueblos, comunidades o países siendo así un sustento económico mundial, no hay países que no se beneficien de la minería, todos y cada uno de los pueblos son beneficiados ya sea a gran escala o mediana escala, porque la actividad minera no sólo forma parte del desarrollo económico sino también del desarrollo tecnológico en todas sus sectores, ya sea salud, agrícola, etc.; sin embargo la explotación de yacimientos mineros trae un lado negativo en las zonas donde son operadas y muchas veces éstas se extienden, teniendo como consecuencia la afectación severa del medio ambiente, la salubridad humana y los bienes naturales.

Si bien es cierto que la minería tiene la obligación de aportar un desarrollo sostenible de los pueblos y en consecuencia de ello en América Latina, a inicios de los años noventa nuestras regiones eran receptoras de un aproximado del 12% de la inversión minera mundial y hoy en día se estima que este porcentaje se ha triplicado. Según Castro (Castro, 2017), la minería benefició a la economía de los países de la región, de acuerdo al sitio Minería Pan Americana en su texto América latina: Epicentro de la Inversión Mundial, este crecimiento económico se vio reflejado en países como México, Bolivia o Colombia quienes obtuvieron un Producto Interno Bruto que sobrepasa el 10%, en el caso del país sureño de Chile, bordeaba el 15% del marcador del Producto Interno Bruto y en Perú en el año 2017 representó alrededor del 10 % del PBI (MEM-2017) a consecuencia de este beneficio.

Sin embargo, este beneficio minero no sólo trajo desarrollo económico sino también produjo desastre de los ecosistemas, problemas sociales, un negativo impacto ambiental a nivel de la atmósfera, del agua y de los suelos a gran escala, violación de los derechos humanos y entre otros conflictos que persisten en el tiempo.

En base a ello Castro (2017), hace referencia a un estudio realizado por el Observatorio de Conflictos Mineros en América Latina (OCMAL), en el cual dicho estudio detalla explícitamente la existencia de doscientos diecinueve problemas, éstos habrían sido generados por la mega minería en por lo menos veinte países, originados por la oposición de los pueblos con respecto a los métodos extractivos que estos empleaban siendo severamente dañinos para el medio ambiente y sosegaban los derechos humanos.

Es inevitable que las actividades mineras no generen un impacto ambiental, por más que éstos hayan empleado métodos de minimización de afectación al ambiente. Dichas actividades mineras ejercen diversos medios de operación en los cuales la mayoría de éstas, sin importar el elemento que exploten, comprenden una planta de procesamiento de mineral, comprendiendo muchas veces fundiciones aledañas.

Entre los métodos de explotación que desempeñan las empresas mineras podemos encontrar dos principales, la minería a cielo abierto y la minería subterránea, la primera comprende la explotación de las capas superiores de las rocas para así poder dar con los yacimiento ricos en minerales, dentro de este aún existe una subdivisión que lleva por nombre rajo abierto, mediante el cual se realiza un rajo significativamente extensible en la superficie, explotación por canteras; y la segunda realiza su proceso por medio de la construcción de túneles penetrando la roca hasta llegar a los yacimientos de minerales, subdividiéndose en forma vertical y horizontal.

En el Perú se emplea los dos métodos antes señalados, estos métodos en su etapa de operación comprenden a su vez la generación de desechos mineros pudiendo ser del tipo residuos sólidos, acuosos o en forma de pasta, sin embargo, y de acuerdo a los compuestos químicos que éstos utilicen se genera los residuos mineros de pilas de lixiviación, escorias, relaves de lavado, relaves tipo jig, relaves cianurados, etc.

Según Cruzado y Bravo (Cruzado Medina & Bravo Alarcon, 2010), en el Perú hay una diversidad en cuanto a la explotación de los minerales siendo estos metales, minerales industriales, materiales de construcción, las gemas y los combustibles; y en base a estos y a sus métodos de extracción y ubicación se generan los relaves. Los relaves comprenden sustancias químicas que fueron utilizadas en la ejecución minera, en consecuencia, estos son considerados altamente contaminantes de las fuentes hídricas, por contener ácidos, metales ionizados, el cianuro de sodio y reactivos químicos como ácidos, álcalis, espumas, floculantes y coagulantes, aceites y petróleos, y sólidos en suspensión generados a partir del agua de mina.

El gran impacto que genera los relaves mineros en el Perú ha llegado hasta desequilibrar el ecosistema, afectando la salud humana, siendo un alto contaminante de los flujos de aguas superficiales y subterráneos, y modificando sustancialmente el paisaje. La mala disposición y el pésimo manejo que se ejerce sobre éstos, provocan riesgos inminentes siendo muchas veces de larga duración, un ejemplo claro es el acontecimiento minero suscitado en Cerro de Pasco, generado por los desmontes mineros y relaves de la época antigua, o de acontecimientos desastrosos reflejados en los ecosistemas recientes como el caso del colapso de la presa de relaves de la mina Caudalosa ubicada en Huancavelica, que tuvo un efecto desastroso en su ecosistema provocando la muerte de miles de truchas de las piscigranjas del río Opamayo por el año 2011.

En mención al apartado anterior el inadecuado manejo de los relaves tiene origen en la manera como se realiza el confinamiento, su recolección, el transporte y finalmente su tratamiento, ya que éstos contienen elementos tóxicos altamente peligrosos para la subsistencia de las especies, que además su mala disposición como ya antes se ha mencionado trae impactos severos que pueden llegar a extenderse en espacios geográficos extensos.

Es por ello que es necesario realizar la disposición de los relaves y monitorear su tratamiento, para minimizar el impacto ambiental, la afectación a la salud humana, las desapariciones de los ecosistemas, etc.

Teniendo en cuenta lo redactado anteriormente nos centramos en el depósito de desmontes y relaves de Quiulacocha ubicado en Cerro de Pasco, en el distrito de Simón Bolívar, considerado el depósito de plata más grande del mundo siendo un pasivo ambiental minero que abarca unos 200 millones de toneladas de residuos mineros, producto de la acumulación de operaciones mineras de aproximadamente un siglo. (Belling, s.l.)

Históricamente por el año 1900 hace su ingreso al país, la empresa minera norteamericana Cerro de Pasco Cooper Corporation quien operó la explotación minera subterránea y a cielo abierto y producto de ello realizó el depósito del relave minero en la laguna Quilaucocha, propiciando la desaparición de especies aborígenes; esta actividad se prolongó aproximadamente hasta el año 1976 y a partir de esa fecha hasta el año 1992 Centromin Perú continuó depositando los relaves en esta laguna, consecuentemente luego se apertura el nuevo depósito en la zona denominada Ocroyoc ubicada en la parte sur oeste de la laguna de Quiulacocha que actualmente se encuentra en operación. (Bianichi, 2009)

Otro pasivo ambiental impactante en el deterioro de la zona de Quiulacocha, son los depósitos de desmontes mineros acumulados por millones de toneladas, ubicados en la parte

norte y noroeste del depósito de Quiulacocha, los mismos que contienen minerales oxidados de hierro, sulfuros de hierro, óxidos de plata, entre otros, los que por acción del intemperismo y reacciones químicas muy complejas se viene lixiviando e incrementando el impacto del río San Juan con el aporte de metales pesados y aguas ácidas.

Como ya se mencionó antes, este es un pasivo ambiental de gran escala por lo cual realizar el tratamiento y remediación es de necesidad primordial, ya que si se obvia seguirá afectando el medio ambiente, la salud de los pobladores y la devastación de los ecosistemas. Además, se deduce que el depósito de relaves de Quiulacocha está afectando seriamente la calidad del agua del río San Juan y ecosistema circundante, puesto que los minerales sulfurados como las piritas cuya granulometría es muy fina, al contacto con el oxígeno atmosférico y aguas de lluvia, está oxidándolo y a través de reacciones químicas muy complejas generan aguas ácidas con valores de PH muy bajos (menores a 3). Asimismo, se está lixiviando metales pesados como plomo, cobre, zinc, hierro y otros, los que se incorporan a las aguas del río San Juan dañando toda forma de vida acuática.

Por lo cual se debe buscar una propuesta de tratamiento que garantice su remediación ambiental, para lograr a largo plazo una estabilidad física, química, hidrológica y biológica de dicho depósito de manera que se garantice la subsistencia de las especies y la remediación ambiental.

1.2. Delimitación de la Investigación

1.2.1. Delimitación espacial. El proyecto de investigación refiere al tema de proponer un tratamiento al depósito de relaves mineros de Quiulacocha ubicado en Cerro de Pasco, para remediarlo mediante técnicas desarrolladas exitosamente por empresas mineras. Cabe mencionar

que dicho proyecto se desarrollará básicamente en el área impactada por la acumulación de los relaves mineros en Quiulacochoa.

1.2.2. Delimitación temporal. El proyecto de tesis se ejecutará en un solo período que comprende el año 2017-2018, influido por el tipo de diseño no experimental, como una investigación transversal y algunos aspectos longitudinalmente evolutivos.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general. ¿En qué medida favorece la propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacochoa-Pasco para su remediación ambiental, basada en experiencias exitosas en empresas mineras?

1.3.2. Problemas específicos.

- a. ¿Qué efectos produce la mala disposición de relaves de Quiulacochoa-Pasco en el medio ambiente?
- b. ¿En qué medida el depósito de relaves de Quiulacochoa-Pasco está impactando sobre el medio acuático, suelos y poblaciones aledañas?
- c. ¿Qué efectos produce el manejo de los relaves para el tratamiento del depósito de relaves de Quiulacochoa-Pasco?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general. Determinar en qué medida favorece la propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacochoa-Pasco para su remediación ambiental basada en experiencias exitosas en empresas mineras.

1.4.2. Objetivos específicos.

- a. Evaluar los efectos que produce la mala disposición de relaves de Quiulacochoa-Pasco en el medio ambiente.

- b. Indicar en qué medida el depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco está impactando sobre el medio acuático, suelos y poblaciones aledañas.
- c. Conocer los efectos que produce el manejo de los relaves para el tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco.

1.5. Justificación de la investigación

El impacto generado por la actividad minera tiene origen en la operación de la extracción de los recursos mineros, sin importar la procedencia de éstos, ya sea a cielo abierto o subterráneos, dicha operación genera residuos mineros entre los cuales están presente los relaves, estos elementos a su vez están compuestos por minerales sulfurados y sustancias químicas que fueron utilizadas en la ejecución minera como, por ejemplo ácidos, metales ionizados, el cianuro de sodio y reactivos químicos como ácidos, álcalis, espumas, floculantes y coagulantes, aceites y petróleos, y sólidos en suspensión generados a partir del agua de mina.

El impacto que generan estos relaves es significativamente severo ya que pueden llegar a desestabilizar ecosistemas, afectar la salud humana, la afectación de flujos de agua superficial y subterránea y pueden llegar a destruir el paisaje, todo ello debido a la mala disposición y el pésimo manejo que se ejerce sobre los depósitos de relaves.

Y en el caso de Quiulacocha, el relave depositado en dicha laguna data de aproximadamente un siglo; este efecto provocó el desplazamiento de toda el agua natural, destruyó la biótica de esta laguna y actualmente presenta un ambiente desolador, sin vida, en toda su área, impactando con la generación severa de aguas ácidas y lixiviación de metales pesados como el plomo, hierro, zinc, cobre y otros, los que se descargan en forma subterránea y superficial a la quebrada que desemboca al río San Juan, contaminando sus aguas de su cuenca hasta el lago de Junín.

Sin embargo, ello se puede llegar a controlar mediante el correcto tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha, y secuencialmente realizar su remediación física, química y biológica mediante métodos que garanticen la subsistencia de las especies con la recuperación del área impactada, del paisaje y manantiales, de modo que se elimine el impacto ambiental vivido.

1.6. Limitaciones de la investigación

La presente investigación tendrá limitaciones de carácter económico y bibliográfico, con respecto a este último no se dispone de una gama alta de información con respecto al tema de investigación.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales. Referente a los antecedentes internacionales relacionados al presente trabajo resalto las investigaciones siguientes:

a) Surichaqui (2016), en su investigación “Estudio de la metodología de evaluación de riesgos más eficaz para instalaciones abandonadas de residuos mineros”, para obtener el grado de Master, en la Universidad Politécnica de Madrid, en la ciudad de Madrid; quien arribó en las conclusiones: 1) Se demostró la veracidad de los procesos del método de riesgos con respecto a diques de residuos mineros, como el caso de Ticapampa; además, la información geológica documentada y acreditada utilizando la metodología del Instituto Geológico y Minero de España, así como del procedimiento activo, se tomaron en cuenta para una magnífica calidad de respuesta mediante el método usado. 2) Es necesario realizar la evaluación estructural del suministro de desechos mineros. 3) En base a los análisis anteriores, el método del árbol de fallos resulta muy conveniente presentando cuantitativamente el grado de probabilidad de ocurrencia frente a efectos no deseados; para el caso de Ticapampa resultó conveniente la aplicación de dicho método, este conllevó a entender el fenómeno y dar a conocer su limitación de información. 4) El emplazamiento de los métodos del Instituto Geológico y Minero de España y la Metodología del Árbol de Fallos, se puede usar ambos modelos para la obtención de nuevos resultados en nuevas líneas de investigación.

b) Durán (2010), es su tesis doctoral “Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral Catalana”, para optar al

título de Doctora, en la Universidad de Barcelona, en la ciudad de Barcelona; formuló el objetivo de encontrar, analizar, describir e indicar el desarrollo habitual de la cubierta vegetal en ambientes mineros, con la finalidad de ver las diferencias entre la variación en base a factores ecológicos, evaluando los criterios significativos de los metales pesados en la superficie del suelo aledañas a la extracción minera, estudiando los componentes de estos metales presentes en la cubierta vegetal seleccionada, vinculando el contenido de dichos metales presentes en la cubierta vegetal en base al suelo de procedencia, evaluando y proponiendo planes del uso de plantas ante el agente contaminante para después usarlas en métodos de fitorremediación; recalando en las conclusiones 1) Los suelos de la mina Carolina tienen un elevado grado de metales, y las plantas que pueden crecer en estas condiciones son *Bidens triplinervia*, *Senecio sp*, *Sonchus oleraceus*, *Baccharis latifolia*, *Plantago orbignyana* y *Lepidium bipinnatifidum*, estas a su vez son capaces de concentrar dichos metales en su estructura vegetal. 2) Los valores normales de metales pesados presentes en el suelo son rebasados, con respecto a esto las plantas que pueden asimilar dicha concentración son *Ruscus aculeatus*, *Dactylis glomerata*, *Polypodium vulgare* y *Viburnum tinus*.

c) *Valenzuela (2015)*, efectuó su investigación “Sistema de medición de la estabilidad de depósitos mineros de relave frente a la acción eólica, para su recuperación como espacio urbano sostenible. El caso de la ciudad de Copiapó en Chile “para optar el grado de Doctor, en la Universidad Politécnica de Madrid, en la ciudad de Madrid, formuló el objetivo de realizar una metodología que permita analizar la expulsión de partículas residuales al ambiente por acción del viento desde sus depósitos de residuos mineros de manera que se pueda controlar dicha emisión para su posterior remediación como un espacio urbano habitable, recaudando información documentada y acreditada de los depósitos de relave en Chile, sus impactos originados en zonas

urbanas y las soluciones de manejo planteadas, analizando las variedades disyuntivas de solución, proponiendo, evaluando y aplicando estrategias de estimación de emisiones de material particulado originado por acción del viento en los depósitos de relaves; arribando a las conclusiones: 1) La documentación recaudada prueba que la actividad minera en Chile origina impacto negativo en la salubridad social que comprenden las zonas mineras y el ambiente de la localidad. Siendo éstas muy significativas, de los cuales entre los desechos que afectan negativamente a estos dos aspectos son los depósitos de los relaves de la explotación por flotación de cobre. 2) Los depósitos de relave de volumen considerable, tienen la obligación de ser almacenados en depósitos con las mejores condiciones, lo cual disminuiría la contaminación ambiental, impacto en la salubridad de los pobladores y las actividades productivas de éstos; frente a ello, el caso de las ciudades de Copiapó y Andacollo tiende a empeorar por la expansión de sus pobladores a estos sitios con depósitos de relaves. 3) Uno de los mayores impactos que se genera en la contaminación ambiental y que afectan a la salubridad de los pobladores de Copiapó y Andacollo, por parte de los depósitos de relaves mineros, es la erosión eólica; en Andacollo existe una saturación de material particulado generado por este dicho efecto, lo que conlleva a realizar medidas para su remediación; y en el caso de Copiapó, la emisión por efecto del viento de los depósitos de relaves ha sido una traba para la ejecución de proyectos sociales, ya que éstos requieren de ambientes saneados.

d) Díaz (2013), en su investigación titulada “Tratamiento Biológico como Alternativa para Disminuir el Impacto Ambiental Ocasionado por el Drenaje Ácido, Generado por la Actividad Minera en el Municipio de Marmato- Caldas”, para optar el grado de Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, en la Universidad de Manizales; formuló el objetivo del desarrollo de métodos de tratamientos que minimicen el efecto negativo ambiental generado

por el drenaje ácido producto de la actividad minera de la Municipalidad de Marmato, realizando una categorización fisicoquímica en ambientes de laboratorio en cuanto a las aguas superficiales provenientes de la mina Cascabel, generando soluciones de tratamiento biológico y químico con el fin de mitigar el impacto ambiental registrado por las aguas provenientes de dicha mina, seleccionando métodos que minimicen la acción de sulfatos y productor de alcalinidad como solución de tratamiento bioquímico, aplicando experimentos comprendidos en el tratamiento seleccionado para las aguas del drenaje ácido; obteniendo los siguientes resultados: 1) El resultado de la prueba de hidrógeno varían entre 3 -4 lo cual muestra que rebasan los valores máximos permisibles, esto trae consigo perturbaciones en los proceso bioquímicos de la naturaleza del lugar, lo cual es perjudicialmente degradable para el ecosistema. Además existe la presencia de una gran cantidad de sulfatos; con respecto a los sólidos suspendidos estos determinan la salinidad del agua y su conductividad, que se encuentran disueltos como aniones y cationes. 2) Al añadir un componente alcalino, este hace que se precipiten los iones metálicos diluidos en el agua, en consecuencia, ello garantiza elevar el Ph de la mina de manera que el agua drenada se encuentre en un rango de 3.82. Arribando en las conclusiones: 1) La interpretación del análisis de las aguas de la mina Cascabel revela la existencia de aluminio, manganeso, arsénico, mercurio, cadmio y zinc, los cuales rebasan los límites máximos permisibles enmarcado por el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2) La contaminación de la mina perdura aun cuando no está en funcionamiento, ya que la respuesta de riesgo alto demuestra la contaminación del agua y suelo, 3) La aplicación de alcalinidad como medio reductor del grado de contaminación de las aguas residuales resulta óptima, por lo que, al aumentar el pH, se minimiza la presencia de aluminio, cobre, hierro, oxígeno disuelto y sulfatos. Sin embargo, el método usado no permite la obtención de los resultados en cuanto a la presencia

de arsénico y mercurio, se sugiere implementar técnicas como la laguna sedimentaria, que permita cuantificar los valores de dichos elementos.

2.1.2. Antecedentes Nacionales.

a) Romero (2015), es su investigación “Tratamientos de los Relaves mineros contaminados con plantación de gramíneas (Kikuyo) para convertirlos en áreas verdes en las minas de la Región Central del Perú”; para optar el grado académico de Maestro en Seguridad y Medio Ambiente en Minería; en la Universidad Nacional del Centro del Perú, en la ciudad de Huancayo; propuso el objetivo de calibrar el acontecimiento que tiene la plantación de gramíneas (Kikuyo) en la remediación de relaves mineros contaminados, basándose jurídicamente y ecológicamente en la posibilidad de remediar los relaves mineros mediante la plantación de gramíneas (Kikuyo) y documentado de manera científica y tecnología la posibilidad de remediar los relaves con la plantación de gramíneas (Kikuyo); quien usó la metodología de tipo y nivel aplicativa, diacrónica, prospectiva, focalizada, empírica, documental, descriptiva, cualitativa, correlacional y de nivel explicativo, con una población de 33 minas activas; teniendo como resultados que al menos 268 hectáreas de ambientes de relave están contaminadas del cual un 85% de trabajadores manifestó que fueron contaminados con residuo tóxicos, mezcla de ácidos, agua, residuos mineros, rocas y mezcla de tierras. En cuanto a los residuos mineros, el 100% de los trabajadores dice que los ambientes de relaves contienen presencia significativa de componentes químicos, lo que conlleva a un desequilibrio ecológico. La contaminación del aire es efecto de la emanación de los gases según el 92.8% de los trabajadores, la contaminación del suelo es consecuencia de la filtración de concentraciones tóxicas permeables según señala el 85.7%, mientras que el agua contaminada es producto del uso de acidificantes con sustancias químicas en los ambientes de relaves manifestado por el 92.8%, a consecuencia de los ambientes

de relaves, la flora y fauna del lugar son intoxicados limitando su ambiente y provocando su extinción según manifiesta el 100% de trabajadores, en cambio las enfermedades originadas por los ambientes de relaves son en su mayoría las de diarrea, náuseas y vómitos según señala el 100% de trabajadores; arribando en las conclusiones 1) La documentación acreditada sobre el conocimiento de los trabajadores en referencia a la contaminación del ambiente, flora y fauna, generan una inestabilidad ecológica y más aún enfermedades en perjuicio de los pobladores aledaños. 2) La información conjunta que se obtuvo por medio de los investigadores citados y los ingenieros de minas del departamento de Junín, en cuanto a las atribuciones e importancia del Kikuyo, es posible la fitoestabilización del suelo, por medio de la plantación de este componente. 3) El conocimiento acreditado y la experiencia internacional y nacional obtenida con respecto a la plantación de Kikuyo manifiesta que es posible la fitoestabilización mediante la plantación de este componente.

b) López (2011), llevó a cabo su tesis Magistral “Fitorremediación en los suelos de Mayoc, San Mateo, Huarochirí - Lima”, para optar el grado académico de Maestra en Ciencias con mención en Minería y Medio Ambiente, en la Universidad Nacional de Ingeniería, en la ciudad de Lima; quien formuló los objetivos que dan al estudio del grado de exhibición al arsénico en los organismos destinados, estudiando la afluencia de este en los habitantes de Mayoc, proponiendo la Fitorremediación como un método de control de la propagación del arsénico en la superficie de Mayoc y aledaños; arribando a las conclusiones 1) Los límites máximos permisibles para efluentes líquidos estuvieron dentro del rango aceptable en mención de las clases II y III de la Ley General de Aguas, en cuanto a la auditoría ambiental en el control del aire con respecto al transporte, arrojan un resultado aceptable en cuanto al arsénico y plomo presentes en el aire, los resultados de contenido de arsénico, zinc, cobre y plomo, en el suelo

rebasan los límites máximos permitidos, establecidos en el World Health Organization, 2001, Environmental Health, Ginebra. 2) Mediante documentación acreditada se señala que el estudio de habitantes de Mayoc de 5 de 8 casos, tienen presencia de arsénico que supera el límite máximo de seguridad de depuración de dicho componente. 3) El propósito de la Fitorremediación es minimizar la emanación del arsénico en la superficie del suelo de Mayoc, ya que se determinó de manera experimental que las plantas aledañas a la zona tienen una gran capacidad de absorber dichos componentes. Como son el Eucalipto, el llantén y diente de león.

c) *Cedrón (2013)*, en su investigación “Elaboración de criterios para la transformación de pasivos mineros en activos socio - ambientales sostenibles”, para optar el grado de Magister, en la Pontificia Universidad Católica del Perú, en la ciudad de Lima; planteó el objetivo de establecer medidas óptimas en la etapa final del cierre de minas de modo que produzcan activos mineros como, producción de recursos; llegando a las conclusiones: 1) El cumplimiento de los planes de cierre minero, en cuanto a la incorporación de medidas socio-ambientales ha ido en aumento, ya que el gobierno y los pueblos han realizado medidas para que las empresas mineras cumplan con cierto rol; sin embargo, existen corporaciones que se limitan a cumplir con lo exigido en la Ley que los rige. 2) Las causas de negativas del impacto paisajístico, ambientales, sociales y salubres de las comunidades han sido generadas por el cierre de las minas en los periodos predecesores al 2003, la actual legislación minimiza dichos sucesos, además establece garantías económicas con respecto a eventualidades existentes. Por otro lado, estas exigencias sólo se dan parcialmente ya que no existe aún un cierre definitivo que no genere dichos acontecimientos. 3) La consulta realizada a los pobladores y la promoción de su participación ayudan a la disposición del futuro uso de los terrenos situados por la minería, de esta manera se minimiza los conflictos sociales y se promueve el desarrollo sostenible, ya que se quiere cambiar

el capital natural minero no renovable por un capital social sostenible. 4) Es necesario realizar lineamientos de trabajo para la rehabilitación de espacios mineros al cierre de éstos, de manera que permitan un cambio favorable, constituirse secuencialmente, inspeccionar y la gestión de largo y corto plazo. Además, debe considerarse el impacto que genera en el ecosistema, paisaje, uso del suelo, estructura y composición. 5) Es significativamente importante realizar el cierre minero, su seguimiento y evaluación temporal, de manera que se corrijan los cambios originados y garantizar su éxito

d) Nina (2008), en su investigación “Evaluación de los métodos químicos y biogénico para el tratamiento de drenaje ácido de mina a escala de laboratorio”, para optar el académico de Magíster en Ciencias Ambientales, en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, en la ciudad de Lima, planteó el objetivo de puntualizar la funcionalidad de la tecnología ambiental en el tratamiento del sistema del dren de ácidos de la mina Cerro de Pasco por el medio de la metodología biogénica y el tratamiento químico con cal, a nivel de laboratorio, clasificando el flujo de dren ácido de la mina, separando, categorizando y enumerando una serie de bacterias originarias de los pantanos de Villa, evaluando el nivel de minimización de sulfatos y metales pesados mediante el procedimiento biológico aplicando sulfuro de hidrogeno biogénico y así mismo, con el tratamiento químico aplicando cal; donde obtuvo resultados en base al método químico, se evaluó y cuantificó la cantidad permisible de cal para añadir en la ejecución de neutralización del drenaje ácido, en cuanto al método biogénico fue indispensable el reconocimiento de sustratos que después funcionarían como respaldo de energía y así garantizar el crecimiento de las bacterias sulfato-reductoras; y con ello arribó a las conclusiones: 1) La técnica usada de biogénico resultó más eficaz en cuanto al tratamiento del dren de fluidos ácidos de la mina Cerro de Pasco, lográndose así remover 99.9% de cobre y hierro, 96.67% de plomo,

99.94% de zinc, y 97.55% de sulfatos; sin embargo, el método o técnica química utilizada solo se consiguió remover un 99.99% de cobre y hierro, 96.67% de plomo, 99.92% de zinc y 70.98% de sulfatos. 2) El avenamiento ácido presente en la mina mencionada fue clasificado por el método químico, lo cual comprobó la abundancia de pirita, y por ello se consideró absolutamente ácida. 3) Se seleccionó y caracterizó un conjunto de bacterias que son desulfovibrio, sulfuromonas y desulfococcus, recaudados del pantano de Villa. 4) El método tecnológico resulto muy eficaz en cuanto al avenamiento ácido de mina, ya que se consiguió minimizar, por el método biogénico, la presencia de sulfatos hasta 125 partículas por millón y con el método químico 1370 partículas por millón.

2.1.3. Antecedentes Locales. Luego de una extensa búsqueda de tesis de maestría y doctorado relacionados al tema de cierre de depósitos de relaves, se concluye que no existe localmente estudios previos relacionados al tema de investigación presente.

2.1.4. Regulación Ambiental. En el país se tiene normas ambientales que regulan el tratamiento de los pasivos ambientales de la actividad minera:

Ley N° 28271, Ley N° 28526, decreto Ley N° 1042 que regulan la identificación de los pasivos ambientales de la actividad minera.

D.S N° 050-2005-EM, D.S N° 003-2009-EM referido al Reglamento de pasivos ambientales de la actividad minera.

Ley N° 28090, Ley N° 28234, Ley n° 28507, que regula el cierre de minas.

DS N° 033-2005, DS N° 035-2006-EM y DS N° 045-2006-EM, Reglamento de cierre de minas.

R.M. N° 224-2018-MEM/DM Actualización del inventario de pasivos ambientales mineros.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Antecedentes históricos. Cerro de Pasco es una ciudad que se ubica en promedio a 4300 metros sobre el nivel del mar, siendo una de las ciudades más altas del mundo; el escenario que le tocó vivir debido la explotación minera trajo consigo heridas que aún no se han borrado con el paso del tiempo. Su actividad comenzó a mediados del siglo XVII, siendo el escenario principal de explotación minera la zona Villa de Pasco, que tuvo como sucesor a la mina Colquijirca; ya por los años de 1630 se descubrió un importante yacimiento de plata ubicándose entre lagunas y la presencia de majestuosos cerros, que daba a pocos kilómetros del norte de la Villa de Pasco, dando así origen al asiento minero que llevó el nombre de San Esteban de Yauricocha y posteriormente modificado por el nombre de Cerro de Pasco, éste había alcanzado su auge a final del siglo XVIII de productor principal de plata a nivel de Sudamérica siendo predecesor del asiento Potosí, siendo así el productor minero más importante del Perú en el período del siglo XIX (Helfgott, 2012).

Sin embargo, nadie se imaginaría que este colapsaría frente al precio del cobre entre los siglos XIX y XX, donde hubo un cambio rotundo de la minería colonial a una explotación con métodos modernos controlado por la minería transnacional, conformado por el financiamiento de empresas mineras del país de los Estados Unidos, J.B. Haggin, J.P. Morgan, G. Hearst y la familia Vanderbilt, y llamándose como La Cerro de Pasco Corporation; la explotación de cobre trajo consigo la explotación de plomo y zinc, esta corporación tuvo el dominio de la ciudad de Cerro de Pasco y gran parte de la sierra central hasta el año 1974, en el cual fue nacionalizada por el mandato gubernamental de Juan Velasco Alvarado pasando a ser una corporación estatal llevando por nombre Centromin-Perú, siendo una vez más privatizada por partes por el año 90; la

empresa privada Volcan compró la unidad de Cerro de Pasco en los 90 y es quien la controla hasta la actualidad llamándose Cerro S.A.C. (Helfgott, 2012).

Dicha actividad minera dio origen a la Ciudad de Cerro de Pasco, ésta fue condicionada en base a su desarrollo ya que no tuvo una planificación sino más bien nació de un asiento generado por la explotación de plata, en base a ello se manifiesta que los socavones estaban combinados con las viviendas, se evadía las exigencias de seguridad provocando hundimientos y accidentes; todo ello generaría un descenso significativo en la calidad de vida de sus pobladores. Sin embargo, no sólo fue cuestión de expansión a tajo, también tuvo réplicas en la contaminación de las principales fuentes de flujo de agua y lagunas, lo que trajo consigo la contaminación de la salud de sus pobladores presenciándose en mayor parte la intoxicación crónica por acción del plomo en la sangre, además de la detección de diversos metales en la sangre como: cesio, talio, arsénico, cromo, níquel y aluminio (Helfgott, 2012).

2.2.2. Tratamiento del depósito de relaves.

2.2.2.1. Definición. Manifestación de las acciones de tratamiento conducentes a disminuir los impactos negativos producido por el depósito de relaves.

2.2.2.2. Relaves mineros. Los relaves son residuos sólidos minerales que comprenden su tamaño entre arenas y limos, originados del proceso de producción, transporte y depositados en forma de lodo. (Banco Mundial y Programa de Asistencia Técnica al Ministerio de Energía y Minas del Perú, s.f.)

Los relaves son subproductos de procesos mineros cuya composición es de roca triturada más la combinación de líquido y en ellos hay presencia de residuos químicos y componentes que dañan el medio ambiente, siendo transportada en forma pastosa (Minera Las Cenizas S.A., 2006).

Son desechos residuales de procesos mineros, como la flotación, conformados por la suspensión particulada de sólidos en combinación con agentes líquidos, generalmente dicha mezcla está compuesta del 50% de sólidos finos y el 50% de líquidos, siendo éstos dispuestos en depósitos como tanques espesados, de filtración o en pastas (Servicio Nacional de Geología y Minería, s.f.).

2.2.2.3. Depósitos de relaves. Los depósitos de relaves son obras de construcción, que comprenden la disposición para el tratamiento de manera óptima de los relaves originados por los asientos mineros, mayormente por procesos de flotación (Servicio Nacional de Geología y Minería, s.f.).

Los depósitos de relaves son obras de ingeniería que cumplen las obligaciones legales nacionales y son construidas para aislar netamente los relaves dispuestos al ecosistema circundante (Servicio de Geología y Minería, s.f.).

2.2.2.4. Clasificación del depósito de relaves. La clasificación de los depósitos de relaves está comprendida por:

- a. Depósitos superficiales; comprende los tipos de tanques de relaves constituidos con pantallas de arena de relave, embalses de relaves constituidos con pantalla de material de empréstito, los depósitos de relaves espesados, depósitos de relaves en pasta y depósito de relaves filtrados (Servicio Nacional de Geología y Minería, s.f.).
- b. Depósitos subterráneos; comprende los tipos de depósitos ubicados en minas subterráneas de operación y abandonadas, depósitos de excavaciones abiertas (Servicio Nacional de Geología y Minería, s.f.).

El Servicio Nacional de Geología y Mina establece una serie de tipos de depósitos de relaves, que varía de acuerdo a la capacidad de agua y material sólido que almacene. A continuación, se detallan los tipos:

2.2.2.4.1. Tanque de relave. Es este tipo de depósito es primordial la construcción de una pantalla compactada que opere por separados los sólidos gruesos de los más finos, por medio del flujo de agua.

2.2.2.4.2. Embalse de relave. En este tipo de depósitos prima la construcción de un muro de contención con material de empréstito, compuesto de un núcleo impermeabilizado.

2.2.2.5. Características de los relaves.

2.2.2.5.1. Origen y producción de los relaves de residuos. El origen de los residuos mineros son fruto del proceso de concentración del mineral extraído del yacimiento, siendo chancado y molido a micrones, para después agregarle agua y formar una composición de pulpa, consecuentemente se realiza la etapa de flotación en tanques agitados de los cuales se extrae el concentrado de las partículas valiosas siendo embarcado para su refinación; mientras que las partículas desechadas restantes conforman parte de los relaves, siendo trasladados mediante bombeo para su respectivo almacenamiento. (Banco Mundial y Programa de Asistencia Técnica al Ministerio de Energía y Minas del Perú, s.f.)

2.2.2.5.2. Tipos de relaves. Los tipos de residuos que podemos encontrar son:

- a. Residuos provenientes de pilas de lixiviación; son generados por la extracción de mineral que siendo chancados se le añade soluciones químicas mediante procesos de irrigación o infiltración. (Banco Mundial y Programa de Asistencia Técnica al Ministerio de Energía y Minas del Perú, s.f.)

b. Relaves de cianuración con aglomeración y peletización; son generados a causa del retratamiento del relave rico en oro, siendo degradados es estado semi seco, comprende el tamaño de uno a dos centímetros. (Banco Mundial y Programa de Asistencia Técnica al Ministerio de Energía y Minas del Perú, s.f.)

2.2.2.5.3. *Características químicas.* Las características químicas de los relaves varían según el tipo de yacimiento de donde provengan, cabe mencionar que los depósitos de relaves con diferente geoquímica ocasionan modificaciones en las características químicas de éstos; de los cuales se indica los más comunes:

- a. Relaves sólidos; se refiere al efecto que produce la diferencia de la gravedad específica de las partículas minerales de metales individuales, en la distribución de éstos; este efecto genera muchas veces la sobre molienda, y en consecuencia genera concentración de metales pesados en las partículas de los relaves.
- b. Efluentes líquidos de flotación; contienen partículas sólidas muy finas en suspensión, que muchas veces son descargados debido a la retención por limitación de tiempo y sedimentación en pequeños depósitos; los reactivos que son utilizados en la flotación van conjuntamente con los relaves, siendo éstos la cal, xanatos, sulfitos, ditiofosfatos, cromatos, sulfato de cobre, ácidos grasos, aceites, sulfato de zinc, alcoholes, cianuro, etc., siendo éstos tóxicos para la vida humana y acuática.
- c. Drenaje ácido de relaves; éstos afectan globalmente a los residuos del proceso minero, agua de mina y botaderos, con la presencia de éstos se reduce el nivel del pH del agua, lo que genera disolución y luego transporte de metales tóxicos disueltos, además del aumento de la presencia de sulfatos; el drenaje de ácidos en los relaves es condicionado por la presencia de

pirita, pirrotita y la marcasita, con acción del aire los minerales sulfurados se oxidan y a la vez condicionados por bacterias, consecuentemente produce ácido sulfúrico.

2.2.2.6. Métodos de construcción de los depósitos de relaves (tanques).

2.2.2.6.1. Método aguas arriba. Este método se inicia con la construcción de un muro con material de empréstito siendo compactado y sobre éste se realiza la deposición de los relaves mineros, para este proceso se utiliza clasificadores llamados hidrociclones el cual hace que las partículas más gruesas se depositen en la base del muro inicial y que las partículas más finas se depositen hacia el centro del tranque, formándose una playa conformada por la sedimentación de las partículas más gruesas de lamas y consecuentemente el agua escurre sobre éstas formando un pozo sedimentario; cuando el depósito se ha llenado se levanta el muro trasladando los hidrociclones, repitiendo su proceso de deposición. (Ramírez Morandé, 2007).

2.2.2.6.2. Método aguas abajo. Sigue la misma metodología del método anterior, desde el compactado que se va realizando el vaciado de la arena cicloneada en dirección del talud aguas abajo del muro compactado de manera que las lamas quedan depositadas en el talud aguas arriba, cuando el muro alcance una altura promedio de cuatro metros se realiza el levantamiento del muro siguiendo el mismo procedimiento. (Ramírez Morandé, 2007).

2.2.2.6.3. Método eje central. Tiene la misma secuencia constructiva que los métodos anteriores, cuando se depositan las arenas cicloneadas estas irán en dirección aguas debajo de modo que las lamas queden depositadas al lado de aguas arriba, completado este proceso se procede al levantamiento del alineamiento de arenas y lamas en la misma dirección del plano vertical inicial, cuyo producto es un muro de arenas que comprende un talud aguas arriba casi vertical permitiendo que el talud aguas abajo tenga la inclinación que se considere en el diseño. (Ramírez Morandé, 2007)

2.2.2.7. *Los pasivos ambientales mineros.* Los pasivos ambientales están conformados por diferentes componentes originados por la explotación minera siendo éstos los montajes, avenamientos, expulsión, residuos, etc., que siendo abandonados o inactivos generan un impacto significativamente negativo para el medio ambiente, la salubridad humana y a la propiedad. (Red Muqui, 2015)

El Ministerio de Energía y Minas contempla tres clases de Pasivos Ambientales Mineros: De labor minera, comprende los subtipos de bocaminas, chimeneas, piques, tajeo, comunicaciones, trincheras y tajos abiertos; de residuo minero que comprende los subtipos de relaves, desmontes de mina y botaderos de lixiviación; y finalmente de infraestructura que señala los subtipos de campamentos, oficinas, talleres, plantas de procesamiento y otras instalaciones relacionadas con el plan minero (Red Muqui, 2015).

2.2.2.8. *Problemática de los pasivos ambientales mineros.* Según Worrall et al., citado por Arango y Olaya (2012), la minería abandonada deja consigo efectos negativos en el ambiente, sociedad y economía de éstos. Los efectos generados por las minas abandonadas recaen generalmente en el aspecto paisajístico, las pilas de residuos, combustión de los residuos originados del carbón, contaminación del agua, bienes y montajes abandonados, destrucción de la cobertura vegetal, pozos contaminados. Cabe recalcar que la contaminación de éstas se ve presente en las fuentes de agua superficiales y subterráneas, en los suelos contaminados por efecto de la filtración de agentes ácidos, lavado de metales, la adición de sedimentos y contaminación por hidrocarburos; por origen de esta contaminación es irremediable la subsistencia del ecosistema nativa resultando inhóspito para la subsistencia de especies aborígenes.

El impacto social y económico está netamente vinculado con el impacto ambiental que generan los pasivos ambientales, debido a que se originan a partir de la contaminación de los bienes básicos y necesarios para la subsistencia económica del hombre como el agua y suelo productivo, la pérdida irremediable de suelos altamente productivos por acción de la erosión, inadecuado manejo de drenaje o contaminación directa sobre éste. (Arango & Olaya, 2012)

2.2.2.9.1. Riesgos de los pasivos ambientales mineros. El riesgo que conllevan los Pasivos Ambientales Mineros es inminente a tal grado que afecta potencialmente al medio ambiente, ecosistema, la salud humana y a la propiedad de bienes y servicios ambientales.

Dentro de ellos se puede señalar que existe la contaminación de:

- a. Contaminación de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas; estos son perturbados por la adición de tóxicos presentes en los desechos mineros, que desde su liberación de sus diferentes instalaciones mineras contaminan dichas fuentes. La principal causa de la contaminación de aguas superficiales y subterráneas es debido a la infiltración y el escurrimiento de las descargas directas de aguas de minas; sin embargo, también afectan la descarga superficial de sedimentos, la reducción del pH, el asolamiento del ecosistema hídrico y más aún la contaminación del agua potable (Red Muqui, 2015).
- b. Envilecimiento de la calidad de los suelos; sufren impactos por la contaminación de los agentes contaminantes de los Pasivos Ambientales Mineros, que son transportados por medio del viento y el flujo del agua, generado por la destrucción de la cobertura vegetal que servía como capa protectora natural. Además, está presente la inadecuada disposición de desmontes mineros, relaves, pilas de lixiviación entre otros residuos mineros (Red Muqui, 2015).
- c. Contaminación del aire; se origina por el arrastre del efecto del viento de materiales particulados presentes en los depósitos de relaves, desmontes y pilas de lixiviación, que

contaminan el suelo y propenso a generar ingesta por inhalación o contacto físico a las personas y animales (Red Muqui, 2015).

- d. Efecto en la salud humana; se originan por el uso de aguas superficiales y subterráneas, así como el consumo del agua potable, estando están contaminados por los Pasivos Ambientales Mineros; siendo severamente riesgoso debido a la afectación de la cadena alimenticia, que muy probablemente pudieran generar ingestión por consumo o contacto físico (Red Muqui, 2015).
- e. Decadencia de bienes y funciones ambientales; está asimilado por la pérdida de bosques, ecosistemas, suelos o fuentes de agua, debido a la presencia o afectación de los Pasivos Ambientales Mineros (Red Muqui, 2015).

2.2.2.10. Manejo de relaves. El manejo de los relaves es de gran responsabilidad y recae en los administrativos, ellos tiene la obligación de prever las mejores condiciones de modo que la generación de sus relaves sean controlados de manera óptima, para ello se deben tomar medidas preventivas tales como: No disponer los relaves en fuentes de agua superficiales y subterráneas, no construir tanques o presas de relaves aguas arriba, hacer uso de materiales impermeables para controlar las filtraciones de la zona de presas y sus depósitos de relaves, se debe controlar el agua que escurre y las filtraciones de los depósitos de relaves, se debe controlar el decantado de los depósitos de relaves y derrames globales de limpieza de los depósitos de relaves. (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2016)

2.2.2.10.1. Objetivo del manejo de relaves. El objetivo del manejo de los relaves está dado por las metas que se quiere alcanzar, éstas a su vez pueden ser obstaculizadas en su realización conjunta. Siendo los objetivos la seguridad de la estabilización física de los depósitos en las fases de ejecución, cierre y el periodo de post-cierre, garantizar la seguridad de la

población contra ocurrencias de fallas de depósitos, minimizar la emisión de material particulado a través del aire y la contaminación de flujos superficiales y subterráneos. (Banco Mundial y Programa de Asistencia Técnica al Ministerio de Energía y Minas del Perú, s.f.)

2.2.2.11. Plan de monitoreo de los depósitos de relaves. El control o monitoreo de los depósitos de relave se lleva a cabo mediante el sistema del piezómetro, que consiste en controlar el nivel del agua al interior del muro, además existen métodos de control como el acelerógrafo, visión artificial, inclinómetro, estudio de imágenes satelitales, entre otros, los cuales dan a conocer el estado de la estabilidad química y física de éstos. (Servicio de Geología y Minería, s.f.).

2.2.2.11.1. Plan de cierre técnico de los relaves. El cierre de los depósitos de relaves debe estar incluidos en el plan de cierre de la mina, de modo que se garantice la estabilidad de la comunidad, salud y medio ambiente.

Esta fase se inicia al culminar la operación de la concentradora y al término de las descargas de los relaves; se debe plantear la construcción de estructuras que ayuden a controlar, monitorear y asegurar la estabilidad fisicoquímico de éstos, estas medidas tomadas pueden ser zanjas, conductos de derivación de agua, rehabilitación con tierra de cultivo, etc.; cuando exista documentación financiera de respaldo al cumplimiento exitoso de la fase de cierre, éste coincidirá con el fin de la fase para su devolución de dichos documentos. (Banco Mundial y Programa de Asistencia Técnica al Ministerio de Energía y Minas del Perú, s.f.)

Después de ellos continúa con la etapa de post cierre, que se da con el abandono a consecuencia del cierre exitoso del medio comprendido en sus características físicas y químicas del depósito de relave. (Banco Mundial y Programa de Asistencia Técnica al Ministerio de Energía y Minas del Perú, s.f.).

2.2.3. Remediación Ambiental.

2.2.3.1. Definición. La remediación ambiental es la aplicación de una serie de tareas con la finalidad de dar cumplimiento en base a los lineamientos ambientales específicos y así obtener la realización de los objetivos sociales planificados después de la fase de caracterización y aprobación del plan de cierre de Pasivos Ambientales Mineros (Chipoco Villalva, s.f.)

2.2.3.2. Impacto ambiental. El impacto ambiental es el resultado de la actividad humana que se ejerce sobre el medio ambiente en sus diferentes espacios, de estas actividades, la minería es la que causa mayor cambio en el medio ambiente, generando la destrucción de la cobertura vegetal, la extinción de la biodiversidad de las zonas en donde se ejecutan los asientos mineros, gran cambio en los ecosistemas, etc.; siendo este un efecto adverso ya que este cambio altera sus condiciones iniciales en conjunto perturbando la flora y fauna, el estado fisiográfico y paisajístico y en su gran medida afecta a la salud humana. (Oyarzun, Higuera, & Lillo, 2011)

2.2.3.2.1. Impacto a mediano y extenso intervalo de tiempo. El impacto generado a largo plazo está basado en la recuperación difícil que tenga un medio ambiente, por ejemplo, es imposible la recuperación inmediata de la contaminación de una cuenca hidrográfica por metales pesados; el impacto a largo plazo también está basado en las causas de los contaminantes sobre medios ambientales es este caso tomaremos como ejemplo al aislamiento de escombros y revegetar los medios donde influyó ambientalmente de manera que sea reversible (Oyarzun, Higuera, & Lillo, 2011).

2.2.3.2.2. Impacto reversible o irreversible. Este apartado está vinculado al anterior; como ejemplo señalamos el caso de la mina Faro que aproximadamente tiene 500 años de monitoreo, siendo algo que rebasa la escala humana, esto manifiesta que algunos casos de impacto ambiental son tomados como irreversibles; y los reversibles son considerados a aquellos

impactos ambientales que no superen su remediación a más de dos generaciones (Oyarzun, Higuera, & Lillo, 2011).

2.2.3.2.3. Impacto local o externo. Son la delimitación del espacio abarcado por el efecto de la contaminación, el impacto local está comprendido por todas aquellas actividades mineras que generen perturbaciones a espacios aledaños, por ejemplo el botadero; sin embargo, aquello puede convertirse en un impacto extremo, a consecuencia de la mineralización sulfurada que empieza a lixiviarse generando avenamientos ácidos pudiendo llegar a flujos de agua superficiales o subterráneas de manera que se extiendan a espacios geográficos extensos, de la misma forma sucede con la expulsión de gases por las chimeneas de fundición transportados por los vientos a distintos espacios geográficos (Oyarzun, Higuera, & Lillo, 2011).

2.2.3.3. El suelo y la contaminación. Las actividades mineras impactan el suelo de forma química y de forma física, con respecto a la primera se genera por la devastación del suelo que se da mediante la excavación, aplastado y compacta de los abundantes residuos mineros; también se pueden generar por medio de la construcción de obras de ingeniería tales como plantas de tratamiento, edificaciones destinadas a oficinas y un camino para el transporte de maquinaria. En cambio, la contaminación química se da por medio de la liberación ácida de la oxidación de sulfuros generando soluciones químicas que son filtradas al suelo; sin embargo, la contaminación de este último es muy peligrosa, ya que es muy poco probable su remediación.

El impacto químico que se genera en el suelo inicialmente es producto de la oxidación y lixiviación de los metales por medio de los sulfuros presentes en los relaves, escombreras o balsas; el grado de oxidación y lixiviación dependerá de tres factores:

- a. La proporción de la pirita y otros sulfuros; se presenta en las escombreras y balsas de relaves cuando hay el aumento excesivo de estos elementos existirá una sobreproducción de ácido y lixiviación de metales.
- b. El tipo de roca; de acuerdo a los tipos de rocas y con la presencia de componentes reactivos al ácido, la solución puede neutralizarse proporcionalmente de manera que se minimice el proceso de lixiviación.
- c. El clima; en los climas cálidos el proceso de reacción es rápida, mientras que en los climas fríos este proceso es lento, además las lluvias generan mayor acidez y transporte de metales. Sin embargo, el clima lluvioso genera mayor solución que desciende hacia los suelos que la soportan. (Oyarzun, Higuera, & Lillo, 2011).

2.2.3.4. *El impacto en el agua.* La contaminación del agua a consecuencia de los residuos mineros no sólo se da en el lugar donde éstos son recibidos, sino también pueden llegar a expandirse por medio de los flujos superficiales y subterráneos; en ocasiones donde existe una singular combinación topográfica, montañas con llanuras de inundaciones y sumado el efecto de los fenómenos catastróficos, se corre el riesgo de la remoción de acopios por la fuerza del agua y el rebose de las balsas de tanques de relave. (Oyarzun, Higuera, & Lillo, 2011)

El impacto que genera la actividad minera suele ser gradual y tanto directo como indirecto, puede generar descensos del nivel en su etapa inicial hasta la variación de recarga de los acuíferos, etc. En mención a esto se señala que las alteraciones de las condiciones hidráulicas están vinculadas a las variaciones en los gradientes energéticos del agua y estará dado por:

- a. Construcción de barreras; ésta comprende la construcción de diques, presas, botaderos, etc., y la modificación de las propiedades hidráulicas de los materiales como la compactación, cementación, etc., que generan un obstáculo en la circulación del agua.

- b. La alteración de los perfiles en base al flujo del agua; son generados por el desvío del flujo del agua por la construcción de embalsamientos y excavaciones.
- c. La ejecución de conductos y hoyos; es la conformación de poros y huecos que beneficien el flujo del agua.
- d. La modificación del volumen de reservas; es generado por la extracción o acumulación.

2.2.3.5. *Métodos de remediación.* Los métodos de remediación ambiental tienen por función la aplicación de las acciones o técnicas en espacios geográficos altamente contaminados a causa de la actividad humana, hasta llegar a su remediación o condiciones originales. (Activos Mineros S.A.C., s.f.)

2.2.3.6. *Fitoestabilización de depósitos de relaves.* Al finalizar el ciclo de vida de los depósitos de relaves se sigue con la etapa de post operativa, que consiste en el monitoreo mediante obras que establezcan dichos depósitos tanto químicamente como físicamente; para este efecto países extranjeros vienen usando desde hace décadas cubiertas vegetales con el fin de controlar el proceso de erosión de los depósitos de relaves, sin embargo, la subsistencia de especies vegetales para este proceso es muy dificultoso ya que los relaves mineros no son óptimos para establecer la cubierta vegetal, de los cuales se puede señalar las características siguientes (Facultad de Ciencias Forestal y Conservación de la Naturaleza, 2009):

- a. Fertilidad física: Se debe a que los relaves generalmente poseen tamaños de sus partículas que oscilan entre 2 μm a 2 mm, es por ello que presenta problemas de un pésimo drenaje y mala aireación, sin menospreciar su alta compactación.
- b. Fertilidad química: Se presenta el problema debido a la falta de micronutrientes primordiales como el nitrógeno y el fósforo y en contraposición a la presencia de toxicidad de metales y a veces a la presencia de acidez y alcalinidad en los relaves.

c. Fertilidad biológica: El problema que presenta se centra en la carencia del componente microbiota, que es el que se encarga del proceso de la materia orgánica y de los nutrientes presentes en la biomasa vegetal y animal muerta.

2.2.3.6.1. La fitoestabilización éxito de empresas mineras. Este sistema se implantó entre los años 70 y 80, con el objetivo de controlar la erosión eólica e hídrica de los depósitos de relaves, desecar rápidamente los relaves y mejorar la calidad paisajística de los lugares impactados por los relaves; a manera de introducción experimental se ejecutaron la plantación de especies forestales, consistió en plantar árboles y arbustos en los espacios de depósitos de relaves que antes fueron acondicionados mediante un mejoramiento de fertilidad química (correcciones del pH), los cuales fueron ejecutados en los tranques El Cobre 1, 2 y 3 que conformaba la División El Soldado de Anglo American Chile y el tranque Cauquenes de la División El Teniente de CODELCO Chile, que después fueron base de aplicación para forestación de diversos depósitos de relaves como en el montaje Manuel Antonio Matta Ruiz de ENAMI (Región de Atacama; Olaeta, 2004), en la Cía. Minera y Comercial Sali Hochschild (Región de Atacama; Santana, 2000) (Facultad de Ciencias Forestal y Conservación de la Naturaleza, 2009).

2.2.3.6.2. La fitoestabilización de los depósitos de relaves en el post operativos. Según Méndez y Maier, 2008; Ginocchio y León-Lobos, 2009; Tordoff et al., 2000 citados por la Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza (Facultad de Ciencias Forestal y Conservación de la Naturaleza, 2009), la fitoestabilización consiste en la utilización de diversas plantas que asimilen concentraciones de metales llamadas metalófitas excluyentes, de modo que se obtenga la estabilidad física, química y biológica de los relaves; quienes plantean lineamientos para la fitoestabilización de los depósitos de relaves en la etapa post – operativos siendo éstos:

- a. Minimizar la biodisponibilidad de los metales presentes, que es una característica que poseen las raíces de las plantas (rizósfera), quienes absorben los metales presentes en los relaves conjuntamente con los acondicionadores de sustrato instituidos, de manera que los metales sean acumulados aislando el peligro de los efectos tóxicos para los seres vivos, además funcionan como lavado de componentes tóxicos de las napas freáticas.
- b. Se controla la propagación eólica e hídrica de los relaves a zonas aledañas ya que por medio de la plantación se minimiza el grado de erosión obteniendo así una estabilidad física.
- c. Se garantiza la subsistencia del ecosistema instaurado artificialmente, por medio del proceso de microbiota y la mitigación de los factores físicos, esto asegura el óptimo desarrollo de las plantas constituidas a corto y largo plazo.

2.2.3.6.3. *Geomembranas como barreras en depósitos de relave.* La legislación desarrollada en Perú, vinculada al uso de geomembranas, se caracteriza por presentar a las geomembranas como medio no permeable de carácter preventivo y de mitigación de filtraciones. Esta legislación señala el uso de los mismos en componentes de la actividad minera que potencien el contacto entre suelo generador de drenaje ácido y sustancias líquidas. Esta técnica ha resultado exitosa en minas donde se aplicaron, como en el depósito de relaves de las minas de Huarón, Atacocha, Casapalca, Recuperada. Esta técnica consiste en colocar la geomembrana sobre los relaves una vez niveladas y compactadas y que actuará como barrera impermeable para evitar la infiltración de agua hacia los relaves y evitando la generación de agua ácida. Las capas siguientes estarán conformadas por cascajo o material calcáreo granulado seguido de tierra orgánica y los vegetales a implantar, preferentemente pastos o arbustos nativos.

2.3. Definición de términos básicos

- **Abandono.** Es la etapa de la actividad minera en la cual se minimiza la producción, se ejecuta el plan de cierre de la mina, se desaloja los equipos utilizados, se realiza la disposición de los desechos, se realiza el cierre minero y la remediación ambiental, así como las actividades para su monitoreo. (Ministerio de Minas y Energía, 2003)
- **Minerales.** Son aquellas sustancias homogéneas que se originan naturalmente, que poseen propiedades químicas y físicas definidas, además éstas pueden presentar forma cristalina bien definida. (Southern Corpper, s.f.)
- **Relaves.** Son los materiales de desechos provenientes de la molienda y flotación luego de la recepción de los minerales valiosos, éstos algunas veces pueden adquirir valor económico debido a la mejora tecnológica que se les da. (Southern Corpper, s.f.)
- **Flotación.** Es un proceso de concentración que por medio de agitaciones las partículas minerales valiosas son adheridas a burbujas creadas por un agente espumante, que finalmente las hace flotar. (Ministerio de Minas y Energía, 2003).
- **Residuos.** Producto generado por las operaciones mineras pudiendo ser desmontes, escombros, colas, desechos, escorias, etc., (Ministerio de Minas y Energía, 2003).
- **Drenaje ácido o avenamiento.** Son considerados a aquellas aguas que presentan un pH bajo, que tienen una composición de sulfatos, siendo un producto de la oxidación e hidrólisis de los minerales de sulfuros. (Ministerio de Minas y Energía, 2003).
- **Biodisponibilidad.** Es la capacidad de la incorporación de sustancias tóxicas en los seres vivos, por medio de procesos de ingesta, absorción o inhalación, y están en base a las delimitaciones fisiológicas del receptor y las características químicas del xenobiótico. (Ministerio del Ambiente, s.f.).

- **Lixiviación.** Es un proceso de separación de componentes químicos extraídos de materiales naturales como las rocas, suelo, etc., que se realiza mediante su disolución en agua y se moviliza por acción de la gravedad por medios porosos. (Ministerio de Minas y Energía, 2003).
- **Ecosistema acuático.** Son los ambientes con cuerpo de agua y presencia de vida, pudiendo ser lagunas, ríos, arroyos, etc. (Ministerio del Ambiente, s.f.).
- **Ecosistema.** Es un espacio donde poblaciones vegetales, animales y microorganismos interactúan con su medio no viviente formando así una unidad funcional. (Ministerio del Ambiente, s.f.).

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general. La propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco favorece significativamente en su remediación ambiental basada en experiencias exitosas en empresas mineras.

2.4.2. Hipótesis específicas.

- a. La mala disposición de relaves en Quiulacocha-Pasco produce efectos significativos en el medio ambiente.
- b. El depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco está impactando significativamente en el medio acuático, suelos y poblaciones aledañas.
- c. El manejo de los relaves produce efectos significativos en el tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco.

2.5. Identificación de variables.

Las variables identificadas para el desarrollo de la presente tesis son.

2.5.1. Variable independiente.

- La variable independiente del presente proyecto de investigación está identificada por:

Propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco.

2.5.1.1. Definición operacional. El relave es una mezcla que se genera en la operación de la molienda del mineral y secuencialmente en el proceso de flotación, en este proceso los minerales molidos son combinados con agua y con compuestos químicos, del cual es extraído el mineral valioso desechando el resto que vendría a ser el relave, éste es transportado mediante canales o cañerías hasta ser depositados en los lugares designados en depósitos de relaves, para darle un tratamiento respectivo.

2.5.2. Variable dependiente.

- La variable dependiente del presente proyecto de investigación está identificada por:

Remediación ambiental basada en experiencias exitosas en empresas mineras.

2.5.2.1. Definición operacional. Al finalizar la actividad minera, consecuentemente se da el cierre de éstos y el cierre de los depósitos de relaves, para ello se ha debido considerar con anterioridad su estabilidad de la obra en el tiempo. No obstante, para que éstos puedan volver a su estado natural es necesario aplicar métodos de remediación ambiental, por ejemplo; la fitorremediación o fitoestabilización, este método consiste en realizar la forestación con diversas especies de plantas, dichas plantas deben de ser capaces de subsistir en los medios implantados y ser capaces de absorber los metales presentes en dicho depósito. Otro método será el de encapsular los relaves con geomembranas y cubierta vegetal de pastos y plantas nativas del lugar, técnica utilizada con éxito en algunas empresas mineras con similitud al caso de Quiulacocha.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 01

Operacionalización de variables.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente Propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacochoa-Pasco.	Manifestación de las acciones de tratamiento conducentes a disminuir los impactos negativos producido por el depósito de relaves.	El relave es una mezcla que se genera en la operación de la molienda del mineral y secuencialmente en el proceso de flotación, en este proceso los minerales molidos son combinados con agua y con compuestos químicos, del cual es extraído el mineral valioso desechando el resto que vendría a ser el relave, este es transportado mediante canales o cañerías hasta ser depositados en los lugares designados depósitos de relaves, para darle un tratamiento respectivo	Depósito de relaves	Relaves sólidos
				Residuos de pilas de lixiviación
				Escorias
				Relaves de lavado
				Relaves tipo jig
			Disposición de los relaves	Relaves de cianuración
				Disposición sub área
				Descarga Espesada
			Pasivos ambientales Mineros	Relaves Deshidratados
				Manejo de los relaves
Plan de Monitoreo de los Depósitos de Relaves	Plan de cierre técnico de los relaves			
	Criterios Generales			
	Piezometría			
				Calidad de Filtraciones
				Deformación del Depósito de Relaves

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores		
Variable Dependiente Remediación ambiental basada en experiencias exitosas en empresas mineras.	La remediación ambiental es la aplicación de una serie de tareas con la finalidad de dar cumplimiento en base a los lineamientos ambientales específicos y así obtener la realización de los objetivos sociales planificados después de la fase de caracterización y aprobación del plan de cierre de Pasivos Ambientales Mineros. (30)	Al finalizar la actividad minera, consecuentemente se da el cierre de éstos y el cierre de los depósitos de relaves, para ello se ha debido considerar con anterioridad su estabilidad de la obra en el tiempo. No obstante, para que estos puedan volver a su estado natural es necesario aplicar métodos de remediación ambiental, por ejemplo; la fitorremediación o fitoestabilización, este método consiste en realizar la forestación con diversas especies de plantas, capaces de subsistir en los medios implantados y ser capaces de absorber los metales presentes en dicho depósito. Otro método será el encapsular los relaves con geotextiles y cubierta vegetal con pastos y plantas nativas del lugar.	Impacto ambiental	Impacto directo o indirecto		
				Impacto a mediano y extenso intervalo de tiempo		
				Impacto reversible o irreversible		
				Impacto local o externo		
			Actividad minera	Proceso de ejecución minera	Agentes afectados	Impacto evitable o inevitable
						Atmósfera
			Suelo			
			Agua			

Fuente. Elaboración propia (2018)

Capítulo 3

Metodología y técnicas de investigación

3.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada, ya que el resultado que se vaya a obtener podrá ser aplicado por las entidades interesadas que tomen como base la presente investigación.

La investigación de tipo aplicada tiene sus fundamentos en la aplicación del conocimiento adquirido y de los resultados de la investigación básica, además tiene una cierta dependencia, debido a que ésta se desarrollará en base al desarrollo de la investigación pura; este tipo de investigación compara la teoría con la realidad con el fin de aplicarlo de inmediato sin tomar en cuenta el desarrollo de las teorías (Behar, 2008).

3.2. Nivel de investigación.

El nivel de investigación es descriptivo – explicativo. El primero hace referencia a la proposición del tratamiento de los depósitos de relaves para su remediación ambiental, mediante una serie de preguntas que nos servirán para llegar a este propósito. Y con el segundo nivel se realiza la explicación del efecto que producirá plantear un tratamiento de los depósitos en su respectiva remediación ambiental.

El nivel de investigación tipo descriptivo se basa en especificar las características y las cualidades de los sujetos, grupos, objetos, fenómenos, etc., siendo posible aplicarlos un respectivo análisis; con la finalidad de recaudar información o datos de forma separada o conjunta con respecto a las variables de estudio (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

El nivel explicativo está netamente centrado en explicar la causalidad de los fenómenos sociales, físicos, etc., así como trata de explicar por qué o cómo se da la relación de dos variables de estudio o más. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014)

3.3. Método de investigación

3.3.1. Método general. En la investigación se ha empleado el método científico. Según Cerda (2000), citado por Niño (2011), manifestó que hay la necesidad de utilizar algún sistema que siga una secuencia ordenada para orientarnos al conocimiento.

Este método es de sistema lógico con el fin de centrar una solución a un problema, de manera que se pueda demostrar su veracidad, por medio de la utilización de técnicas e instrumentos válidos (Niño, 2011).

3.3.2. Métodos específicos.

3.3.2.1. Método histórico. Este método permite a recopilar la información y datos cronológicos sobre la disposición de los relaves en el depósito de Quiulacocha, ya que éste tiene aproximadamente un siglo de operación.

Este método depende de los sucesos ocurridos en el tiempo, es utilizado para conocer la evolución y el desarrollo del fenómeno que se va a investigar, siendo por ello necesariamente conocer su historia, las etapas primordiales de su desarrollo y el vínculo histórico fundamental (Ramos, 2008)

3.3.2.2. Método analítico. Este método fue empleado para analizar cada una de las variables por separado y así llegar a saber la influencia que tiene una sobre la otra. Mediante este método se realiza la caracterización de los elementos separadamente y se revisa ordenadamente cada uno de éstos, ya que esta metodología realiza la extracción de un todo en partes con el objeto de estudiarlas por separado y para ver su relación entre ellas (Ramos, 2008)

3.3.2.3. Método inductivo. Con el uso de este método se podrá realizar la propuesta de tratamiento para su remediación ambiental de Quiulacocha, que estará basado en experiencias exitosas de empresas mineras.

Este método aplica una evaluación partiendo del análisis de hechos particulares pretendiendo llegar a una respuesta o conclusión, es semejante al método analítico. (Maya, 2014)

3.4. Diseño de investigación

La investigación empleó un diseño no – experimental, porque el fin de la investigación es aterrizar en una propuesta de tratamiento del depósito Quiulacocha, para su remediación ambiental en base a experiencias exitosas de empresas mineras.

En el diseño de investigación no – experimental, se torna en el análisis de los fenómenos o acontecimientos en base a su contexto natural, ya que no es posible la manipulación de la variable independiente frente a las otras, ni influir en ellas, a causa que ya se dieron sus efectos (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población. La población de la presente investigación comprendió al depósito de relaves Quiulacocha. Por otra parte, también se considera a la población del Centro Poblado de Quiulacocha.

3.5.2. Muestra. La muestra de la investigación estuvo conformada por los elementos físicos involucrados en el depósito de relaves de Quiulacocha Pasco, como elementos metálicos, concentración de sulfatos en el depósito, PH de las aguas ácidas del depósito y río san Juan, así como muestras de plantas metalogénicas. Para el Centro Poblado de Quiulacocha se ha determinado una muestra de 20 personas, correspondientes a los jefes de hogar para el diagnóstico social.

3.5.3. Muestreo. El muestreo de la investigación se realizó por la técnica no probabilística, muestreo por conveniencia, ya que se usó la muestra que convenga para el

estudio. En este tipo de muestreos se usa una muestra que más convenga para la investigación (Niño, 2011).

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas. La técnica de recolección de datos sigue un procedimiento específico, de manera que va recaudando los datos o la información que se requiere para el estudio (Niño, 2011).

Las técnicas que se usarán serán las de:

- a. Fichaje: Mediante esta técnica se realizará la revisión de la bibliografía de documentos como análisis de reportes estadísticos, estudios preliminares del cierre de depósitos de relaves, revisión de la normativa competente, guía de análisis documental, etc.
- b. Encuesta: Con esta técnica se aplicará la formulación de preguntas en base a las variables de estudio.

3.6.2. Instrumentos. Los instrumentos empleados en la recolección de datos para la investigación fueron.

- a. Ficha bibliográfica: Este instrumento ha permitido realizar la recolección de información de textos, sitios webs, normas, leyes, etc.
- b. Cuestionario de encuesta: es el instrumento mediante el cual se aplica las preguntas formuladas en la encuesta.

Los instrumentos están compuestos por fichas, y formatos de cuestionario.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Previo al procesamiento de datos, hay la necesidad de realizar una selección de base de datos, por ello se ha empleado el software MS Excel 2016.

Consecuentemente para el procesamiento de datos se aplicó el método estadístico, haciendo uso del programa estadístico IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 25, mediante este software se obtiene la captura y análisis de los datos con la finalidad de crear tablas y figuras.

3.8. Tratamiento estadístico

La investigación utilizará los principios básicos de la estadística descriptiva.

3.9. Selección y validación de los instrumentos de investigación

El instrumento básico estuvo compuesto por un cuestionario el cual fue aplicado a la muestra de la población de Quiulacocha. Este instrumento se valida en función a que los constructos están mejor definidos y los conceptos a medir no son provisionales ni vagos y reduce el error a la hora de emitir juicios de valor para la toma de decisiones. Además, las bibliografías recogidas garantizaron que la información acopiada resulta ser importante para la investigación.

SEGUNDA PARTE: DEL TRABAJO DE CAMPO O PRÁCTICO

Capítulo 4

Resultados de la investigación.

4.1. Descripción del trabajo de campo

El desarrollo del trabajo de campo consistió en realizar visitas a la zona de impacto para tomar muestras, asimismo se aplicó los cuestionarios a la población de la zona y posteriormente se realizó las mediciones topográficas para el desarrollo de la propuesta de cierre de manera que no tenga efectos negativos.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Los resultados de la investigación corresponden a las mediciones realizadas en campo y análisis químicos obtenidos de fuentes confiables.

4.2.1. Diagnóstico del depósito de relave de Quiulacocha.

Ubicación. El depósito de relaves de Quiulacocha se ubica en las estribaciones occidentales de la cordillera central del Perú, a 5 Km al nor-oeste de la ciudad de Cerro de Pasco, entre los Centros Poblados de Quiulacocha, y Champamarca, distrito de Simón Bolívar, provincia de Pasco, Región Pasco, a 314 Km de Lima y a 129 km de la ciudad de la Oroya, a través de la carretera central toda asfaltada, a 5 km de la ciudad de Cerro de Pasco y a 4266 msnm. Latitud 8 820 000 N y Longitud 362 000 E.

Hidrografía, Fisiografía y Climatología. Según estudios y de acuerdo a la clasificación de Leslie Holdridge, la sub cuenca de Quiulacocha se ha identificado como una zona de vida Tundra Pluvial- Alpino Tropical, la biotemperatura media anual es de 3.0 °C. El promedio máximo de precipitación anual es de 910 mm y el mínimo de 688 mm. El clima de la zona es frío

y seco (baja humedad relativa del aire) que corresponde a la región puna y presencia estacional entre octubre y marzo de grandes precipitaciones de lluvia. La altitud y atmósfera seca determinan una evaporación media multianual de 1100 mm/año y el promedio mensual de humedad relativa es de 74%.

El área de la cuenca se estima en 13.9 Km².



Figura 01. Laguna de Quiulacocha.

Fuente. Wade C. et al. 2006 (LABOR, centro de cultura popular, 2009)

Condiciones actuales del área de estudio.

Ambiente Físico.- El área de estudio comprende los siguientes rasgos fisiográficos:

- **Cadena montañosa.** Caracterizada por prominentes elevaciones con altitudes que alcanzan en la zona de estudio los 4500 msnm, los que están condicionados por un relieve de topografía agreste. Esta región se enmarca dentro del dominio morfo climático glaciario. (Cesel Ings. 2006)

- **Valles y circos glaciales.** Albergan una zona amplia de bofedales que geomorfológicamente son sucedidos por valles de artesa de fondo amplio, que al inicio fue excavado por la acción glaciaria y posteriormente con el retiro del hielo fueron rellenados en forma parcial con material morreico.
- **Valles Intrandinos.** Estas geoformas negativas están caracterizadas por presentar un relieve topográfico juvenil con flancos escarpados y gradientes moderadas en el fondo del valle. (CESEL Ings. 2006)

Con respecto al clima y meteorología, el área de estudio se encuentra en una meseta altoandina, con un clima caracterizado de frío a seco. Presenta dos estaciones bien definidas; una estación seca presente entre los meses de mayo a octubre y la estación lluviosa entre los meses de noviembre a abril. La temperatura promedio durante el transcurso del año es de -3 °C a 13°C y la velocidad de los vientos está en el orden de 9 a 12 km/hora.

Ambiente Biológico. La zona de estudio como está ubicada en la región puna, se caracteriza por la ausencia de bosques y con abundantes pastos como el ichu y otras gramíneas como la chiligua, calamagrostis, musgos y líquenes. Entre la fauna encontramos a la vizcacha, venado gris de los andes, taruca, cuy y los camélidos llamas, alpacas, vicuñas. Entre aves se tiene el pato, huachua, yanavico, gaviota, pariona, zorzal, gorriones. En los ríos hallamos truchas, bagres, ranas y chalhua.

Escenario general. La Laguna de Quiulacocha fue el depósito de relaves de la empresa Cerro de Pasco Copper Corporation y luego de Centromin Perú hasta el año 1992, la masa de relaves se ha calculado en unos 78.7 millones de toneladas ocupando un área de 116.89 Ha. El año de 1992 cesó el envío de relaves, toda vez que la laguna ya se encontraba en su máxima capacidad derivando los relaves al nuevo depósito de Ocroyoc. Hace dos años se pudo

evaluar que el depósito de relaves de Quiulacocha se compone de dos zonas bien definidas: Una parte seca situado al nor-este y otra parte con espejo de agua ácida situada al sur-oeste. Aunque el relave está saturado con agua se evidenció un proceso erosivo en las zonas secas. Los relaves se componen de pirita y otros sulfuros que son potencialmente generadores de aguas ácidas. Actualmente es posible notar la presencia de aguas ácidas de una coloración marrón rojiza, típico de la oxidación de la pirita a hierro férrico, incluso aguas abajo se pueden apreciar que el agua ácida se ha descargado durante casi un siglo sin ningún tipo de tratamiento en el río San Juan. El agua del depósito de relave arroja un PH menor a 3 (muy ácida), toda vez que cuenta con concentraciones de sulfato y metales tóxicos como cobre, plomo, zinc, fierro, manganeso y otros. Incluso, estas aguas ácidas han venido afectando al Lago Junín y al río Mantaro. Los relaves de Quiulacocha son generadores de acidez los cuales están compuestos por materiales limo-arcillosos-piritosos con porcentajes de finos mayor a 93. El depósito tiene una profundidad que varía de 3,5 m y 15 m aproximadamente. Entre 3.5 m a 6 m de profundidad el relave está ligeramente consolidado y en estado suelto; entre 6 m y 12 m está ligeramente consolidado y entre 12 m y 15 m, está consolidado y en estado compacto. (CESEL Ingenieros -2006).



Figura 02. Ubicación de la Laguna de Quiulacoche.

Fuente. Google Maps.

Descripción del trabajo de campo.

Levantamiento topográfico. Para generar el modelo digital del terreno (MDT) se utilizó la estación total TOPCON modelo GPT 7501 en la recolección de puntos topográficos y se realizó la georreferenciación con un GPS métrico, además del apoyo de imágenes satelitales, obteniendo los siguientes datos:

Tabla 02

Área del depósito de relaves –Quiulacoche

Área	Total
Área total del depósito de relaves	116.89 Ha
Área del estanque de aguas ácidas (actual)	27.45 Ha
Área del depósito seco y semiseco	89,44 Ha

Fuente. Elaboración propia, (2018).

Estudios químicos en el depósito de relaves Quiulacoche. Se han realizado diversos estudios y análisis químicos del depósito de relave de Quiulacoche y se ha encontrado que el Hierro (Fe) es el principal metal contaminante en su composición, asimismo se ha encontrado diversos componentes insolubles, esto genera que la acidez del depósito de relave tenga un valor actual de PH igual o menor a 2,7.

Para determinar el PH actual del agua ácida de la laguna se tomaron varias muestras de la laguna ácida cuyos valores se determinaron en el laboratorio de la UNDAC.



Figura 03. Toma de muestras de agua ácida del depósito de relaves de Quiulacocha.

Fuente. Elaboración propia (2018)



Figura 04 y 05. Determinación del PH de las aguas ácidas del depósito de relaves Quiulacocha.

Fuente. Elaboración propia (2018)

Tabla 03

Valores de PH, temperatura y conductividad del agua ácida Quiulacocha.

Muestra	PH	Temp. °C	Conductividad (umhos/cm)
01	2,74	9,0	24900
02	2,56	9,0	24850
03	2,72	9,0	24900
04	2,72	9,0	24900
05	2,72	9,0	24900
06	2,72	9,0	24900
07	2,72	9,0	24900

Fuente: Elaboración propia. (2018)

Cinética de Reacción en la generación de aguas ácidas.

Las reacciones químicas que ocurren en la generación de aguas ácidas de mina (DAM) son complejas como se puede analizar en el gráfico siguiente donde el DAM se produce en tres etapas. En el caso de Quiulacocha las reacciones se están produciendo en la tercera etapa en donde la acidez ha descendido por debajo de PH 3 y la acción bacteriana puede lixiviar el sulfuro de hierro directamente a sulfato. En resumen, el *Thiobacillus ferrooxidans* que es una bacteria que se desarrolla en ambientes como desmontes y relaves sulfurosos, oxida el ion ferroso a férrico que a su vez oxida a los sulfuros como la pirita o marcasita produciendo mayor concentración de hidrogeniones, radicales sulfato y por consiguiente más ácido sulfúrico. En la figura N° 5 se aprecia la secuencia de las reacciones químicas, las que son complejas e impredecibles en el tiempo.

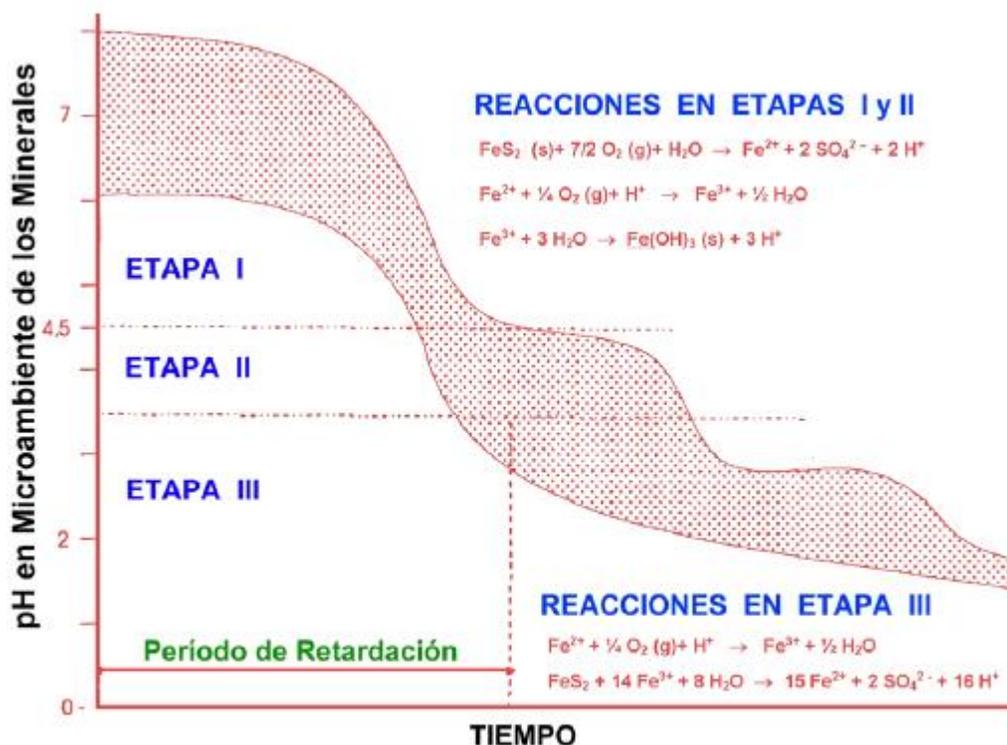


Figura 06. Etapas en la formación de aguas ácidas.
Fuente. Osvaldo Aduvire (Madrid, 2006)

Las reacciones químicas en la generación del DAM son a veces difíciles de predecir. La figura anterior muestra las reacciones en tres etapas, ya que la generación del drenaje ácido de mina está en función del tiempo y en función al potencial de generación ácida conformado por los minerales sulfurosos como la pirita, y también en función al potencial de neutralización conformado por los minerales alcalinos.

Una Reacción química general de la oxidación de la pirita es la siguiente:



La pirita es oxidada y lixiviada por acción del oxígeno y agua, transformándola en ácido sulfúrico e hidróxido férrico que precipita dando una coloración al agua de pardo rojiza.

Límites máximos permisibles.

En la actualidad se tiene pleno conocimiento que las condiciones de biodisponibilidad y biotoxicidad de los elementos que contienen los líquidos descargados al ambiente por acción antrópica y la forma en que estos pueden afectar los ecosistemas y la salud humana, concluyen que es necesario que los límites máximos permisibles LMP se actualicen para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas a fin de proteger ambientalmente los ecosistemas. La tabla siguiente muestra los LMP establecidos en el Perú para el control y manejo de efluentes líquidos en la industria minera.

Tabla 04.

Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero Metalúrgicas.

Parámetro	Unidad	Limite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH		6 - 9	6 – 9
Sólidos totales en suspensión	mg/l	50	25
Aceites y grasas	mg/l	20	16
Cianuro total	mg/l	1	0,8
Arsénico total	mg/l	0,1	0,08
Cadmio total	mg/l	0,05	0,04
Cromo hexavalente	mg/l	0,1	0,08
Cobre total	mg/l	0,5	0,4
Hierro disuelto	mg/l	2	1,6
Plomo total	mg/l	0,2	0,16
Mercurio total	mg/l	0,002	0,0016
Zinc total	mg/l	1,5	1,2

Fuente. D.S. N° 010 – 2010 – MINAM

Análisis químico de los componentes del depósito de relaves Quiulacocha.

A continuación se presenta los análisis químicos de los relaves del depósito de Quiulacocha así como del agua sobrenadante de la relavera realizados anteriormente por las empresas Centromín Perú y Activos mineros SAC .los mismos que son muy confiables:

Tabla 05

Composición química promedio de relave depósito Quiulacocha

Elementos	Fe	Cu	Pb	Zn	Mn	As	Insolubles
%	23.42	0.15	0.05	2.42	0.007	0.11	37.17

Fuente. PCPAM Excelsior y Quiulacocha (2006)

Tabla 06

Análisis químico: Agua sobrenadante relavera Quiulacocha.

Parámetro	Unidad	Valor
Metales Totales		
Arsénico mg/L	mg/l	0.013
Cobre mg/L	mg/l	7.230
Zinc mg/L	mg/l	1023.000
Hierro mg/L	mg/l	3493.000
Manganeso mg/L	mg/l	1606.000
Plomo mg/L	mg/l	0.040
Metales Disueltos		
Arsénico mg/L	mg/l	0.011
Cobre mg/L	mg/l	6.160
Zinc mg/L	mg/l	776.000
Hierro mg/L	mg/l	2376.000
Manganeso mg/L	mg/l	1570.000
Plomo mg/L	mg/l	0.026
Sulfatos (total)	mg/l	24854.000

Fuente. PCPAM Excelsior y Quiulacocha (2006).

Como se aprecia en los análisis precedentes, hay presencia de metales en el depósito, predominando el hierro (Fe), Zinc (Zn) y Manganeso (Mn), pues su valor en miligramos por litro se encuentra en 3493 mg/l, 1023 mg/l y 1606 mg/l, respectivamente. Incluso, es posible ver que la playa del depósito de relave está sumamente afectada debido a la corrosión que genera sobre el suelo, afectando en la flora en todo su alrededor.

Recientemente en el año 2009, LABOR y la Universidad de Pisa de Italia, encargó al doctor Flaviano Bianchini realizar un estudio de la calidad de los recursos hídricos en la cuenca del río

San Juan y básicamente en el depósito de Quiulacocha, habiendo obtenido los siguientes

resultados:

Tabla 07

Resultado análisis en UV/VIS- Laguna Quiulacocha comparado con los parámetros de la OMS.

Parámetros	Laguna Quiulacocha	Límite Guía OMS
PH	3.90	6,5 – 9,5
Sulfatos totales	8969.55	250 mg/l
Bromo total	0.02	0,01 mg/l
Aluminio total	30.57	0,2 mg/l
Hierro total	3910.50	1 – 3 mg/l
Manganeso total	106.40	0,4 mg/l
Cobre total	33.73	2 mg/l
Zinc total	335.20	3 mg/l
HCN	102.50	*
Cond. uS/cm	6415.00	*

El HCN y la conductividad no tienen límite de ley, pero es un parámetro importante. Bianchini (2009).

Fuente. Wade C. et al. 2006 (LABOR, centro de cultura popular, 2009)

Como se puede observar, todos los valores analizados en el depósito de Quiulacocha, exceden ampliamente los límites permisibles establecidos por la OMS y los LMP establecidos por el D.S-010-2010-MINAM. Por tanto, el depósito de relave en estudio muestra un peligro latente para el ecosistema de la zona, requiriendo una pronta intervención para su tratamiento y remediación ambiental.

Análisis químico del monitoreo en la sub cuenca del río San Juan. 16/10/2015.

A continuación se presenta los datos del análisis químico del monitoreo realizado el 16 de octubre del año 2015 en la sub cuenca del río San Juan a cargo de la dirección de la Administración Nacional del Agua (ANA). Los mismos que fueron proporcionados para la elaboración de la presente tesis:

Como se puede apreciar los valores están por encima de los valores establecidos en los estándares de calidad ambiental (ECA) para el caso de riego de vegetales y bebida de animales.

Tabla 08

Resultado análisis en sub cuenca del rio San Juan (rio Ragra).

Parámetro	Unidad	Valor hallado	ECA
Ph	ph	7.29	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	13.35	---
Conductividad	us/cm	1464	< 2000
Hg	mg/l	0.0002	0.001
Al	mg/l	0.469	5
As	mg/l	0.035	0.05
Cd	mg/l	0.008	0.005
Ca	mg/l	209.9	200
Cu	mg/l	0.078	0.2
Fe	mg/l	17.56	1.0
Mn	mg/l	4.404	0.2
Ni	mg/l	0.242	0.2
Pb	mg/l	0.029	0.05
Zn	mg/l	3.289	2.0
Sulfatos	mg/l	500.3	300

Fuente. ANA. (2015). Informe Técnico N° 074-2015-ANA-SGCRH - GOCRH

Trabajos preliminares de remediación en el depósito de relaves de Quiulacocha.

Neutralización de aguas ácidas del depósito de relaves Quiulacocha.

A partir de noviembre del año 2015, según el portal de transparencia de la empresa estatal AMSAC, luego de construir la planta de neutralización en la parte N.O del depósito de relaves de Quiulacocha, inició la mitigación del impacto del depósito de relaves, neutralizando las aguas ácidas mediante el proceso activo con hidróxido de calcio; la pulpa que es un sulfato de calcio se deriva a la presa de relaves de Ocroyoc de la minera Cerro SAC ubicada a 1 km de la planta (AMSAC-2015). Según estimaciones de esta empresa, se podrán procesar en forma anual más de un millón y medio de metros cúbicos de aguas ácidas, a razón de 50 litros por segundo, tratando aguas de un PH de 2,5 a 3 a un PH de 8 – 9. Los datos técnicos de esta operación son los siguientes:

Tabla 09

Parámetros de operación Planta de neutralización aguas ácidas.

Parámetros de operaciones	Unidades
Volumen de aguas ácidas a tratar	4320 m ³ /día (50 l/s)
Consumo de hidróxido de calcio	70 +/- 5%: 25 ton/día
Ensayo de Fe disuelto	2869 mg/l
Ensayo de Fe total	3362 mg/l
Ensayo de Zn disuelto	1011 mg/l
Ensayo de Zn total	1144 mg/l
PH inicial agua ácida	2,5 a 3,0
PH agua neutra	superior a 7
Peso estimado de compuestos precipitados de Fe y Zn	19.5 ton/día
Peso estimado de insolubles en el hidróxido de calcio	12.5 ton/día
Peso estimado de generación de lodos	32 ton/día
Relación caudal tratado vs volumen lechada de cal	10 a 1
Velocidad de sedimentación estimada	0,24 cm/min

Fuente. Portal de transparencia AMSAC (2016)

4.2.2. Apreciación de la población respecto al depósito de relave de Quiulacocha. Se

ha realizado una encuesta respecto a la percepción de contaminación del depósito de relave de Quiulacocha, encontrándose los siguientes resultados.

Tabla 10

Ocupación o actividad principal

Actividad	Frecuencia	Porcentaje (%)
Minería	2	10%
Construcción Civil	1	5%
Pecuario	4	20%
Comercio	7	35%
Servicios	3	15%
Otros	3	15%
Total	20	100%

Fuente. *Elaboración propia (2018)*

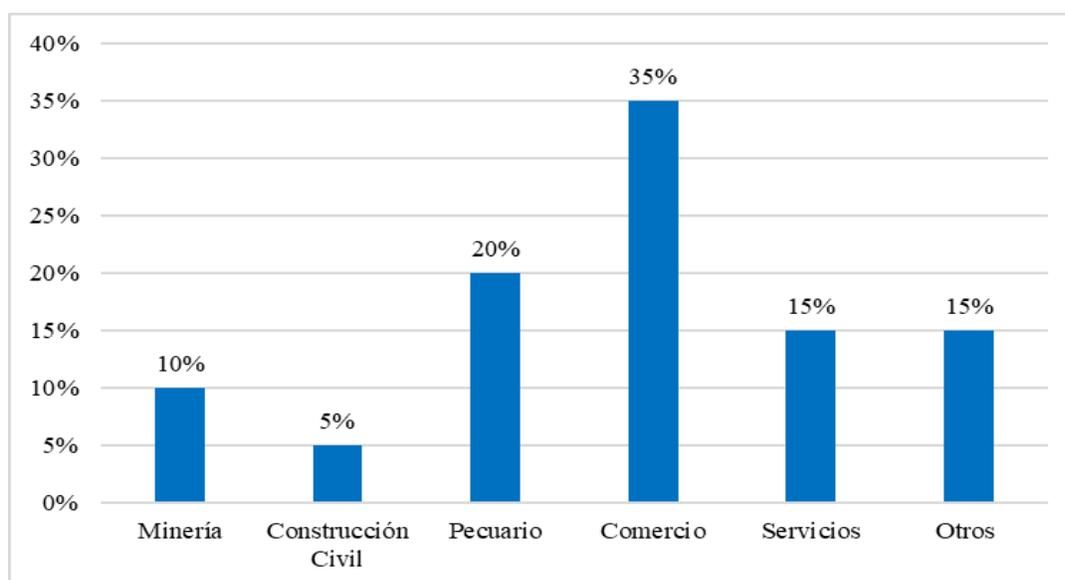


Figura 07. *Ocupación o actividad principal.*

Fuente. *Elaboración propia (2018)*

Interpretación. En general, en su mayoría las personas del Centro de Poblado de Quiulacocha se dedican al comercio, impulsado por la cercanía a la ciudad de Pasco y porque la agricultura y la ganadería se ha visto afectada por el relave.

Tabla 11

Conocimiento sobre el impacto del depósito de relaves de Quiulacocha y su efecto en la comunidad

Criterio	Frecuencia	Porcentaje (%)
Mucho	12	60%
Poco	4	20%
Muy poco	3	15%
Nada	1	5%
Total	20	100%

Fuente. Elaboración propia (2018)

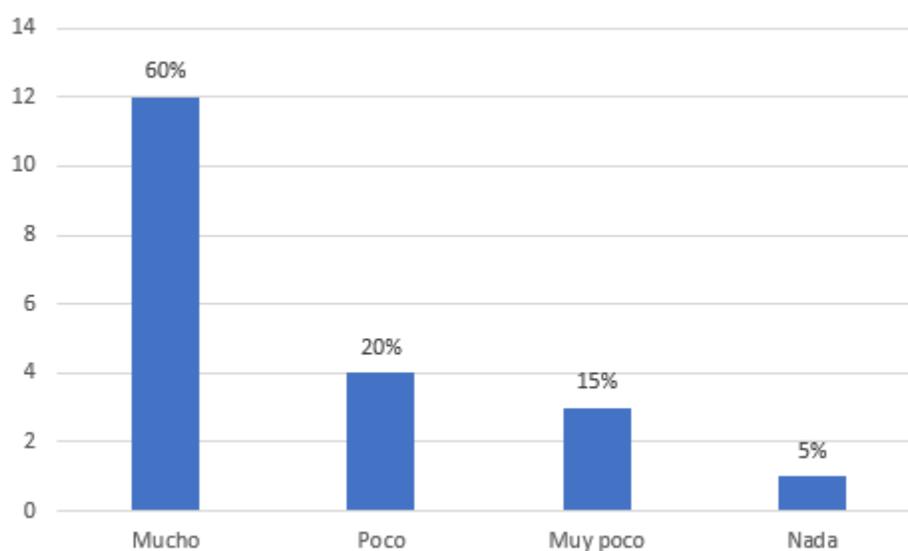


Figura 08. Conocimiento sobre el impacto del depósito de relaves de Quiulacocha y su efecto en la comunidad

Fuente. Elaboración propia (2018)

Interpretación. El 60% de los pobladores de Quiulacocha mencionan que el relave ha afectado mucho en la comunidad, principalmente en la salud y economía, toda vez que la Laguna fue reemplazada por un relave.

Tabla 12

Conformidad a que se cristalice este proyecto y conocimiento respecto al trabajo para disminuir el impacto que produce el depósito de relaves de Quiulacocha.

Criterio	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	8	40%
No	9	45%
Desconoce	3	15%
Total	20	100%

Fuente. Elaboración propia (2018)

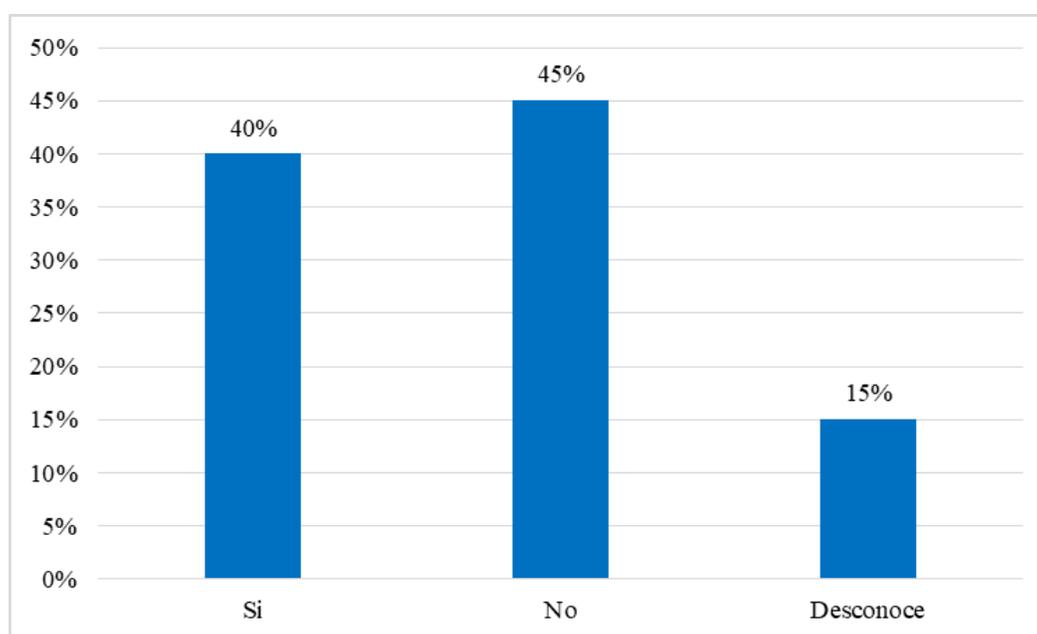


Figura 09. Conformidad a que se cristalice este proyecto y conocimiento respecto al trabajo para disminuir el impacto que produce el depósito de relaves de Quiulacocha.

Fuente. Elaboración propia (2018)

Interpretación. Las personas del Centro de Poblado de Quiulacocha desean que se mejore la situación del depósito de relave para reducir su impacto ambiental, dado que el 40% considera necesario realizar esta actividad.

Tabla 13

Existe un monitoreo o control de los relaves de Quiulacocha.

Criterio	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	5	25%
No	15	75%
Total	20	100%

Fuente. Elaboración propia (2018)

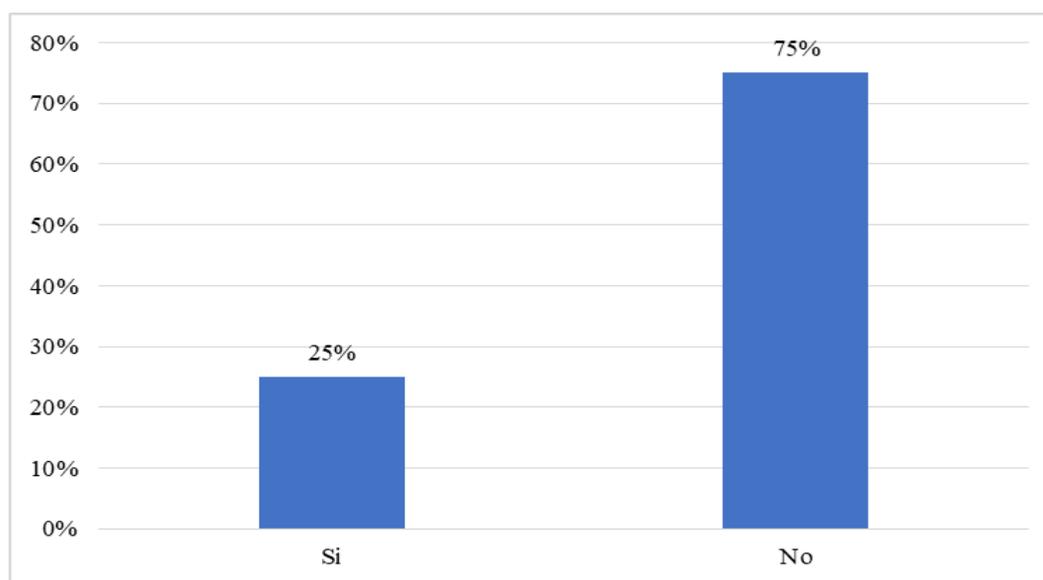


Figura 10. Existe un monitoreo o control de los relaves de Quiulacocha.

Fuente. Elaboración propia (2018)

Interpretación. Pese a la situación en la cual fueron encontradas no se viene realizando un monitoreo o control apropiado de los relaves de Quiulacocha.

Tabla 14

Frecuencia del monitoreo o control de los relaves de Quiulacocha.

Tiempo	Frecuencia	Porcentaje (%)
Cada semana	0	0%
Cada mes	5	25%
Una vez al año	13	65%
Nunca	2	10%
Total	20	100%

Fuente. Elaboración propia (2018)

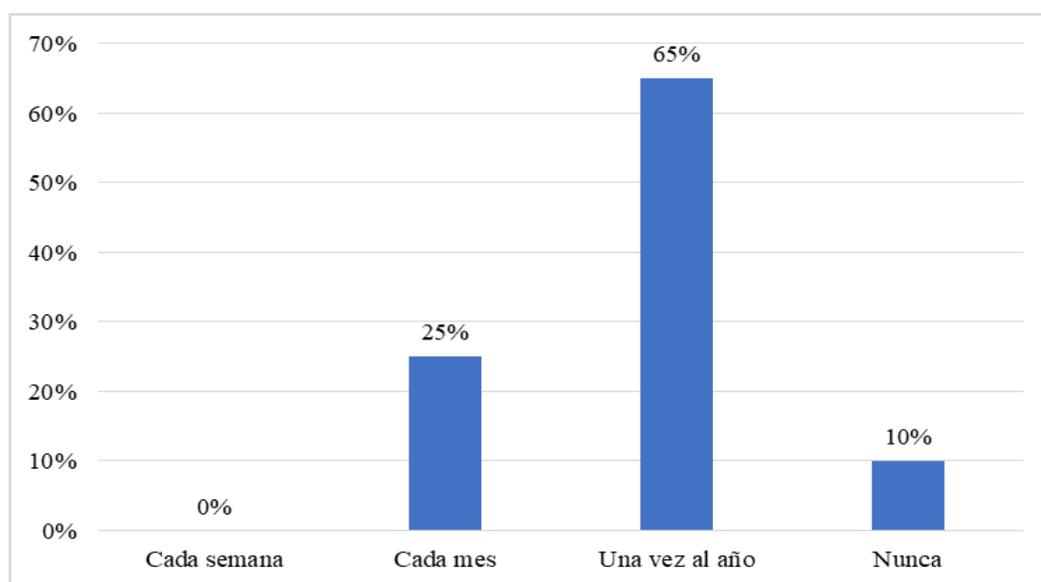


Figura 11. Frecuencia del monitoreo o control de los relaves de Quiulacocha.

Fuente. Elaboración propia (2018)

Interpretación. Incluso los pobladores muestran que solo una vez al año se realiza algún tipo de control y monitoreo de los relaves, realizado por alguna empresa preocupada por la población.

Tabla 15

Sabe Ud. ¿En qué consiste el plan de cierre de relaves?

Criterio	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	15	75%
No	5	25%
Total	20	100%

Fuente. Elaboración propia (2018)

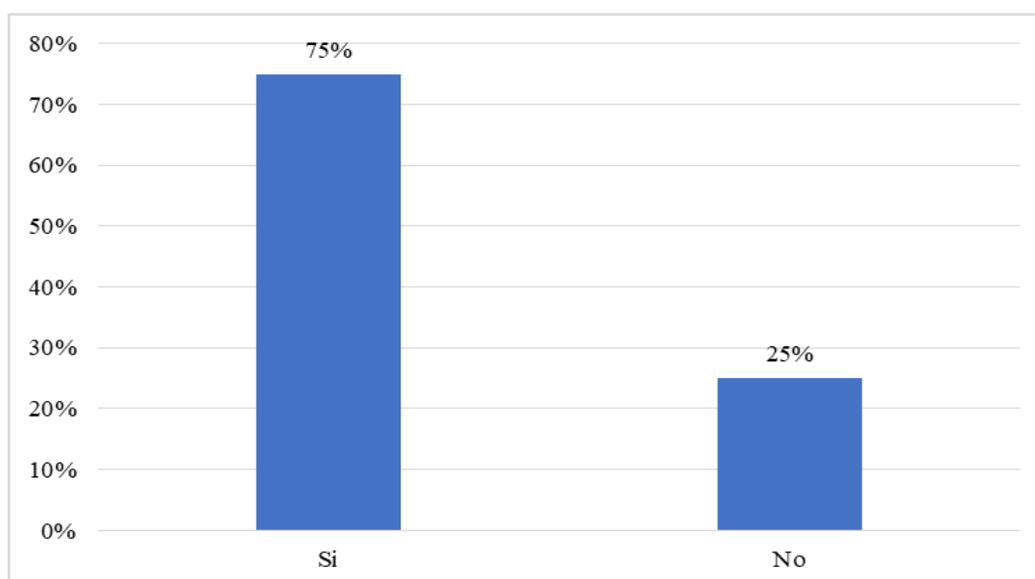


Figura 12. Sabe Ud. ¿En qué consiste el plan de cierre de relaves?

Fuente. Elaboración propia (2018)

Interpretación. Muchas personas desconocen en que consiste un plan cierre en el Centro Poblado de Quiulacocha (75%), por tanto, se observa un efecto devastador del actual relave.

Tabla 16

¿Sabe si hubo, hay o habrá un proyecto de plan de cierre del depósito de relaves de Quiulacocha?

Criterio	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	5	25%
No	11	55%
Desconoce	4	20%
Total	20	100%

Fuente. Elaboración propia (2018)

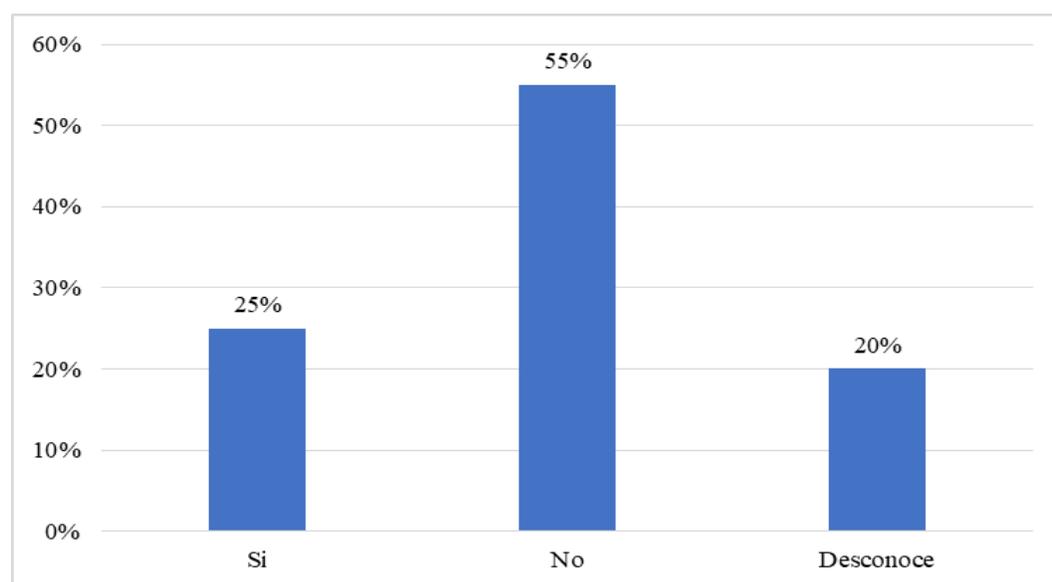


Figura 13. ¿Sabe si hubo, hay o habrá un proyecto de plan de cierre del depósito de relaves de Quiulacocha?

Fuente. Elaboración propia (2018)

Interpretación. Son muchos los pobladores que desconocen de la existencia de un plan de cierre del depósito de relaves.

Tabla 17

El mayor impacto que produce el depósito de relaves está relacionado con:

Contaminación en	Frecuencia	Porcentaje (%)
Suelo	4	20%
Agua	5	25%
Aire	4	20%
Todos	7	35%
Total	20	100%

Fuente. Elaboración propia (2018)

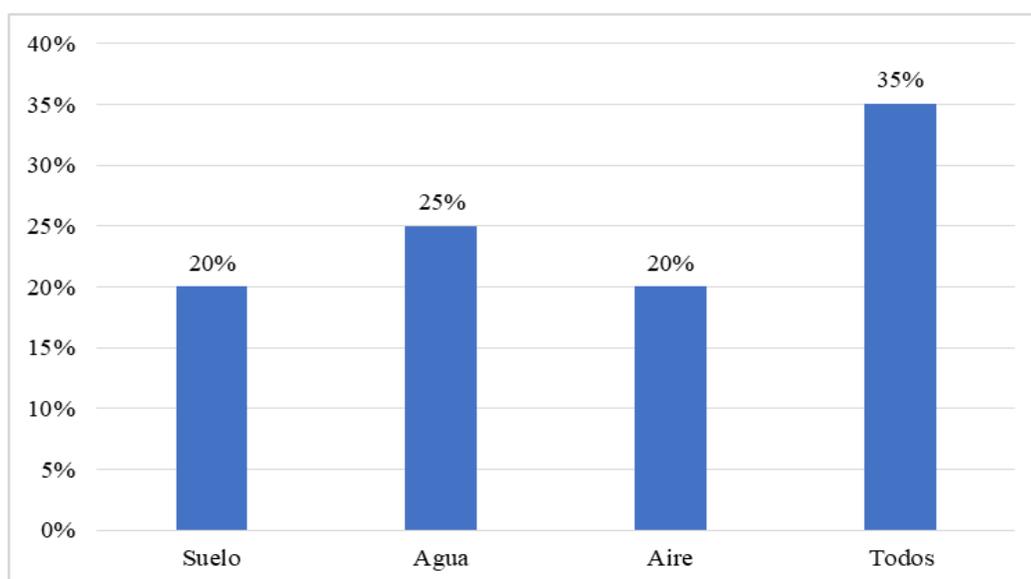


Figura 14. Relación del mayor impacto que produce el depósito de relaves.

Fuente. Elaboración propia (2018)

Interpretación. Los pobladores consideran que el relave de Quiulacocha produce muchos efectos negativos en el medio ambiente, como es suelo, agua, y aire, es así que se considera un problema latente el actual depósito.

Tabla 18

¿Tiene conocimiento que el depósito de relaves genera aguas ácidas y que contamina el río San Juan?

Criterio	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	18	90%
No	2	10%
Total	20	100%

Fuente. Elaboración propia (2018)

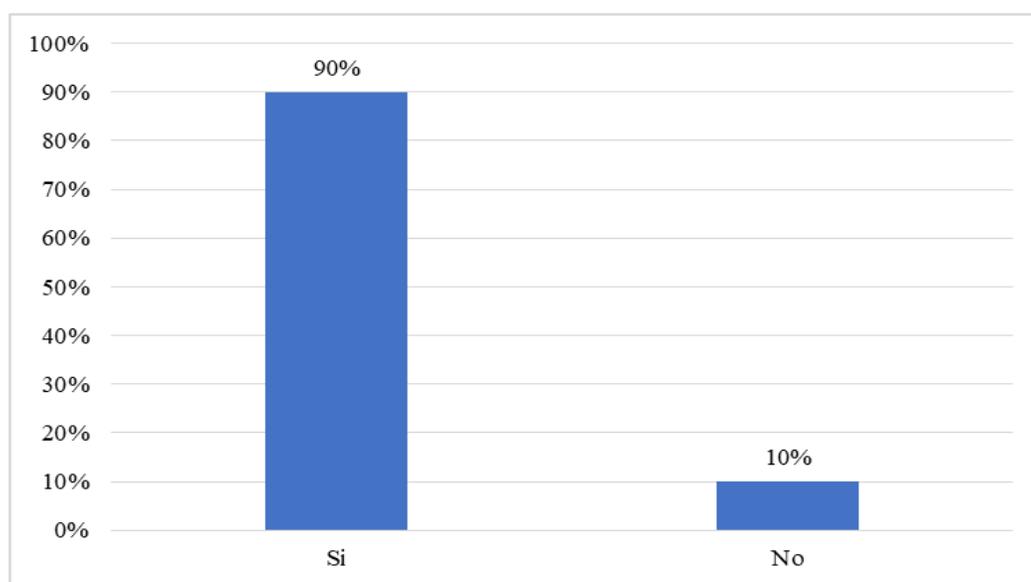


Figura 15. ¿Tiene conocimiento que el depósito de relaves genera aguas ácidas y que contamina el río San Juan?

Fuente. Elaboración propia (2018)

Interpretación. Los pobladores han experimentado y son conscientes que el relave ha contaminado el río San Juan, por lo que resulta necesario un plan de cierre apropiado.

Tabla 19

¿El depósito de relaves estará afectando la salud de la población?

Criterio	Frecuencia	Porcentaje (%)
Mucho	9	45%
Poco	8	40%
Muy poco	2	10%
Nada	1	5%
Total	20	100%

Fuente. Elaboración propia (2018)

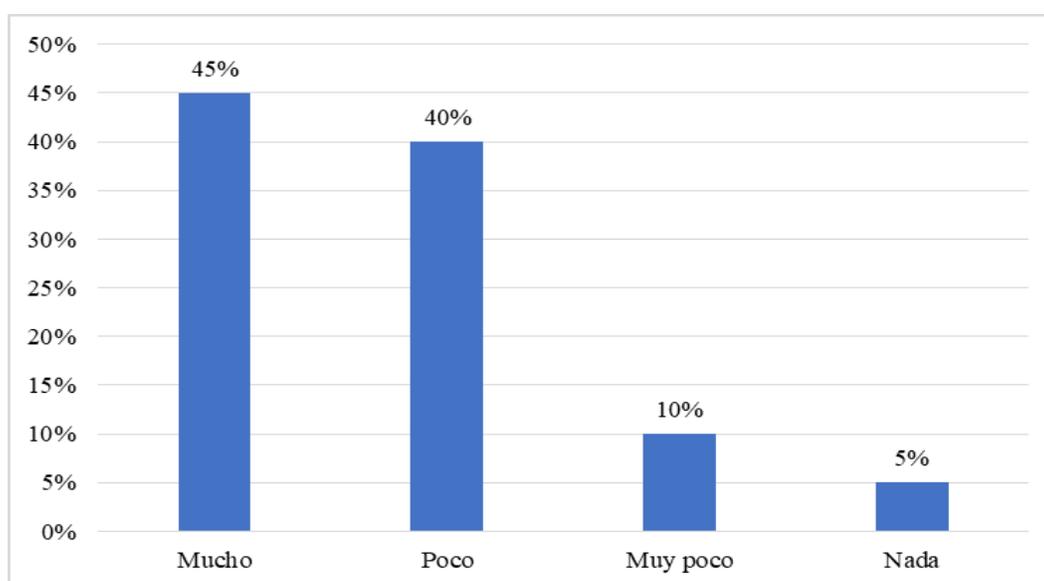


Figura 16. ¿El depósito de relaves estará afectando la salud de la población?

Fuente. Elaboración propia (2018)

Interpretación. Incluso muchos pobladores afirman que el depósito de relaves afecta mucho a la salud de los pobladores, básicamente por la contaminación del agua y aire.

Tabla 20

¿Ha notado que otras comunidades se ven afectadas por la contaminación que genera los relaves de Quiulacocha?

Efecto	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	14	70%
No	4	20%
Desconoce	1	5%
Total	19	95%

Fuente. Elaboración propia (2018)

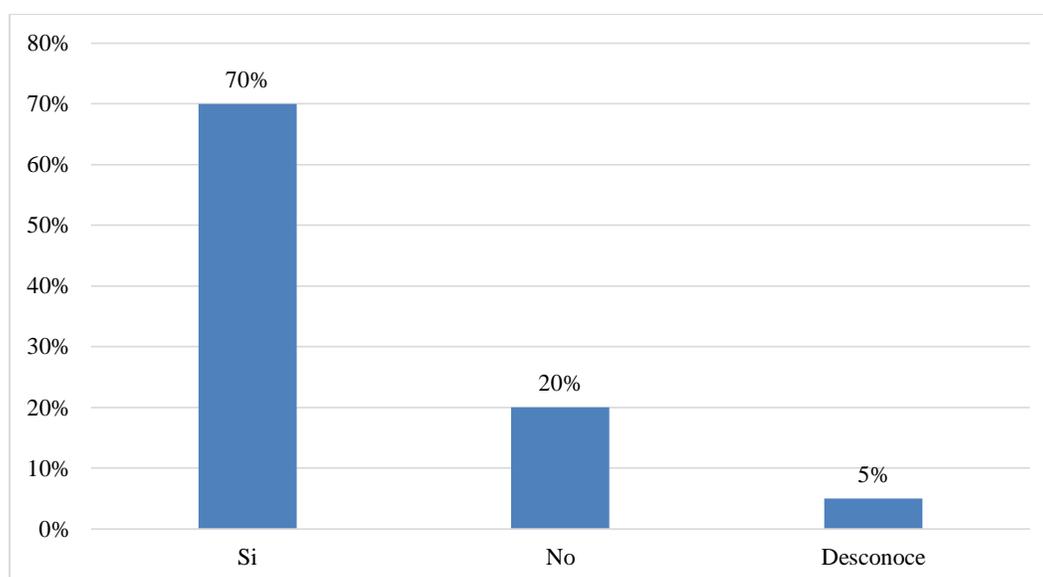


Figura 17. ¿Ha notado que otras comunidades se ven afectadas por la contaminación que genera los relaves de Quiulacocha?

Fuente. Elaboración propia (2018)

Tabla 21

¿Usted cree que se podría evitar el impacto ambiental generado por los relaves de Quiulacocha?

Se evitaría	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	8	40%
No	12	60%
Total	20	100%

Fuente. Elaboración propia (2018)

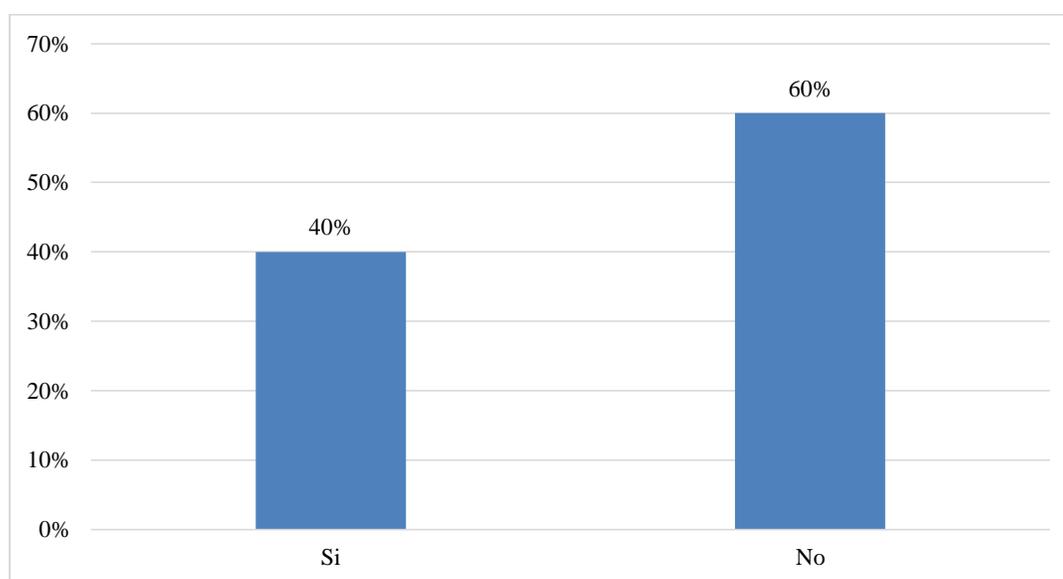


Figura 18. ¿Usted cree que se podría evitar el impacto ambiental generado por los relaves de Quiulacocha?

Fuente. Elaboración propia (2018)

Tabla 22

¿Cree que podría contraer alguna enfermedad a causa de la contaminación que generan los relaves de Quiulacocha?

Criterio	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	15	75%
No	3	15%
Desconoce	2	10%
Total	20	100%

Fuente. Elaboración propia (2018)

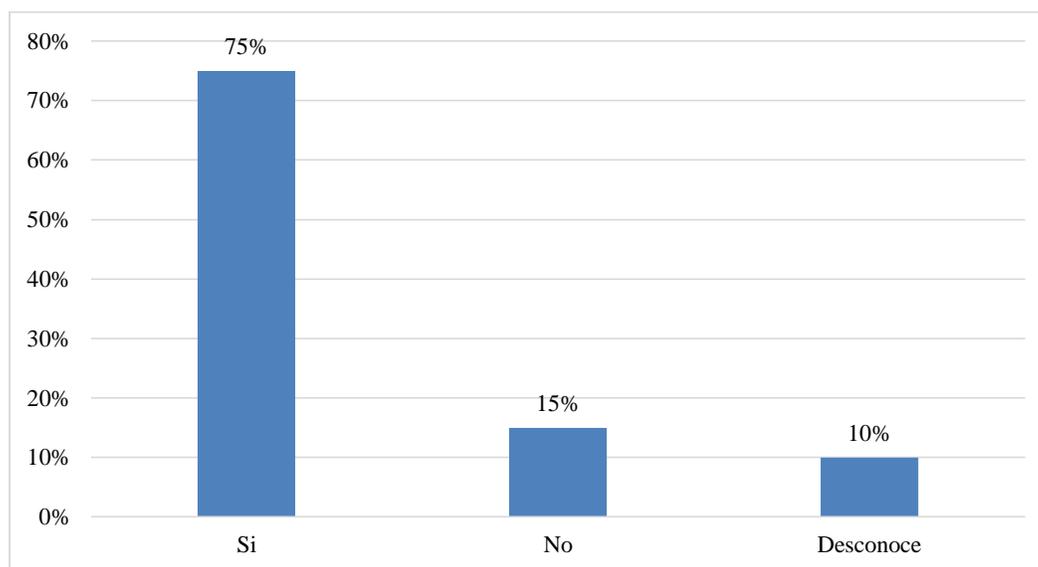


Figura 19. ¿Cree que podría contraer alguna enfermedad a causa de la contaminación que generan los relaves de Quiulacocha?

Fuente. Elaboración propia (2018)

Tabla 23

¿Cuáles son las enfermedades más comunes que se presenta en su familia?

Enfermedad	Frecuencia	Porcentaje (%)
Gastrointestinales	5	25%
Broncopulmonares	8	40%
Cáncer	0	0%
Plomo en sangre	7	35%
Otros	0	0%
Total	20	100%

Fuente. Elaboración propia (2018)

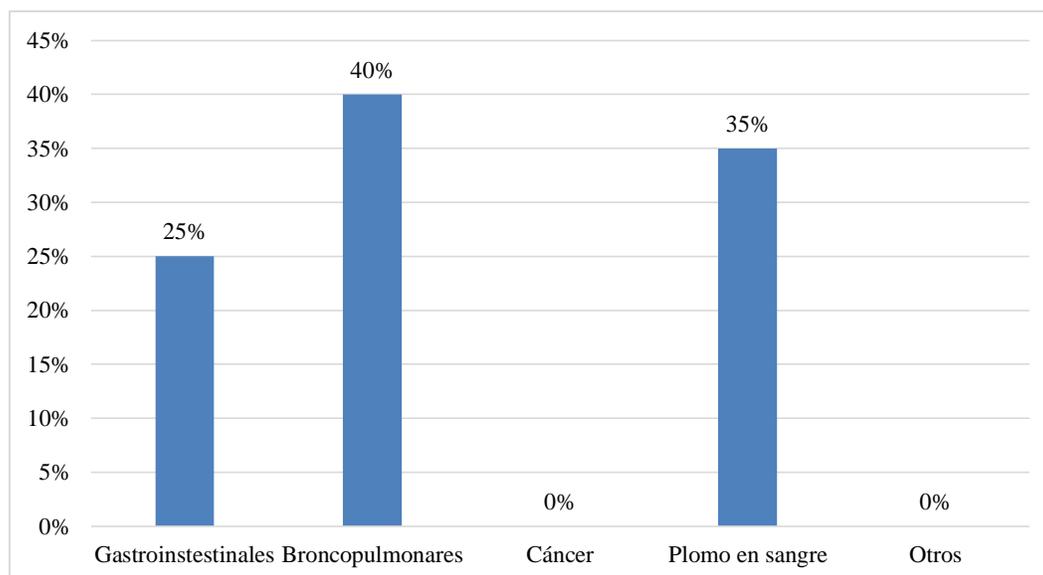


Figura 20. ¿Cuáles son las enfermedades más comunes que se presenta en su familia?

Fuente. Elaboración propia (2018)

Tabla 24

¿Cree que las enfermedades que contrajo su familia se deban a la contaminación que proviene de los relaves de Quiulacocha?

Criterio	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	16	80%
No	3	15%
Desconoce	1	5%
Total	20	100%

Fuente. Elaboración propia (2018)

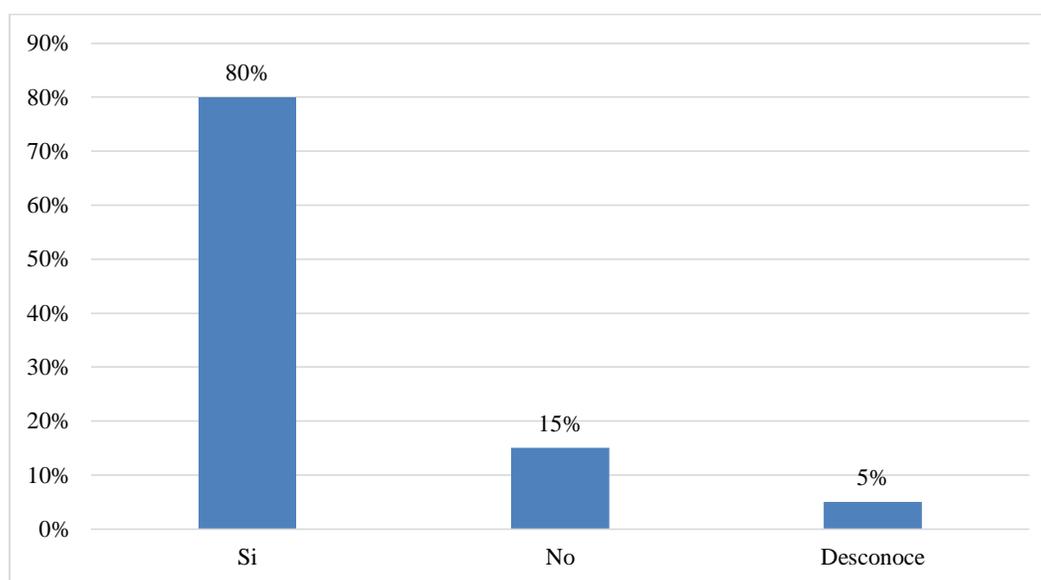


Figura 21. ¿Cree que las enfermedades que contrajo su familia se deban a la contaminación que proviene de los relaves de Quiulacocha?

Fuente. Elaboración propia (2018)

Tabla 25

¿El impacto que generó los relaves de Quiulacocha en el suelo, afectó la actividad agrícola de su comunidad?

Criterio	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	18	90%
No	2	10%
Desconoce	0	0%
Total	20	100%

Fuente. Elaboración propia (2018)

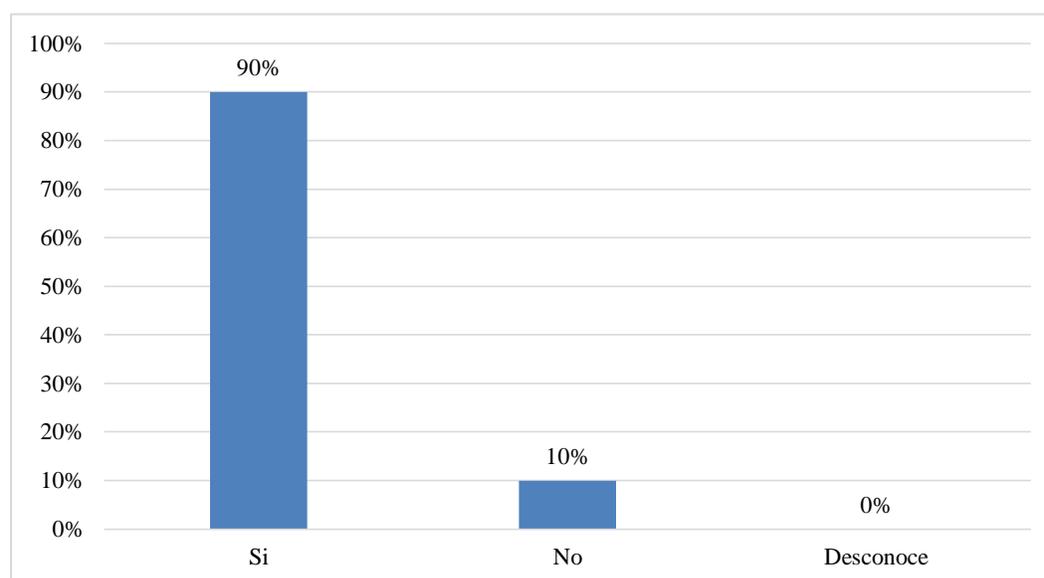


Figura 22. ¿El impacto que generó los relaves de Quiulacocha en el suelo, afectó la actividad agrícola de su comunidad?

Fuente. Elaboración propia (2018)

Tabla 26

¿La contaminación de las aguas por parte de los relaves de Quiulacocha, trajeron desastre de los ecosistemas acuáticos de su comunidad?

Criterio	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	19	95%
No	1	5%
Desconoce	0	0%
Total	20	100%

Fuente. Elaboración propia (2018)

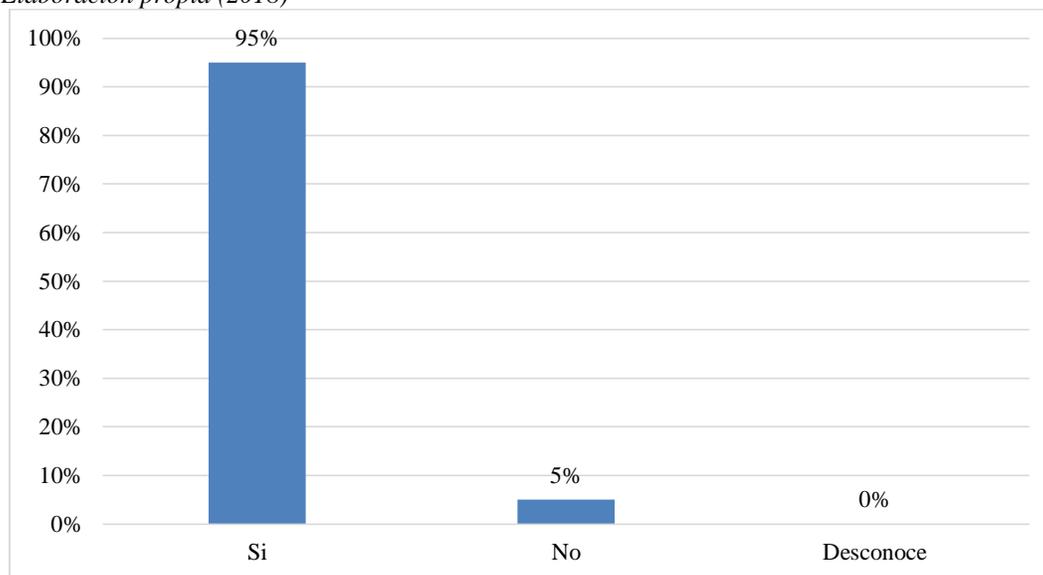


Figura 23. ¿La contaminación de las aguas por parte de los relaves de Quiulacocha, trajeron desastre de los ecosistemas acuáticos de su comunidad?

Fuente. Elaboración propia (2018)

Interpretación. En general se puede resumir que el actual depósito de relave de Quiulacocha según percepción de los encuestados, viene generando problemas en la salud y afectando en la economía de la población, toda vez que hizo que algunos pobladores se trasladen del sector agropecuario hacia el sector comercial. Asimismo, se ha visto que las principales enfermedades que aquejan son aquellos asociados a lo broncopulmonar y a la presencia de plomo en la sangre. También, los pobladores son conscientes de que el depósito ha afectado al ecosistema siendo los principales afectados el suelo y agua. Analizado este problema los pobladores consideran necesario que se realicen medidas urgentes para mitigar el impacto y mejorar la situación actual.

4.2.3. Identificación de impactos negativos en la zona de estudio. Luego del diagnóstico realizado en el depósito de relaves de Quiulacocha, se puede determinar que los impactos negativos que han ocasionado la acumulación de los relaves mineros procedentes de la planta de tratamiento de minerales por flotación, de la empresa minera Cerro de Pasco Corporation y por Centromin Perú a lo largo de casi 100 años de operación son los siguientes, los mismos que han producido un daño severo en el ecosistema y por consiguiente amerita hacer trabajos de remediación ambiental a fin de mitigar la alteración perjudicial ocasionado en el ambiente:

- Impacto visual, por la afectación y perturbación de la visualización del lugar por sustancias nocivas como son los relaves y desmontes mineros.
- Impacto paisajista, Por la contaminación del entorno y la calidad visual del área impactada.
- Erosión de la superficie del depósito de relaves por la acción eólica, contaminando con partículas finas de relaves sulfurados afectando los suelos y pastos naturales de la zona.
- Contaminación del agua superficial de la cuenca del río San Juan con aguas ácidas producida por el drenaje ácido de mina (DAM).
- Contaminación de los acuíferos subterráneos de la cuenca, por infiltración de aguas ácidas y metales disueltos generados por el DAM.
- Afectación de la flora y fauna del río San Juan
- Afectación de la salud de las personas

4.2.4. Casos de éxito de tratamiento de depósitos de relave. A continuación, se presentan casos de éxitos de tratamiento de depósitos de relave, así como su respectivo cierre para mitigar la contaminación al ecosistema:

4.2.4.1. Método de encapsulamiento con Geomembranas y cobertura vegetal. Este es un método que se ha generalizado en el Perú, en depósitos de relaves abandonados, cuya composición es mayormente de sulfuros, ya que éstos son potencialmente generadores de ácido. Con este método se ha estabilizado y controlado la erosión eólica de partículas finas de relave y el drenaje ácido de mina en los depósitos abandonados. Este método consiste en realizar las siguientes actividades:

- a. Nivelación, perfilado y conformación de los relaves.
- b. Colocación de una barrera impermeable con geomembranas de 1,0, 1,5 o 2,0 mm de espesor.
- c. Aplicación sobre la geomembrana de una capa de 20 cm de material calcáreo granulado y compactado.
- d. Aplicación sobre el material calcáreo de una capa de 20 cm de espesor de tierra orgánica.
- e. Sobre esta última proceder a la siembra de plantas nativas como pastos y o arbustos cuyas raíces no sean profundas.

A continuación, se presentan los casos de éxito con este tratamiento:

Remediación ambiental del depósito de relaves Tablachaca.

Antecedentes. El depósito ocupa el lecho de la quebrada Tacpin. Este depósito recibió relaves de la concentradora Casapalca desde 1949 a 1999. El volumen almacenado es de 3 millones de TM y ocupa un área de 11.5 Hectáreas.

Ubicación del depósito. Se ubica en la quebrada Tacpin, provincia de Huarochirí, Lima, en la margen derecha del río Rimac a 4100 msnm.

Objetivo del proyecto. Asegurar la estabilidad física, hidrológica y química del depósito luego del cierre definitivo, con el cual se reducirán al mínimo los impactos ambientales, protegiendo la salud, seguridad pública y el medio ambiente.

Identificación de impactos. Los principales impactos identificados fueron:

- a. Visual.
- b. Paisajista.
- c. Erosión de la superficie del relave.
- d. Contaminación por sulfuros.
- e. Posibles deslizamientos.
- f. Contaminación de las aguas del rio Rímac.
- g. Contaminación de aguas subterráneas por infiltración.
- h. Contaminación del aire por presencia de polvo.
- i. Daño a los pastizales aledaños.
- j. Seguridad a los transeúntes.

Metas. Las metas a alcanzar con la remediación fueron:

- a. Proteger la salud y seguridad pública
- b. Prevenir a largo plazo la degradación del ambiente
- c. Permitir el uso productivo de las áreas afectadas devolviéndolas a su estado inicial o uno aceptable.
- d. Cumplir con la reglamentación vigente
- e. Facilitar la venta de las unidades y prospectos mineros.

Obras realizadas. Las obras realizadas para la remediación ambiental del depósito de relaves de Tablachaca fueron:

- a. Trabajos preliminares y complementarios.
- b. Estabilización del depósito de relaves.
- c. Encausamiento de la quebrada.

- d. Captación de manantiales.
- e. Canal sobre el relave.
- f. Canales de coronación y drenajes.
- g. Cobertura y revegetación.

Monitoreo pos cierre. Los objetivos del monitoreo tiene por finalidad evaluar los cambios que pueda producir las obras de abandono del depósito, referente a la estabilidad física, validez de las medidas propuestas que garantice la estabilidad química y el éxito de la revegetación para el uso de estas tierras.



Figura 24.. Vista del depósito de relaves de Tablachaca, antes del cierre con encapsulamiento y revegetación.
Fuente. AMSAC, <http://www.amsac.pe/>



Figura 25. Vista del depósito de relaves de Tablachaca, después del cierre con encapsulamiento y revegetación.
Fuente. AMSAC, <http://www.amsac.pe/>

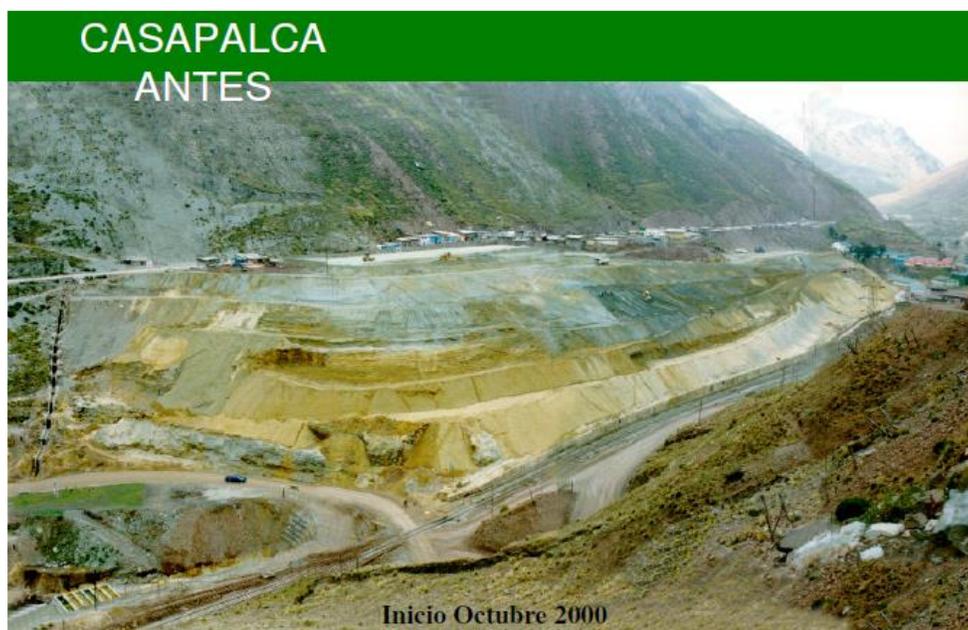
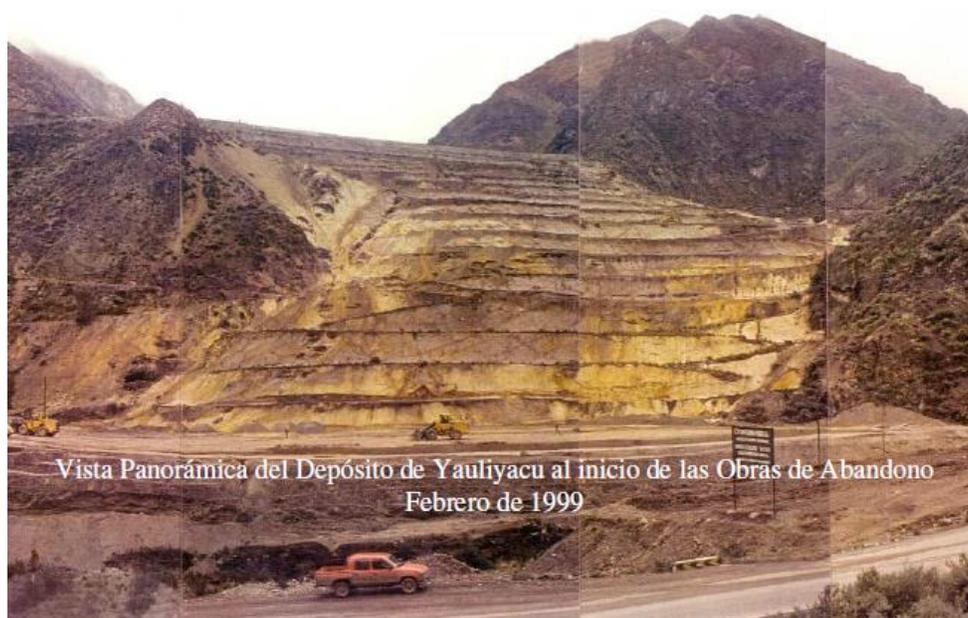


Figura 26. Vista del depósito de relaves de Casapalca, antes del cierre con encapsulamiento y revegetación.
Fuente. AMSAC, <http://www.amsac.pe/>



Figura 27. Vista del depósito de relaves de Casapalca, después del cierre con encapsulamiento y revegetación.
Centromin Perú S.A.
Fuente. AMSAC, <http://www.amsac.pe/>



*Figura 28. Vista del depósito de relaves de Yauliyacu, antes del cierre con encapsulamiento y revegetación.
Fuente. AMSAC, <http://www.amsac.pe/>*



*Figura 29. Vista del depósito de relaves de Yauliyacu, después del cierre con encapsulamiento y revegetación.
Fuente. AMSAC, <http://www.amsac.pe/>*



Figura 30. Vista del depósito de relaves de Hualgayoc, antes del cierre con encapsulamiento y revegetación.
Fuente. AMSAC, <http://www.amsac.pe/>



Figura 31. Vista del depósito de relaves de Hualgayoc, después del cierre con encapsulamiento y revegetación.
Fuente. AMSAC, <http://www.amsac.pe/>

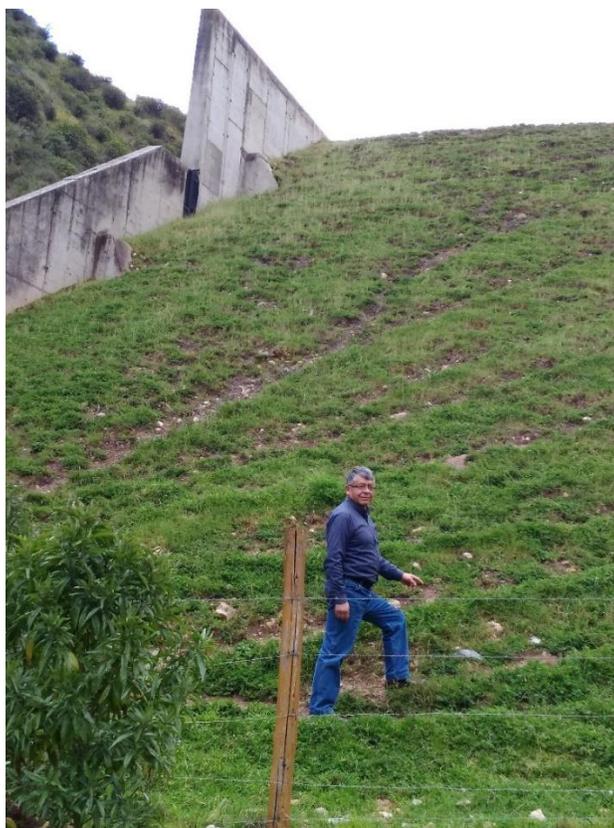


Figura 32. Vista del depósito de relaves de Atacocha – Pasco (Chicrin), después del cierre con encapsulamiento y revegetación.

Fuente. Elaboración propia



Figura 33. Vista del depósito de relaves de Atacocha – Pasco (Chicrin), después del cierre con encapsulamiento y revegetación.

Fuente. Elaboración propia



Figura 34. Vista del depósito de relaves de una mina en Nueva Zelanda, después del cierre con encapsulamiento y revegetación.

Fuente. Mina Golden Cross, <http://www.goldencross.com.au/>

Como se puede apreciar en las fotografías, el cierre de los depósitos de relaves de Tablachaca, Casapalca y Yauliyacu han tenido similar procedimiento, pues éstas están compuestas mayormente por sulfuros de hierro, silicatos y cuarzo, y el encapsulamiento con geomembranas y cobertura vegetal a lo largo del tiempo han demostrado que son eficientes, puesto que se aseguró la estabilidad física, hidrológica y química del depósito, reduciendo al mínimo los impactos ambientales y protegiendo de esta manera la salud, seguridad pública y devolviendo al terreno las características similares que tuvo antes de ser impactada, es decir una mejora paisajista, ecológica y armonía con el medio ambiente.

4.2.4.2. Método de fitoestabilización.

Caso I. Ensayo de adaptación de especies vegetales para cobertura vegetal de relaves mineros de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas.

Autores: Prudencio Hidalgo, Pablo Espinoza y Rafael Figueroa

Área de estudio: Planta concentradora Santa Rosa de Jangas, ubicado en Pativilca, Caraz, Región Ancash, altitud de 2830 msnm.

Objetivo: Selección de especies vegetales que mejor se adapten a las condiciones edáficas y ecológicas en la presa de relaves de la planta concentradora de Santa Rosa de Jangas.

Procedimiento: Se seleccionó una superficie de 50 m² de zona de relave en la parte norte de la presa, se dividió en 5 parcelas de 10 m² cada una. Se tomó muestras de relave cuya pasta tuvo un PH de 6,15. El relave constituido por arena de grano fino, ganga de silicatos, cuarzo, andesita, pizarras, lutitas, galena, pirita, arsenopirita, detectados por inspección visual. Se preparó un sustrato de mezcla homogénea de tierra agrícola, turba y arena. Se conformó capas de la parte inferior a la superior como sigue: Primera capa, conformado por relaves del depósito, segunda capa: 10 cm de mezcla compactada de relave y cal agrícola. Tercera capa: 5 cm de cal agrícola compactada. Cuarta capa: 10 cm de arcilla finamente zarandeada y compactada, Quinta capa: 20 cm de sustrato, en el que se sembró y/ o trasplantó especies vegetales en las 5 parcelas: Ray grass + trébol, anís silvestre, kiyuyo, diente de león y amor seco.

Resultado: Todas las plantas prosperaron y se evaluó a las especies en cuanto a profundidad de raíces, biomasa, tamaño, diámetro de tallo y cobertura. Los resultados muestran que las especies que más se adecuán a la fitostabilización en la superficie de la relavera es el kiyuyo y trébol.

Caso 2. Fitoestabilización de depósitos de relave en Chile, Flora y vegetación asociados a relaves mineros abandonados.

Autores: Pedro León, Rosanna Ginocchio y Alan Baker

Área de estudio: Zona de Coquimbo, Norte de Chile. Altitud 1000 a 2500 msnm. Zona árida y semiáridas.

Objetivo: Seleccionar especies vegetales para la siembra en depósitos de relaves abandonados y su evaluación en su tolerancia al cobre. Adicionalmente la recuperación de ambientes naturales degradados permitirá aportar en la conservación de los sistemas naturales de la región y en la detención de la desertificación.

Procedimiento: En la zona de Coquimbo se catastraron 73 depósitos de relaves mineros abandonados y en ellos se registraron un total de 106 especies vegetales colonizadoras espontáneas de depósitos de relaves, y se analizó el contenido de cobre en las plantas vegetales de la zona de impacto.

Resultados: De un total de 41 especies colonizadoras espontáneas de depósitos de relaves evaluados en cuanto a su tolerancia al cobre, un 42% mostró tolerancia, 12% mostró alta tolerancia a este elemento.

Entre las especies colonizadoras espontáneas dominantes destacan las siguientes plantas:

Tabla 27

Especies colonizadoras espontáneas de depósitos de relaves

Especie tolerante	Especie muy tolerante
Baccharis linearis	Acacia caven
Baccharis marginalis	Baccharis linearis
Baccharis raniculata	Lolium multiflorum
Coniza floribunda	Polypogon australis
Nicotiana glauca	

Fuente. León, Ginocchio, Baker (2008)

Se tomó como muestra 5 depósitos de relaves abandonadas, determinándose por análisis químico el contenido de cobre en cada una de ellas como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 28

Contenido de cobre total y porcentaje de cobre soluble en los relaves

Material	Cobre total mg/kg	Cobre extraído con agua %
Relave Mina N° 1	419	menor al 0.01%
Relave Mina N° 2	1709	34
Relave Mina N° 3	264	64
Relave Mina N° 4	1713	9
Relave Mina N° 5	3966	51

Fuente. León, Ginocchio, Baker (2008)

La zona de estudio, Coquimbo, es una zona árida, con poca precipitación pluvial anual, sin embargo, para la sobrevivencia de los vegetales en la zona, ocurre el fenómeno de levantamiento hidráulico en especies arbustivas. Las plantas obtienen el agua contenida en el suelo a través de sus raíces. El agua del suelo proviene principalmente de las precipitaciones que ocurren en el período de invierno-primavera. Sin embargo, en el caso de las especies leñosas, ellas acceden al agua que se infiltra a las napas subterráneas debido a la mayor profundidad que alcanzan sus raíces.



Figura 35. Primera etapa del cierre participativo del tranque de relaves Los Quillayes entre la comunidad y Minera Los Pelambres. - Chile.

Fuente. Minera Los Pelambres, <http://www.mesaquillayes.cl/>



Figura 36. Primera etapa del cierre participativo del tranque de relaves Los Quillayes entre la comunidad y Minera Los Pelambres. - Chile.

Fuente. Minera Los Pelambres, <http://www.mesaquillayes.cl/>



*Figura 37. Puesta en Marcha del proyecto de fitoestabilización de un tranque de relave, en Copiapó. - Chile.
Fuente. Rojas M. Prueba de la planta *Schinus polygamus* para la fitoestabilización de sustratos de tranques de relaves, en Región de Atacama.*



*Figura 38. Puesta en Marcha del proyecto de fitoestabilización de un tranque de relave, en Copiapó. - Chile
Fuente. Rojas M. Prueba de la planta *Schinus polygamus* para la fitoestabilización de sustratos de tranques de relaves, en Región de Atacama.*

Discusión de resultados. Analizado los dos casos de fitoestabilización, esta técnica resulta muy favorable en los relaves o desmontes mineros en donde el material es relativamente alcalino o que sean relaves consolidados y sin presencia de lagunas ácidas como es el caso de Quiulacocha. La fitoestabilización resulta exitosa por la siembra de especies vegetales metalófitas, es decir plantas que absorben en sus hojas y tallos los elementos metálicos contenidos en los relaves. En este caso no es necesario colocar sobre el relave una barrera impermeable, pues la siembra se realiza directamente sobre el relave consolidándose en poco tiempo las especies vegetales, recuperándose las áreas disturbadas por la actividad minera y devolviendo al ambiente la naturalidad que tuvo antes de las operaciones de explotación. Sin embargo para optar por este método se tiene que tener en consideración algunas variables como las restricciones físico-químicas, ya que los relaves por ser un material fino y homogéneo presentan resistencia al establecimiento y crecimiento de plantas por la ausencia de nutrientes y alto contenido de elementos tóxicos como los metales (Cu,Zn,Fe) y metaloides (As), y casi nula actividad biológica por la ausencia de micronutrientes que permitan el ciclado de materia orgánica del suelo.

4.2.5. Propuesta de Tratamiento del depósito de relave de Quiulacocha. Según el diagnóstico realizado al depósito de relave de Quiulacocha, se desprende que el material almacenado son pirita y otros minerales que contienen elementos metálicos con concentraciones muy superiores a los LMP y potencialmente son generadores de drenaje ácido de mina DAM. Este material almacenado en un área de 116.89 Ha, tiene una masa de aproximadamente de 78.7 millones de toneladas y si no se toman las medidas correctivas seguirá generando aguas ácidas por cientos de años. La medida optada por AMSAC es provisional, ya que el tratamiento al agua ácida con hidróxido de calcio es la medida más adecuada de neutralización, pero no es la

definitiva. Esta medida está generando un nuevo problema, que es la generación de lodos de sulfato de calcio a razón de 32 ton/día (AMSAC), Como estos lodos se están almacenando en el depósito de Ocroyoc, va a llegar un momento en que puede colapsar el dique por licuefacción u otro fenómeno y que puede traer consecuencias funestas para las poblaciones situados aguas abajo. Además, es muy probable que el drenaje ácido esté infiltrándose por debajo del depósito de relaves y contaminando las aguas subterráneas en la cuenca del rio San Juan. Por tanto, es imprescindible y hasta obligatorio por parte del Estado Peruano que se realice estudios exhaustivos a fin de cerrar definitivamente el depósito de relaves de Quiulacocha.

En base a los casos de éxito desarrollado en empresas mineras, resulta necesario que el depósito de relave de Quiulacocha tenga un cierre completo para que no se vea afectado el ecosistema de la zona. La propuesta de la investigación consiste en aplicar el método de encapsulamiento con geomembranas y cobertura vegetal, por lo suigéneris del caso de este depósito, proponiendo el cierre en dos etapas :

Primera etapa. Actualmente con relaves secos y consolidados del depósito distribuidos en un área de 79.38 Ha, será remediado con encapsulamiento con geomembranas y cobertura de tierra orgánica para revegetar con plantas nativas. Para esta etapa se procederá a realizar la cobertura y revegetación, considerando conveniente que se apliquen insumos para la fertilización vegetal.

La técnica del encapsulamiento con geomembranas resulta el más adecuado y óptimo para este proyecto frente a la técnica de fitoestabilización, porque estos relaves contienen elevadas concentraciones de sulfuro de hierro (FeS_2), material potencialmente generador de drenaje ácido, en cuyo ambiente difícilmente prosperan las plantas y no habría forma inmediata

de impermeabilizar el suelo y retener el ingreso de oxígeno y agua que son dos componentes reactivos con los sulfuros y propician el drenaje ácido.

Es preciso señalar que las geomembranas se vienen utilizando en la minería desde los años 1970. El primer uso de geomembranas a gran escala se dio probablemente en las pozas solares de Tenneco Minerals en Utah, EEUU. Actualmente se usa en gran escala en las pilas de lixiviación de minerales de oro y cobre en donde se combinan presiones extremas sobre la base, además de condiciones de alta humedad que no se presentan en otras aplicaciones como es el caso del presente estudio.

Secuencia del cierre.

a) Manejo de aguas y estabilidad hidrológica. El manejo de aguas ácidas que se depositan en la parte sur-oeste, continuará con el mismo proceso de neutralizar las aguas ácidas del depósito de Quiulacocha, para ello se establecen los mismos criterios y parámetros que viene manejando actualmente la empresa estatal AMSAC:

- ✓ Volumen a tratar: 4320 m³/día (50 l/s)
- ✓ Consumo de hidróxido de calcio: 25 ton/día.
- ✓ PH inicial: 2,4 a 3.0 PH final: superior a 7.

Para el caso de las aguas pluviales, se debe hacer el mantenimiento de los canales de coronación existentes y construir tanques recolectores de aguas pluviales para almacenamiento de aguas de lluvia que discurre por el cerro chuco al nor oeste del depósito y que servirá para el riego de pastos en época de estiaje.

b) Habilitación de la superficie del terreno. Para la habilitación del terreno se procederá a preparar el área, realizando la nivelación respectiva de la superficie de los relaves secos con una pendiente mínima hacia el sur de 2 a 4 grados para el escurrimiento de las aguas

de lluvia. El tratamiento de la superficie requiere que sean suaves y libre de rocas, palos, raíces, objetos agudos y otros restos que puedan dañar el recubrimiento, dado que se aplicarán geosintéticos. Se deberán remover todas las partículas sobresalientes a 25 mm, así como se deberán rellenar aquellas depresiones mayores a 25 mm.

c) Instalación de geomembrana. La geomembrana deberá estar compuesta por un HDPE GRI GM13 de 1,5 o 2.0 mm de espesor, nuevo de primera calidad, fabricado y diseñado para la retención de soluciones. Las geomembranas son láminas geosintéticos que aseguran la impermeabilidad y evitan la infiltración del agua y soluciones tanto ácidas como alcalinas, reteniendo la migración de contaminantes.

d) Material granular. La capa de relleno estará compuesta con material granular ($1/2'' < D < 2''$). Este material provendrá de la trituración de piedra caliza o roca natural calcárea de la zona constituido por fragmentos duros y resistentes. Se aplicará con un espesor mínimo de 20 centímetros.

e) Suelo de cobertura. El sustrato se preparará con tierra agrícola zarandeada, turba agrícola desmenuzada y zarandeada y arena gruesa en proporción de 1,5:1,0 : 0,5 respectivamente. El topsoil apto para la siembra tendrá un espesor aprovechable de 20 cm.

f) Fertilización. La fertilización se realizará haciendo uso de urea (la cual contiene un 46% de nitrógeno), además se podrá complementar con superfosfato triple el cual contienen 45% de P_2O_5 , y finalmente, sulfato de potasio y magnesio, el cual contiene 22% de K_2O , 22.7% de azufre y 11% de magnesio.

g) Siembra. Para la parte de revegetación del depósito de relave será necesario aplicar dos sistemas de sembrío y fertilización; para este ejercicio se propone: utilizando esqueje de *Stipa ichu* (ichu), *Calamprostia vicunarium*, *festuca dolichophyla*, *medicago sativa* (alfalfa) y

utilizando semillas de *Trifolium pratense* (trébol rojo), *Trifolium repens* (trébol blanco), *Dactylis glomerata* (dactilis), *Lolium perenne* (rey grass inglés) y *Lolium multiflorum* (rey grass italiano). asimismo, para el sembrío será necesario aplicar la mezcla de abonos propuesta en la fertilización.

h) Sistema de monitoreo y post cierre. Las medidas de mitigación y restauración ambiental buscan asegurar que el cierre cumpla con el grado de calidad ambiental establecido. Para este caso se han determinado parámetros de control como humedad, control de fisuras en el terreno y permanencia de las especies vegetales.

i) Monitoreo de la calidad del aire. se aplicará un monitoreo respecto a los niveles de concentración de contaminantes en el área de influencia. Para ello se cumplirá con los parámetros establecidos por el Estándar Nacional de Calidad del Aire, para ello se verificará que las partículas en suspensión (PM 10) no sean menores a 10 μ .

j) Programa de monitoreo ambiental. El monitoreo ambiental será realizado tomando en cuenta los lineamientos del Ministerio del Ambiente para garantizar la sostenibilidad del ecosistema.

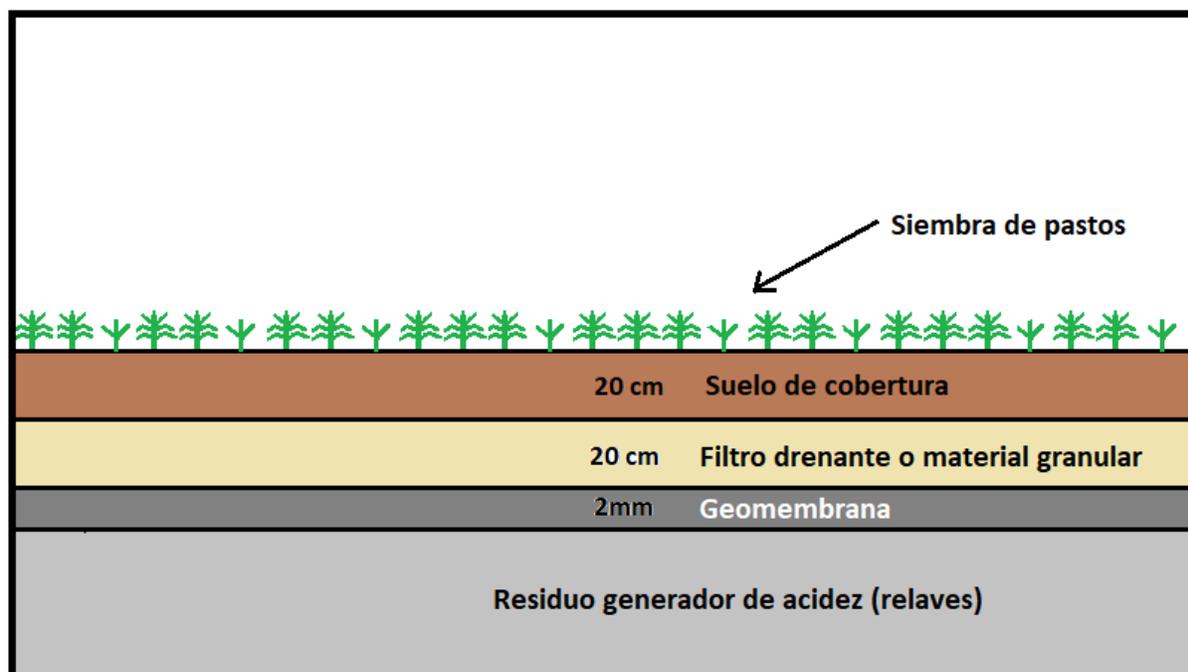


Figura 39. Capas del proceso de encapsulamiento y revegetación.
Fuente: Elaboración propia

En base a la descripción de la propuesta se ha diseñado los planos de intervención:

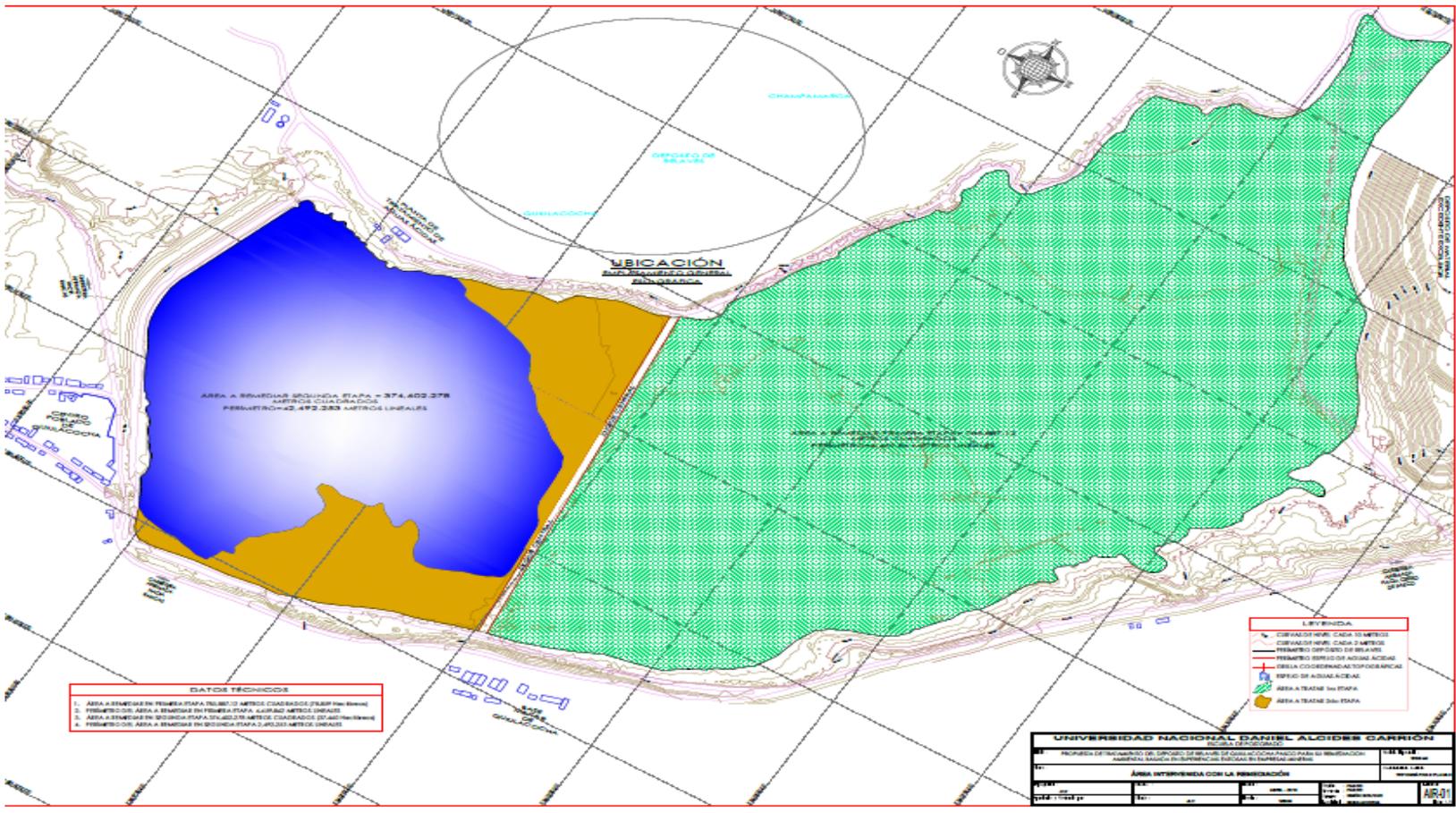


Figura 40. Propuesta del cierre del depósito de relaves de Quiulacoche y tratamiento con geomembranas.

Fuente. Elaboración propia

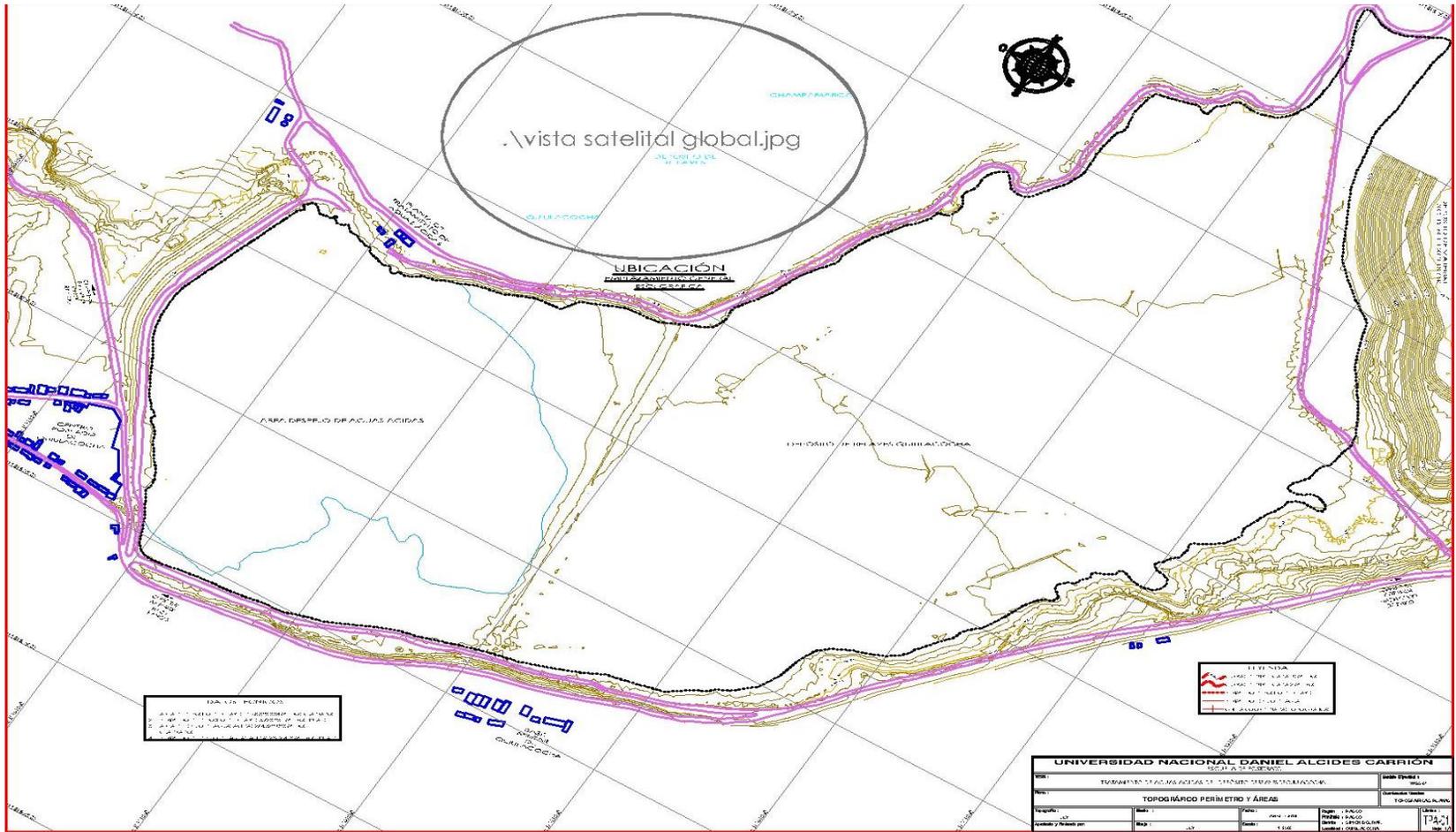


Figura 41. Canales para evitar ingreso de aguas de escorrentía superficial al depósito de relaves de la Quiulacocha.

Fuente. Elaboración propia

Segunda etapa. El estanque actual de aguas ácidas de 37,46 hectáreas, será remediado una vez que éste se haya secado. Esto será posterior al cierre definitivo del depósito de desmontes de Excélsior y luego del encapsulamiento del depósito de relaves secos de 79,38 Ha de Quiulacocha (primera etapa). Mientras se seguirá tratando las aguas ácidas con hidróxido de calcio, es decir neutralizando a un PH de 7. Asimismo, para el cierre de la primera etapa se colocará un dique que divida en dos áreas al depósito actual. Para ello se construirá un dique con relave revestido de geotextil, cuya longitud será de 628.45 metros lineales en forma transversal orientada de sur a norte. Este dique separará el estanque de aguas ácidas, de la zona de relaves secos a tratarse en la primera etapa.

El hecho de remediar la primera etapa del depósito de relaves de Quiulacocha, tendrá un impacto positivo desde todo punto de vista, ambiental, social, visual y económico, ya que una vez remediado esta área, puede ser utilizado como una zona de pastoreo, área verde para esparcimiento, camping, paseo, etc. teniendo los pobladores de Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar una zona amigable y ecológicamente sostenible por el restablecimiento del ecosistema, belleza paisajística, incremento de áreas verdes, mayor captura de CO₂, retorno de mamíferos, aves e insectos, entre otras bondades.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. La hipótesis general planteada: **La propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco favorece significativamente en su remediación ambiental basada en experiencias exitosas en empresas mineras.** En base a la información descrita en los resultados se puede verificar que la propuesta será de gran utilidad para la recuperación de los suelos del depósito de Quiulacocha y evitar que los relaves mineros continúen contaminando el medio ambiente con generación de aguas ácidas y erosión eólica.

4.3.2. Las hipótesis específicas. se puede mencionar que:

- a. **La mala disposición de relaves en Quiulacocha-Pasco produce efectos negativos adversos en el medio ambiente**, esto se puede evidenciar tanto con la percepción de la población como el diagnóstico que genera las aguas ácidas del depósito.
- b. **El depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco está impactando significativamente en el medio acuático, suelos y poblaciones aledañas.** Esto lo ponen en evidencia tanto los pobladores, como el estudio de laboratorio que arroja una acidez de PH 2.7, y los análisis químicos presentados cuyos valores de concentración de metales y otros compuestos están por encima de los límites máximos permisibles.
- c. **El manejo de los relaves produce efectos significativos en el tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco.** A través de la neutralización actual de las aguas ácidas, el encapsulamiento de los relaves secos (primera etapa) y posterior cierre del estanque de aguas ácidas (segunda etapa) se procederá a garantizar que el área impactada se recupere, no obstante, este proceso se realizará por etapas y en un plazo que se estima no menor a 10 años, dependiendo del inicio de esta propuesta.

4.4. Discusión de resultados

Los resultados de la propuesta de tratamiento son alentadores, toda vez que se podrá recuperar el área correspondiente al depósito de relaves de Quiulacocha. Estos resultados resultan ser congruentes con los antecedentes de investigación.

Del mismo modo, Surichaqui (2016), demostró la veracidad de los procesos del método de riesgos con respecto a diques de residuos mineros, como el caso de Ticapampa; no obstante, considera que es necesario realizar la evaluación estructural del suministro de desechos mineros. Por otra parte, Vicente (2015) siguió con una metodología que consistió en remediar los

montajes de residuos mineros originados por la minería metálica siendo factible beneficiarse de estos por la extracción de metales, de esta manera disminuirían el riesgo ambiental. Esta metodología aplicada es netamente orientada a la disminución del impacto ambiental generado por la extracción de metales; además se basa en la metodología usada por el Instituto Geológico y Minero de España. Además, Romero (2015) propuso la calibración del acontecimiento que tiene la plantación de gramíneas (Kikuyo) en la remediación de relaves mineros contaminados, basándose jurídicamente y ecológicamente en la posibilidad de remediar los relaves mineros mediante la plantación de gramíneas (Kikuyo) y documentado de manera científica y tecnología la posibilidad de remediar los relaves con la plantación de gramíneas (Kikuyo); quien usó la metodología de tipo y nivel aplicativa, diacrónica, prospectiva, focalizada, empírica, documental, descriptiva, cualitativa, correlacional y de nivel explicativo, con una población de 33 minas activas; teniendo como resultados que al menos 268 hectáreas de ambientes de relave están contaminadas del cual un 85% de trabajadores manifestó que fueron contaminados con residuo tóxicos, mezcla de ácidos, agua, residuos mineros, rocas y mezcla de tierras. Para el caso de la investigación se ha optado por emplear semillas de chilligua (*Festuca dollychoplylla*). Asimismo, López (2011) propuso la fitorremediación como un método de control de la propagación del arsénico en la superficie de Mayoc y alrededores; arribando a las conclusiones, los límites máximos permisibles para efluentes líquidos estuvieron dentro del rango aceptable en mención de las clases II y III de la Ley General de Aguas, en cuanto a la auditoría ambiental en el control del aire con respecto al transporte, arrojan un resultado aceptable en cuanto al arsénico y plomo presentes en el aire, los resultados de contenido de arsénico, zinc, cobre y plomo, en el suelo rebasan los límites máximos permitidos, establecidos en la Organización Mundial de la Salud.

Del mismo modo, las experiencias exitosas de remediación ambiental con encapsulamiento de los depósitos de relaves con geomembranas y cobertura vegetal realizados por la empresas Centromin Perú y Activos mineros en Tablachaca, Casapalca, Yauliyacu entre otros, han demostrado a través del tiempo, que es posible la remediación ambiental de los ecosistemas dañados por los relaves mineros y por tanto con su recuperación ha devuelto a la naturaleza su relieve original, y fundamentalmente ha mejorado la calidad de vida de las poblaciones circundantes, disminuyendo la contaminación del suelo, agua, flora fauna e impactos socioeconómicos.

CONCLUSIONES

1. El depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco, tiene un área de 116,89 hectáreas y contiene una masa aproximada de 78,7 millones de toneladas de relaves sulfurados reactivos que está contaminando e impactando severamente el ecosistema de la cuenca del río San Juan, con generación de drenaje ácido de mina.
2. El depósito de relaves presenta dos zonas definidas: Una al N.E, con relaves secos con cierto nivel de consolidación de un área de 89,44 hectáreas, y otra al S.O, con estanque de aguas ácidas de 27,45 hectáreas con una alta probabilidad de contaminación de los acuíferos subterráneos por infiltración de aguas ácidas a través del sustrato permeable.
3. La mala disposición de relaves en Quiulacocha-Pasco, generó pérdida de la laguna y biótica existente, contaminó las aguas y suelos afectando la salud de los pobladores.
4. La Empresa Estatal Activos Mineros, ejecuta la neutralización activa de aguas ácidas de PH 2,7 a razón de 50 litros por segundo con hidróxido de calcio con un consumo de 25 toneladas por día, derivando los lodos producto de la neutralización al depósito de relaves de Ocroyoc a razón de 32 toneladas por día. Esta operación debe continuar hasta disminuir la generación del DAM posterior al cierre de la primera etapa.
5. La propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco con el método de encapsulamiento con geomembrana y cubierta vegetal con el fin de remediar el ambiente en base a experiencias exitosas, favorece positivamente en su recuperación ambiental, para convertirlos en áreas verdes y ecológicas, mejorando y trayendo consigo beneficios ambientales, de salud, sociales y económicos.
6. Según la propuesta, la recuperación del depósito se desarrollará en dos etapas: La primera a mediano plazo, encapsulando el relave seco con geomembranas y siembra de pastos nativos,

controlando y minimizando la generación del drenaje ácido de mina en un área de 79.38 hectáreas. El cierre de la segunda etapa de 37.46 hectáreas será a largo plazo y estará en función al cierre definitivo de los desmontes de excelsior y desmontes de piratas, los que generan DAM y son aportantes de agua ácida al depósito de Quiulacocha, y cuando el nivel de aguas ácidas del estanque hayan disminuido a un volumen cero.

7. No existe una receta única universal para el tratamiento de los relaves mineros abandonados o en pos de cierre, ya que cada depósito es un caso particular, muy sui géneris, por el tipo de mineral depositado, volumen, composición química, relieve, factores climáticos, etc.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la aplicación de esta propuesta para el desarrollo del proyecto de recuperación ambiental y manejo de depósitos de relaves en Quiulacocha.
2. Se recomienda que las empresas mineras evalúen los efectos que produce la mala disposición de relaves para una correcta gestión y manejo según los establece el Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Energía y Minas.
3. Los depósitos de relaves tienen impactos negativos de largo plazo afectando a la población y los recursos naturales que lo componen, por ello es recomendable que la población tenga en cuenta estos criterios al momento de verificar una evaluación de un proyecto minero.
4. Se recomienda que el tratamiento de relaves mineros sea el más ecológico posible, porque ello permite que sea sostenible con el medio ambiente, si bien es cierto no es posible recuperar al 100% del área afectada, así como sus recursos, si es posible poder lograr un punto de quiebre y equilibrio ecológico en su recuperación.
5. Se recomienda que AMSAC inicie el estudio para el cierre definitivo del depósito de relaves de Quiulacocha, el que traerá consigo beneficios a la población del área de influencia de esta relavera.

Bibliografía

- Activos Mineros S.A.C. (s.f.). *Remediación Ambiental*. s.l.
- Alcántara, M. (2015). Recuperación de suelos de relaves mineros para invertirlos en áreas verdes en la planta piloto metalúrgica de Yauris-UNCP. *Convicciones*, 8.
- Almerco, P. (2014). *construcción de dique con tratamiento del relave, en mina catalinauanca – región Ayacucho*. Lima.
- Álvarez, M. J. (2017). *Sostenibilidad de tratamientos de residuos mineros asociada al riesgo*. Universidad de Oviedo, Departamento de Explotación y Prospección de Minas. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Arango, M., & Olaya, Y. (Noviembre de 2012). Problemática de los Pasivos Ambientales Mineros en Colombia. *Revista Gestion y Ambiente*(9).
- Banco Mundial y Programa de Asistencia Técnica al Ministerio de Energía y Minas del Perú. (s.f.). *Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros*. Guía.
- Behar, D. S. (2008). *Metodología de la Investigación*. s.l.: Shalom.
- Belling, M. (s.l.). Recuperado el 19 de Abril de 2018, de ProActivo: <https://proactivo.com.pe/quiulacocha-excelsior-el-deposito-de-plata-mas-grande-del-mundo-en-cerro-de-pasco/>
- Bianichi, F. (2009). *Evaluación de la La calidad de los Recursos Hídricos en la Provincia de Pasco y de la Salud en el Centro Poblado de Paragsha*. Cerro de Pasco.
- Castro, D. (23 de Diciembre de 2017). Recuperado el 19 de Abril de 2018, de La Línea de Fuego: <https://lalineadefuego.info/2017/06/22/la-devastacion-ambiental-de-la-mineria-en-america-latina-por-dalila-castro-fontanella/>
- Cedrón, M. F. (2013). *Elaboración de criterios para la transformación de pasivos mineros en activos socio - ambientales sostenibles*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Posgrado. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Chipoco Villalva, R. (s.f.). Recuperado el 20 de Abril de 2018, de Activos Mineros S.A.C.: <http://www.amsac.pe/index.php/remediacion-ambiental>
- Codelco Chile - Division Andina. (1994). *Sistema de Disposición de Relaves Largo Plazo*. Memoria Técnica, Santiago de Chile .
- Cruzado Medina, E., & Bravo Alarcon, F. (2010). *Impacto de los Relaves Mineros en el Perú*. Informe Temático, Departamento de Investigación y documentación Parlamentaria, Área de Servicios de Investigación, Lima.
- Díaz, J. (2013). *Tratamiento biológico como alternativa para disminuir el impacto ambiental ocasionado por el drenaje ácido, generado por la Actividad Minera en el Municipio de*

- Marmato- Caldas*. Universidad de Manizales, Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Manizales: Universidad de Manizales.
- Duarte Díaz, R. (1993). *Glosario Minero* (Segunda Edición ed.). Rancagua.
- Durán, P. A. (2010). *Transferencia de metales de suelo a planta en áreas*. Universidad de Barcelona, Huancavelica. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Espín, D. A. (2018). *Manejo, gestión, tratamiento y disposición final de los relaves generados por el beneficio del mineral obtenido de la explotación del Proyecto Río Blanco*. Universidad de las Fuerzas Armadas, Ciencias de la Tierra y Ambiente. Sangolquí: Universidad Fuerzas Armadas.
- Facultad de Ciencias Forestal y Conservación de la Natraleza. (2009). *Ambiente Forestal*. Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Helfgott, F. (2012). *Cerro de Pasco: Historia y Espacio Urbano*. Proyecto Afuera.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. (2014). *Metodología de la Investigación* (Quinta Edición ed.). México D.F.: McGrawHill.
- Huaña, O. (2015). *Diseño de depósito de relaves filtrados*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Inga, E. R. (2011). *Tratamiento de efluentes por el método de Pantanos Artificiales (Wetland)*. Universidad Nacional de Ingeniería , Facultad de Ingeniería Geología, Minera y Metalúrgica. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- López, P. R. (2011). *Fitorremediación en los suelos de Mayoc, San Mateo, Huarochirí - Lima*. Tesis de Maestria, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad De Ingeniería Geológica, Minera Y Metalúrgica, Lima.
- Maya, E. (2014). *Métodos y Técnicas de Investigación*. México D.F.
- Minera Las Cenizas S.A. (2006). *Los relaves*. Gerencia Operaciones Cabildo.
- Ministerio de Minas y Energía. (2003). *Glosario Técnico Minero*. Bogotá.
- Ministerio del Ambiente. (s.f.). *Glosario de Términos* . Direccion General de Calidad Ambiental, Lima.
- Montesinos, M. I. (2017). *Caracterización de efluentes de mina para elección de la alternativa óptima de tratamiento*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias de Ingeniería. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Nina, M. (2008). *Evaluación de los métodos químicos y biogénico para el tratamiento de drenaje ácido de mina a escala de laboratorio*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

- Niño, V. M. (2011). *Metodología de la Investigación*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2016). *Guía para la Fiscalización Ambiental a la Pequeña Minería y Minería Artesanal*. s.l.
- Ortiz, S. M. (2011). *Impacto ambiental producido por los botaderos de desmonte y PADS de lixiviación en la Mina Santa Rosa de Puno*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann - Tacna, Escuela de Posgrado Maestría . Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Ghohmann.
- Oyarzun, R., Higuera, P., & Lillo, J. (2011). *Minería Ambiental*. s.l.: GEMM.
- Ramírez Morandé, N. A. (2007). *Guía Técnica de Operación y Control de Depósitos de Relaves*. Documento Externo, Servicio Nacional de Geología y Minería, Departamento de Seguridad Minera, s.l.
- Ramos, E. (2008). Recuperado el 20 de Abril de 2018, de Gestipolis: <https://www.gestipolis.com/metodos-y-tecnicas-de-investigacion/>
- Red Muqui. (2015). *Los Pasivos Ambientales Mineros: Diagnóstico y Propuestas*. Cajamarca.
- Rodríguez, G. (2008). Recuperado el 19 de Abril de 2018, de Impacto Ambiental De La Minería En El Perú: <http://giancarlosmrt29.blogspot.pe/>
- Romero, A. (2015). *Tratamiento de relaves mineros contaminados con plantación de gramíneas (kikuyo) para convertirlos en áreas verdes en las minas de la Región central del Perú*. Huancayo.
- Romero, A. L. (2015). *Tratamientos de los Relaves mineros contaminados con plantación de gramíneas (Kikuyo) para convertirlos en áreas verdes en las minas de la Región Central del Perú*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería . Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Servicio de Geología y Minería. (s.f.). Recuperado el 18 de Abril de 2018, de Sernageomin: <http://www.sernageomin.cl/preguntas-frecuentes-sobre-relaves/>
- Servicio Nacional de Geología y Minería. (s.f.). *Depósito de Relaves en Chile*. Gobierno de Chile, Santiago de Chile.
- Sotomayor, A. (s.f.). *Remediación de Pasivos Ambientales Mineros*. Universidad de Lima, Lima.
- Southern Corpper. (s.f.). Recuperado el 20 de Abril de 2018, de Operaciones Integradas : <http://www.southernperu.com/ESP/opinte/Pages/PGGlosario.aspx>
- Surichaqui, R. (2016). *Estudio de la Metodología de Evaluación de Riesgos más eficaz para instalaciones abandonadas de residuos mineros*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Valenzuela, P. (2015). *Sistema de edición de la estabilidad de depósitos mineros de relave frente a la acción eólica, para su recuperación como espacio urbano sostenible. el caso de la ciudad de Copiapó en Chile*. Madrid.

Valenzuela, P. (2015). *Sistema de medición de la estabilidad de depósitos mineros de relave frente a la acción eólica, para su recuperación como espacio urbano sostenible. El caso de la ciudad de Copiapó en Chile*. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica superior de Arquitectura. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Vicente, A. (2015). *Metodología para la Remediación de Instalaciones de Residuos Mineros Procedentes de la Minería Metálica Orientada a la Reducción del Riesgo Ambiental y al Aprovechamiento de sus Residuos*. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. Madrid: Universidad de las Fuerzas Armadas.

ANA. (2015). Informe Técnico N° 074-2015-ANA-SGCRH - GOCRH

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de Consistencia:

Propuesta de Tratamiento del Depósito de Relaves de Quiulacocha-Pasco para su remediación ambiental basada en experiencias exitosas en empresas mineras.

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Problema General: ¿En qué medida favorece la propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco para su remediación ambiental basada en experiencias exitosas en empresas mineras?</p> <p>Problemas Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué efectos produce la mala disposición de relaves en de Quiulacocha-Pasco en el medio ambiente? • ¿En qué medida el depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco está impactando sobre el 	<p>Objetivo General: Determinar en qué medida favorece la propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco para su remediación ambiental basada en experiencias exitosas en empresas mineras</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar los efectos que produce la mala disposición de relaves en de Quiulacocha-Pasco en el medio ambiente. 	<p>Hipótesis General: La propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco favorece significativamente en su remediación ambiental basada en experiencias exitosas en empresas mineras.</p> <p>Hipótesis Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La mala disposición de relaves en de Quiulacocha-Pasco produce efectos significativos en el medio ambiente. 	<p>Variable Independientes :</p> <p>Propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco</p> <p>Variables Dependiente: Remediación ambiental basada en experiencias exitosas en empresas mineras.</p>	<p>Tipo de Investigación: Aplicada</p> <p>Nivel de Investigación: Descriptivo – Explicativo</p> <p>Método General: Método científico</p> <p>Método específico: Método histórico, analítico e inductivo.</p> <p>Diseño: No – experimental</p>	<p>Población: Depósito de relaves Quiulacocha</p> <p>Muestra: Elementos físicos involucrados en el depósito de relaves de Quiulacocha Pasco, como elementos metálicos, concentración de azufre en el depósito, PH del de las aguas ácidas del depósito y río san Juan, así como</p>	<p>Técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fichaje • encuesta <p>Instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ficha bibliográfica • Cuestionario de encuesta.

<p>medio acuático, suelos y poblaciones aledañas?</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué efectos produce el manejo de los relaves para el tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco? 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicar en qué medida el depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco está impactando sobre el medio acuático, suelos y poblaciones aledañas. • Conocer los efectos que produce el manejo de los relaves para el tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco 	<ul style="list-style-type: none"> • El depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco está impactando significativamente en el medio acuático, suelos y poblaciones aledañas. • El manejo de los relaves produce efectos significativos en el tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco • 			<p>muestras de plantas metalogénicas</p> <p>Muestreo: No probabilística, por conveniencia.</p>	
---	--	--	--	--	---	--

Anexo 2

Instrumento de recolección de datos

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON MENCIÓN EN MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE

CUESTIONARIO: PROPUESTA DE TRATAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCHA-PASCO PARA SU REMEDIACIÓN AMBIENTAL BASADA EN EXPERIENCIAS EXITOSAS EN

Buen día Sr(a), este es un cuestionario pretende recopilar información para determinar en qué medida favorece la propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco para su remediación ambiental basada en experiencias exitosas en empresas mineras.

I. INFORMACIÓN GENERAL

1.1. Sexo: M F 1.4. Edad años
 1.2. Grado de Instrucción: Primaria Secundaria Superior NA

II. PROPUESTA DE TRATAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCHA-PASCO PARA SU REMEDIACIÓN AMBIENTAL BASADA EN EXPERIENCIAS EXITOSAS EN EMPRESAS MINERAS

A continuación se presenta una serie de interrogantes con respecto a la propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco para su remediación ambiental basada en experiencias exitosas en empresas mineras:

Marque con un aspa (X) en cada cuadro

N°	ÍTEMS
Propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco	
1	¿Cuál es su ocupación o actividad principal?
	Minería <input type="checkbox"/> Pecuario <input type="checkbox"/> Servicios <input type="checkbox"/> Construcción Civil <input type="checkbox"/> Comercio <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>
2	¿Sabe usted que el depósito de relaves de Quiulacocha está afectando a su comunidad?
	Mucho <input type="checkbox"/> Poco <input type="checkbox"/> Muy poco <input type="checkbox"/> Nada <input type="checkbox"/>
3	Se está trabajando un proyecto para disminuir el impacto que produce el depósito de relaves de Quiulacocha, ¿Está usted de acuerdo a que se cristalice este proyecto?
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Desconoce <input type="checkbox"/>
4	Sabe Ud. ¿Cómo son tratados los relaves de Quiulacocha?
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
5	¿Sabe cómo fue la disposición de los relaves de Quiulacocha?
	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
6	¿En qué condiciones se realizaron las disposiciones de los relaves de Quiulacocha?
	Muy bueno <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Malo <input type="checkbox"/> Muy malo <input type="checkbox"/>
7	¿En qué condiciones se da el manejo de los relaves de Quiulacocha?
	Muy bueno <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Malo <input type="checkbox"/> Muy malo <input type="checkbox"/>
8	Existe un monitoreo o control de los relaves de Quiulacocha.

	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
9	¿Cada cuánto tiempo se da el monitoreo o control de los relaves de Quiulacocha?	
	Cada semana <input type="checkbox"/>	Cada mes <input type="checkbox"/> Una vez al año <input type="checkbox"/> Nunca <input type="checkbox"/>
10	¿Sabe Ud. En qué consiste el Plan de cierre de relaves?	
	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
11	¿Sabe si hubo, hay o habrá un proyecto de plan de cierre del depósito de relaves de Quiulacocha?	
	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/> Desconoce <input type="checkbox"/>
12	El mayor impacto que produce el depósito de relaves está relacionado con:	
	Agua <input type="checkbox"/>	Suelo <input type="checkbox"/> Aire <input type="checkbox"/> Todos los anteriores <input type="checkbox"/>
13	¿Tiene conocimiento que el depósito de relaves genera aguas ácidas y que contamina el río San Juan?	
	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
14	¿El depósito de relaves estará afectando la salud de la población?	
	Mucho <input type="checkbox"/>	Poco <input type="checkbox"/> Muy poco <input type="checkbox"/> Nada <input type="checkbox"/>
15	Si el depósito fallara ¿Cómo cree que impactaría en el medio ambiente?	
	Mucho <input type="checkbox"/>	Poco <input type="checkbox"/> Muy poco <input type="checkbox"/> Nada <input type="checkbox"/>
N°	ITEMS	
	Remediación ambiental basada en experiencias exitosas en empresas mineras.	
16	¿La empresa minera está cumpliendo con su rol de remediación en el depósito de Quiulacocha?	
	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/> Desconoce <input type="checkbox"/>
17	¿Su vivienda cuenta con los servicios básicos ?, marque más de una alternativa.	
	Agua potable <input type="checkbox"/>	Electricidad <input type="checkbox"/> desagüe <input type="checkbox"/> Telefonía fija/móvil <input type="checkbox"/>
18	¿Sabe Ud. El impacto que puede generar en el tiempo el no remediar el depósito de Quiulacocha?	
	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/> Desconoce <input type="checkbox"/>
19	¿Cómo cree que impactaría la contaminación que genera los relaves de Quiulacocha a corto plazo?	
	Afectaría severamente <input type="checkbox"/>	Afectaría de manera moderada <input type="checkbox"/> No Afectaría Nada <input type="checkbox"/>
20	¿Cómo cree que impactaría la contaminación que genera los relaves de Quiulacocha a largo plazo?	
	Afectaría severamente <input type="checkbox"/>	Afectaría de manera moderada <input type="checkbox"/> No Afectaría Nada <input type="checkbox"/>
21	¿Se podría revertir el impacto ambiental generado por los relaves de Quiulacocha?	

	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Desconoce <input type="checkbox"/>
21	¿Qué tanto se expande el impacto ambiental generado en su comunidad ?		
	Mucho <input type="checkbox"/>	Poco <input type="checkbox"/>	Muy poco <input type="checkbox"/> Nada <input type="checkbox"/>
22	¿Ha notado que otras comunidades se ven afectadas por la contaminación que genera los relaves de Quiulacochoa?		
	Si afecta <input type="checkbox"/>	No afecta <input type="checkbox"/>	desconoce <input type="checkbox"/>
23	¿Usted cree que se podría evitar el impacto ambiental generado por los relaves de Quiulacochoa?		
	Si se evitaría <input type="checkbox"/>	Sería inevitable <input type="checkbox"/>	
24	¿La empresa minera realiza charlas a la población con el fin de prevenir la contaminación producida por los relaves de Quiulacochoa?		
	Cada semana <input type="checkbox"/>	Cada mes <input type="checkbox"/>	una vez al año <input type="checkbox"/> Nunca <input type="checkbox"/>
25	¿Cree que podría contraer alguna enfermedad a causa de la contaminación que generan los relaves de Quiulacochoa?		
	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Desconoce <input type="checkbox"/>
26	¿Cuáles son las enfermedades más comunes que se presenta en su familia?		
	Gastrointestinales <input type="checkbox"/>	Broncopulmonares <input type="checkbox"/>	Cáncer <input type="checkbox"/>
	Plomo en sangre <input type="checkbox"/>	otros <input type="checkbox"/>	
27	¿Cree qué las enfermedades que contrajo su familia se deba a la contaminación que proviene de los relaves de Quiulacochoa?		
	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Desconoce <input type="checkbox"/>
28	¿Cómo cree que afecta la emisión de gases de los relaves de Quiulacochoa en la atmósfera?		
	Afecta severamente <input type="checkbox"/>	Afecta de manera moderada <input type="checkbox"/>	No Afecta Nada <input type="checkbox"/>
29	¿Cómo cree que se daría el impacto de los relaves de Quiulacochoa en los suelos?		
	Muy alto <input type="checkbox"/>	Moderadamente alto <input type="checkbox"/>	Poco <input type="checkbox"/> Muy Poco <input type="checkbox"/>
30	¿El impacto que generó los relaves de Quiulacochoa en el suelo, afectó la actividad agrícola de su comunidad?		
	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Desconoce <input type="checkbox"/>
31	¿Cómo cree que afecta la emisión de líquidos químicos de los relaves de Quiulacochoa en la las fuentes de agua superficiales de su comunidad?		
	Afecta severamente <input type="checkbox"/>	Afecta de manera moderada <input type="checkbox"/>	No Afecta Nada <input type="checkbox"/>
32	¿Cómo cree que afecta la emisión de líquidos químicos de los relaves de Quiulacochoa en la las fuentes de aguas subterráneas de su comunidad ?		
	Afecta severamente <input type="checkbox"/>	Afecta de manera moderada <input type="checkbox"/>	No Afecta Nada <input type="checkbox"/>
33	¿La contaminación de las aguas por parte de los relaves de Quiulacochoa, trajeron desastre de los ecosistemas acuáticos de su comunidad?		
	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Desconoce <input type="checkbox"/>

Anexo 3

Fotos



Canal de recolección de aguas ácidas al pie del talud de desmontes Excélsior
Fuente. Elaboración propia (2018)



Generación de óxidos y aguas ácidas del desmonte Excélsior por efectos del intemperismo
Fuente. Elaboración propia (2018)



Canal interceptor de aguas ácidas del desmonte Excélsior

Fuente. Elaboración propia (2018)



Vista panorámica del depósito de relaves de Quiulacocha vista de este a oeste

Fuente. Elaboración propia (2018)



Poza de recolección de aguas ácidas en el depósito de relaves Quiulacocha
Fuente. Elaboración propia (2018)



Poza de recolección de aguas ácidas en el depósito de relaves Quiulacocha vista desde el lado este.
Fuente. Elaboración propia (2018)



Espejo de aguas ácidas en la parte baja del depósito de relaves – Quiulacocha
Fuente. Elaboración propia (2018)



Vista parcial del espejo de aguas ácidas del depósito de relaves – Quiulacocha lado sur
Fuente. Elaboración propia (2018)



Vista panorámica del área seca del depósito de relaves Quiulacocha
Fuente. Elaboración propia (2018)



Espejo de aguas ácidas de la relavera Quiulacocha, lado sur oeste.
Fuente. Elaboración propia (2018)

Anexo 4

Análisis Químico


ACTIVOS MINEROS S.A.C.
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"


MEMORANDO 197-2018-GO	
Para	Roberto Chipoco Villalva, Responsable de la Entrega de Información
Asunto	Solicitud de Acceso de Información Pública
Referencia	a) Memorando 005-2018-REI/LTAIP b) Correo Electrónico del 01.03.2018
Fecha	08 de marzo de 2018

En atención a la solicitud del Memorando N° 005-2018-REI/LTAIP remito la siguiente información:

- Resultado de Composición Química Promedio de la muestra del depósito de Relaves Quiulacochoa:

Elementos	Fe	Cu	Pb	Zn	Mn	As	Insolubles
%	23.42	0.15	0.05	2.42	0.007	0.11	37.17

Fuente: PCPAM Excélsior y Quiulacochoa (2006)

- Resultado de Análisis Químico de las Aguas del Relave de Quiulacochoa: Agua sobrenadante de la presa de Relaves.

Parámetro	Valor
Metales Totales	
Arsénico	mg/L 0.013
Cobre	mg/L 7.230
Zinc	mg/L 1023
Hierro	mg/L 3493
Manganeso	mg/L 1606
Plomo	mg/L 0.040
Metales Disueltos	
Arsénico	mg/L 0.011
Cobre	mg/L 6.160
Zinc	mg/L 776
Hierro	mg/L 2379
Manganeso	mg/L 1570
Plomo	mg/L 0.026
Sulfatos (Total)	mg/L 24854

Fuente: PCPAM Excélsior y Quiulacochoa (2006)



Atentamente,

Edgar García García
Gerente de Operaciones (e)

Anexo 5

Resultados físicos, químicos de la sub cuenca del rio San Juan (afluente rio Ragra) (ANA - 2015)

Parámetro	ECA-Agua: Categoría 4 "Lagunas y Lagos"	Código	LAlca1	LAcuc1	LPunr1	ECA-Agua: Categoría 3 "Riego de vegetales y bebida de animales"	Código	RSJua1	RSJua2	RRagr1	RRagr2	RGash1	RRagr3	RSJua3	RSJua4	RSJua5	RAnda1	RSJua6	RSJua7	
		Fecha	13/10/2015	14/10/2015	14/10/2015		Fecha	13/10/2015	13/10/2015	14/10/2015	14/10/2015	15/10/2015	14/10/2015	15/10/2015	15/10/2015	16/10/2015	16/10/2015	16/10/2015	16/10/2015	16/10/2015
		Hora	08:50	09:45	11:00		Hora	10:00	11:00	13:30	14:00	16:00	12:35	15:30	17:00	14:15	13:30	12:30	11:15	
PARÁMETROS DE CAMPO																				
Oxígeno Disuelto	>= 5	mg/L	6.79	5.65	5.6	>= 4 (riego) > 5 (bebida)	mg/L	7.08	9.28	4.47	3.53	6.46	4.3	5.43	6.24	6.58	5.25	5.63	6.15	
pH	6.5-8.5	Unidad de pH	9.15	8.01	8.06	6.5-8.5 (riego) 6.5-8.4 (bebida)	Unidad de pH	8.51	8.4	8.46	7.29	8.28	8.44	7.98	8.28	8.03	3.87	7.51	8.52	
Temperatura	-	°C	13.11	13.08	14.14	-	°C	13.09	13.85	19.47	19.38	14.99	19.26	15.71	13.11	12.59	13.35	14.35	14.15	
Conductividad Eléctrica	-	µs/cm	100.8	177.5	210.7	< 2000 (riego) <= 5000 (bebida)	µs/cm	269.5	280.6	1464	730.5	219.8	1726	2122	638.2	497.3	7420	556.4	661.4	
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS																				
Aceites y Grasas	Ausencia de película visible	mg/L	-	-	-	1 (riego y bebida)	mg/L	ND (<1)	ND (<1)	ND (<1)	11	ND (<1)	15	1	ND (<1)					
Alcalinidad Total	-	mg/L	-	-	-	-	mg/L	154.0	166.1	427.6	172.1	121.8	271.0	167.7	109.0	113.4	ND (<0.3)	96.5	101.3	
Cianuro Libre	0.022	mg/L	ND (<0.004)	ND (<0.004)	ND (<0.004)	-	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cianuro WAD	-	mg/L	-	-	-	0.1 (riego y bebida)	mg/L	ND (<0.004)	0.092	0.036	ND (<0.004)	ND (<0.004)	ND (<0.004)	0.009						
Clorofila	10	mg/L	ND (<0.1)	ND (<0.1)	ND (<0.1)	-	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cloruros	-	mg/L	-	-	-	100-700 (riego)	mg/L	1.00	1.10	9.37	22.92	3.19	19.03	13.45	4.09	3.18	3.79	3.59	3.79	
Demanda Bioquímica de Oxígeno - DBO5	<5	mg/L	3	ND (<3)	4	15 (riego) <= 15 (bebida)	mg/L	ND (<3)	3	8	77	4	42	10	ND (<3)	6	48	6	6	
Demanda Química de Oxígeno - DQO	-	mg/L	-	ND (<6)	12	40 (riego y bebida)	mg/L	12	12	28	262	16	173	40	12	16	230	12	16	
Delejentes	-	mg/L	-	-	-	1 (riego y bebida)	mg/L	ND (<0.06)												
Fenoles	0.001	mg/L	ND (<0.0007)	ND (<0.0007)	ND (<0.0007)	0.001 (riego y bebida)	mg/L	ND (<0.0007)												
Fluoruro	0.4	mg/L	0.011	ND (<0.007)	0.014	1 (riego)	mg/L	0.008	0.022	0.018	0.134	0.033	0.074	ND (<0.0007)	ND (<0.0007)	ND (<0.0007)	ND (<0.0007)	0.025	ND (<0.0007)	
Mercurio Total	0.0001	mg/L	ND (<0.0001)	ND (<0.0001)	ND (<0.0001)	0.001 (riego y bebida)	mg/L	ND (<0.0001)	ND (<0.0001)	ND (<0.0001)	ND (<0.0001)	0.0002	ND (<0.0001)	0.0007	ND (<0.0001)	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	
Aluminio Total	-	mg/L	0.017	0.006	ND (<0.005)	5 (riego y bebida)	mg/L	0.012	0.015	0.320	0.469	0.121	0.558	5.596	0.107	0.178	228.6	1.166	0.219	
Ammonio Total	-	mg/L	ND (<0.006)	ND (<0.006)	ND (<0.006)	-	mg/L	ND (<0.006)	0.010	ND (<0.006)										
Arsénico Total	0.01	mg/L	ND (<0.007)	ND (<0.007)	ND (<0.007)	0.05 (riego) 0.1 (bebida)	mg/L	ND (<0.007)	ND (<0.007)	0.028	0.035	ND (<0.007)	0.033	ND (<0.007)	ND (<0.007)	ND (<0.007)	1.687	0.014	ND (<0.007)	
Bario Total	0.7	mg/L	0.007	0.006	0.030	0.7 (riego)	mg/L	0.032	0.023	0.032	0.019	0.027	0.039	0.197	0.036	0.035	0.316	0.041	0.039	
Bromo Total	-	mg/L	ND (<0.0005)	ND (<0.0005)	ND (<0.0005)	0.1 (bebida)	mg/L	ND (<0.0005)	0.0005	ND (<0.0005)										
Boro Total	-	mg/L	ND (<0.008)	ND (<0.008)	0.016	0.5-6 (riego) 5 (bebida)	mg/L	ND (<0.008)	ND (<0.008)	0.022	0.019	0.010	0.058	0.083	0.032	0.034	ND (<0.008)	0.037	0.118	
Cadmio Total	0.004	mg/L	ND (<0.001)	ND (<0.001)	ND (<0.001)	0.005 (riego) 0.01 (bebida)	mg/L	ND (<0.001)	ND (<0.001)	0.008	0.004	ND (<0.001)	0.007	ND (<0.001)	ND (<0.001)	ND (<0.001)	0.742	0.003	0.002	
Calcio Total	-	mg/L	15.58	31.17	37.72	200 (riego)	mg/L	42.19	44.16	209.9	75.37	45.06	292.9	359.4	110.3	72.55	426.7	75.62	88.04	

