

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del
Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**“PROPUESTA DE PLAN DE REVEGETACIÓN PARA EL PASIVO AMBIENTAL
MINERO N° 14582 EN LA PROVINCIA DE CAYLLOMA, AREQUIPA 2020”**

Tesis presentada por el Bachiller:

Peña Casanova, Oscar Isaac

para optar por el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Asesor:

Dr. Blgo. Arenazas Rodríguez,

Armando Jacinto

Arequipa-Perú

2021

DICTAMEN APROBATORIO DE BORRADOR

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA INGENIERIA AMBIENTAL TITULACIÓN CON TESIS DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 28 de Septiembre del 2021

Dictamen: 001070-C-EPIA-2021

Visto el borrador del expediente 001070, presentado por:

2014402471 - PEÑA CASANOVA OSCAR ISAAC

Titulado:

PROPUESTA DE PLAN DE REVEGETACIÓN PARA EL PASIVO AMBIENTAL MINERO N° 14582 EN
LA PROVINCIA DE CAYLLOMA, AREQUIPA 2020

Nuestro dictamen es:

APROBADO

2779 - LAZARTE ARREDONDO SONIA
DICTAMINADOR



2829 - ARENAZAS RODRIGUEZ ARMANDO JACINTO
DICTAMINADOR



7727 - CARDENAS PILLCO BERLY EDINSSON
DICTAMINADOR



Dedicatoria

A mi padre, quien, con su paciencia y sabiduría, me enseñó que cualquier problema es mucho más pequeño de lo que aparenta.

A mi madre, quien con su cariño y experiencias pudo forjar al hombre que soy hoy en día.

A mi abuelita, quien nunca dejó de creer en mí.

A mi abuelo, quien siempre fue una inspiración para ser una mejor persona.



Agradecimiento

Este trabajo de investigación no fue posible de realizar sin el apoyo constante de mis padres, Oscar y Fanny, los cuales jamás dudaron de mi capacidad y siempre me alentaron al término de este trabajo.

A Anghela Ortiz, quien siempre estuvo atenta a brindarme sus conocimientos y su apoyo en todos los aspectos.



“Nunca le des una espada a un hombre que no sabe bailar”

Confucio

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tiene como objetivo la formulación y descripción de una propuesta de plan de revegetación para el Pasivo Ambiental Minero N° 14582, ubicado en el distrito de Caylloma, con la finalidad de recuperar el ecosistema dañado por el relave de minerales muchos años atrás. Primero, mediante el inventario de pasivos ambientales mineros (MINEM), se seleccionó el PAM a revegetar, los parámetros se basaron en la cercanía de este con el pueblo del distrito de Caylloma y su peligro por la carretera cercana a la zona. Luego se elaboró la línea base ambiental del cuadrángulo 31-s y también de la zona impactada por el PAM, tomando en cuenta diversos estudios previos. Teniendo esta data, se procedió a la elaboración del plan.

Primero se determinó el uso futuro que tendrá el suelo revegetado, siendo este el uso silvopastoril, considerando las actividades antrópicas que se realizan en sus periferias. Luego se propuso la mejora de las propiedades del suelo, haciendo enmienda caliza y adición de fertilizantes, para aumentar el pH y la distribución de la materia orgánica. Después se realizó la selección adecuada de especies vegetales para la revegetación, que, por medio de matrices, estudios previos, recomendación es propuestas y disponibilidad de plántones, se obtuvo que lo más idóneo es la siembra de pastos altoandinos. Después se diseñó la disposición espacial de plántones, teniendo en cuenta los parámetros físicos del terreno, como la pendiente, la pedregosidad y la profundidad, optando por esto por la plantación tipo hileras para evitar la erosión del suelo y optimizar el aprovechamiento del terreno. Por último, teniendo como base todos los antecedentes, se elaboró la propuesta de plan de revegetación para el pasivo ambiental minero indicado

Palabras clave: Revegetación, pasivo ambiental minero, recuperación de ecosistemas, silvopastoril.

ABSTRACT

The objective of this research work is to formulate and describe a proposed revegetation plan for Mining Environmental Liability No. 14582, located in the Caylloma district, in order to recover the ecosystem damaged by the many mineral tailings. years ago. First, through the inventory of mining environmental liabilities (MINEM), the PAM was selected to be revegetated, the parameters were based on its proximity to the town of the Caylloma district and its danger from the road near the area. Then the environmental baseline of quadrangle 31-s was prepared and also of the area impacted by the PAM, taking into account various previous studies. Taking this data, the plan was drawn up.

First, the future use that the revegetated land will have was determined, this being the silvopastoral use, considering the anthropic activities that are carried out in its peripheries. Then the improvement of the soil properties was proposed, making limestone amendment and adding fertilizers, to increase the pH and the distribution of organic matter. Afterwards, the adequate selection of plant species for revegetation was carried out, which, through matrices, previous studies, recommendation of proposals and availability of seedlings, it was obtained that the most suitable is the sowing of high Andean grasses. Afterwards, the spatial arrangement of the seedlings was designed, taking into account the physical parameters of the terrain, such as the slope, the rockiness and the depth, opting for this for the row-type plantation to avoid soil erosion and optimize the use of the land. Finally, based on all the background information, the proposed revegetation plan for the indicated mining environmental liability was prepared.

Keywords: Revegetation, mining environmental liability, ecosystem recovery, silvopastoral.

INTRODUCCIÓN

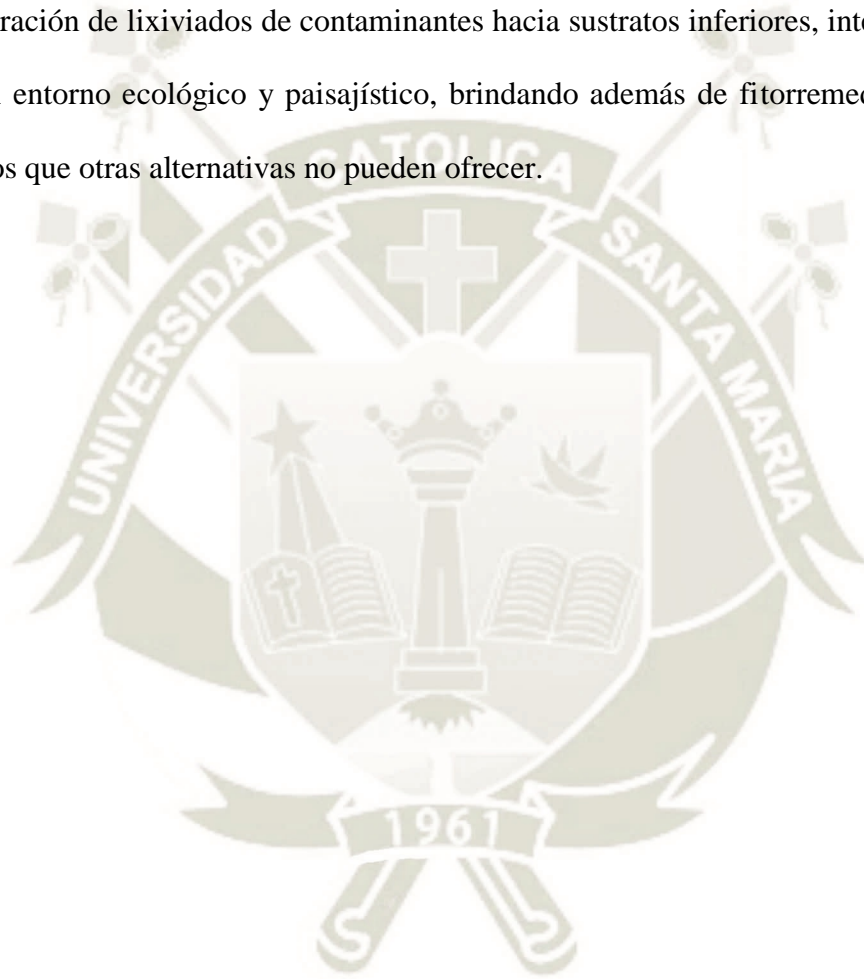
La región de Arequipa se ha convertido en los últimos años en una de las ciudades empresariales más importantes del país, destacando la minería, turismo e industria, todo esto contribuye al crecimiento económico de la región. En las provincias de la sierra alta, como Caylloma, Condesuyos y Castilla, se caracterizan por la gran presencia de minerales, es por ellos que grandes empresas mineras se han asentado en esas zonas, tal es el caso de la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A., Compañía Minera Ares S.A.C., CEDIMIN –Paula S.A.C., CEDIMIN – Shila S.A.C., Minera Bateas S.A.C., Minera Yanaquihua S.A.C, etc. Para aproximadamente más de 275 Tnf de plomo, 15 tnf de cobre y 584 tnf de zinc, solo en la provincia de Caylloma.

Por la gran presencia de minerales en la zona, también se realizan actividades extractivas de manera ilícita, conformándose así la minería ilegal, que es la actividad que se realiza en lugares, zonas o espacios prohibidos, como riberas de ríos, lagunas, cabeceras de cuenca y zonas de amortiguamiento de áreas naturales protegida (MINAM, 2020). Es así que, en sus procesos, no tienen establecido planes de contingencia o de cierre, generando pasivos ambientales mineros (PAMs) al cese de operaciones. Los PAMs más comunes son los botaderos de desmonte y depósitos de relaves.

Los relaves mineros se generan principalmente en el proceso de flotación del mineral, para desprenderlo de la roca, se definen como el deshecho mineral sólido, de tamaño entre arena y limo provenientes de la concentración donde son producidos, transportados y depositados en formas de lodo. Ya que estos no tienen ningún plan de cierre al acabar las operaciones, impacta al ecosistema donde es generado, debilitando la resiliencia natural del suelo y volviéndolo eriazos, contaminando el aire por el aumento de partículas en suspensión en el aire, procedente principalmente de las balsas o pantanos de finos, pero también de las escombreras y corta, que pasan a ser fuentes de

emisión de partículas según las condiciones meteorológicas reinantes. Es por lo mencionado que se deben de buscar alternativas para remediar las zonas impactadas por los PAMs.

La revegetación de zonas de relaves mineros, además de ser novedosa, es una buena alternativa para recuperar ecosistemas impactados por químicos de relaves, disminuir el riesgo de erosión del suelo e infiltración de lixiviados de contaminantes hacia sustratos inferiores, integrando las obras realizadas al entorno ecológico y paisajístico, brindando además de fitorremediación, servicios ecosistémicos que otras alternativas no pueden ofrecer.



Contenido

DICTAMEN APROBATORIO DE BORRADOR	ii
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN	vii
CAPITULO I	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 Descripción de la situación problemática.....	2
1.2 Formulación del problema	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General:	4
1.3.2 Objetivos específicos:.....	4
1.4 Justificación.....	4
1.4.1 Social:.....	5
1.4.2 Ambiental:	5
1.4.3 Económica:.....	5
1.5 Limitaciones del estudio.....	5
CAPÍTULO II	7
2. FUNDAMENTO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes de la investigación	8
2.2 Bases teóricas	13
2.2.1 Suelo	13
2.2.2 Contaminación del suelo por explotaciones mineras	15
2.2.3 Agua.....	16
2.2.4 Aire	18
2.2.5 Metales pesados.....	19
2.2.6 Drenaje Ácido de Roca (DAR).....	20
2.2.7 Pasivos Ambientales Mineros (PAM)	22
2.2.8 Gestión de Pasivos Ambientales Mineros en el Perú	26
	ix

2.2.9 Revegetación en suelos impactados por actividades mineras	32
2.2.10 Funciones de la Vegetación.....	34
2.3 Marco legal.....	37
2.3.1 Constitución Política del Perú 1993	37
2.3.2 Ley General del Ambiente - Ley N° 28611.....	37
2.3.3 Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera - Ley N° 28271	38
2.3.3 Ley orgánica de Municipalidades - Ley N° 27972	38
2.4 Definición de términos básicos	38
CAPÍTULO III.....	40
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
3.1 Tipo De investigación	41
3.2 Área de estudio.....	41
3.3 Técnicas e instrumentos para recolección de datos.....	45
3.3.1 Observación	45
3.3.2 Cuestionario.....	46
3.3.3 Procesamiento de datos estadísticos:.....	46
3.3.4 Análisis de estudios realizados en la zona:.....	46
3.4 Materiales.....	46
3.5 Descripción de la metodología.....	47
3.5.1 Elaboración de una línea base ambiental del cuadrángulo 31-s	48
3.5.2 Determinación del uso futuro del suelo a revegetar	56
3.5.3 Propuesta de medidas para mejorar las propiedades del suelo destinado a la revegetación.....	57
3.5.4 Selección de especies vegetales.....	57
3.5.5 Elaboración de la Propuesta de Plan de revegetación para el Pasivo Ambiental Minero N° 14582 en el distrito de Caylloma	62
CAPÍTULO IV.....	64
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
4.1 Elaboración de una línea base ambiental del cuadrángulo 31-s.....	65
4.1.1 Características geológicas.....	65
4.1.2 Características hidrogeológicas	66
4.1.3 Características hidrológicas.....	68

4.1.4 Características topográficas.....	70
4.1.5 Cobertura vegetal.....	70
4.1.6 Características del suelo.....	73
4.1.7 Uso actual de la tierra.....	76
4.1.8 Uso histórico de la tierra.....	79
4.1.9 Datos climáticos.....	80
4.1.10 Calificación de Prioridad de Remediación del Pasivo Ambiental Minero.....	85
4.1.11 Levantamiento técnico del sitio.....	95
4.1.12 Propiedades del suelo contaminado.....	98
4.2 Determinación del uso futuro del suelo.....	102
4.3 Propuesta de medidas para mejorar las propiedades del suelo impactado.....	102
4.3.1 Cobertura técnica.....	103
4.3.2 Fertilización.....	104
4.4 Selección de especies vegetales.....	105
4.4.1 Tipo de residuo.....	105
4.4.2 Clima.....	106
4.4.3 Uso del Suelo.....	108
4.4.4 Selección de especies vegetales.....	108
4.4.5 Obtención de los plantones para la revegetación.....	113
4.4.6 Diseño de la disposición espacial de las especies vegetales.....	114
4.5 Elaboración de la propuesta de Plan de Revegetación para el Pasivo Ambiental Minero N° 14582 en el distrito de Caylloma.....	115
4.6 Discusión.....	116
CAPÍTULO V.....	119
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	120
5.1 Conclusiones.....	120
5.2 Recomendaciones.....	121
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122
Complemento.....	132

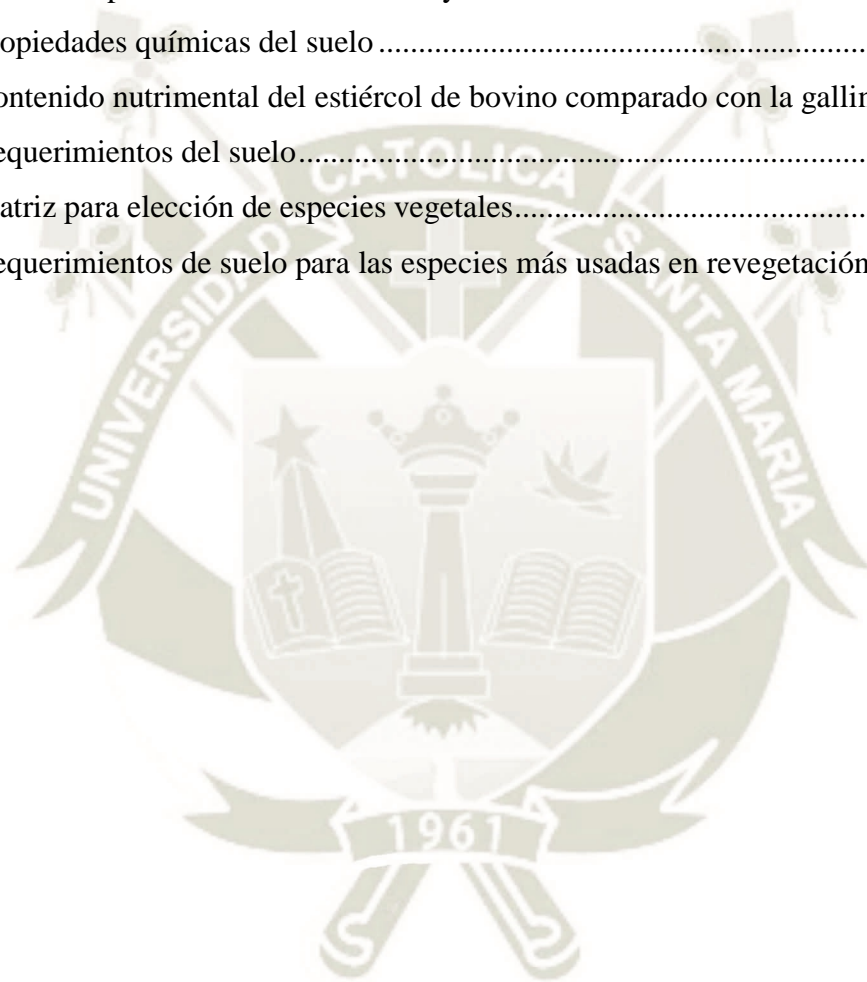
ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Origen del drenaje ácido de roca	21
Figura 2. Pasivo ambiental minero abandonado	22
Figura 3 Pasivo desmonte en Proyecto Chugur	25
Figura 4. Botadero central de Tintaya.....	32
Figura 5. Revegetación de suelos afectados por las emisiones del complejo metalúrgico La Oroya	33
Figura 6. Mapa de la región de Arequipa	42
Figura 7. Ruta hacia la zona de estudio desde el centro poblado, vía imagen satelital	43
Figura 8. Delimitación del PAM.....	44
Figura 9. Características geológicas de cuadrángulo 31-s	66
Figura 10. Bofedal	71
Figura 11. Pajonal de Puna	72
Figura 12. Roquedal.....	73
Figura 13. Rosa de vientos del distrito de Caylloma	84
Figura 14. Comparación del suelo del PAM con la periferia no contaminada	95
Figura 15. Parámetros y métodos de ensayo.....	100
Figura 16. Temperatura mensual y anual del distrito de Caylloma	106
Figura 17. Precipitación mensual y anual del distrito de Caylloma	107
Figura 18. Proceso de trasplantar pastos a través de esquejes o hijuelos	113
Figura 19. Sembrado en hileras	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la revegetación	33
Tabla 2. Delimitación del PAM	43
Tabla 3. Parámetros para la elección de prioridad de remediación del PAM	50
Tabla 4. Categorías para la calificación del PAM	50
Tabla 5. Matriz de riesgos a la seguridad humana.....	50
Tabla 6. Matriz de riesgos a la salud humana y ambiental	52
Tabla 7. Matriz de riesgos a la fauna silvestre y la conservación.....	53
Tabla 8. Priorización y validación del PAM.....	55
Tabla 9. Resultados de la priorización y validación del PAM.....	56
Tabla 10. Focos potenciales de contaminación producidos por el PAM	56
Tabla 11. Consideraciones para la selección de plantas	57
Tabla 12. Limitaciones con diferentes sistemas de plantación de pastos.	61
Tabla 13. Características hidrogeológicas del área de Santiago	67
Tabla 14. Nivel de pendientes de la zona	70
Tabla 15. Características del suelo.....	74
Tabla 16. Unidades del suelo y/o áreas misceláneas	74
Tabla 17. Categorías del uso de la tierra.....	76
Tabla 18. Estaciones meteorológicas.....	81
Tabla 19. Temperatura mensual y promedio anual.....	81
Tabla 20. Estaciones meteorológicas.....	82
Tabla 21. Precipitación mensual y promedio anual	83
Tabla 22. Contaminantes del aire.....	84
Tabla 23. Parámetro para la elección de prioridad de remediación del PAM	85
Tabla 24 Categorías para la calificación del PAM	87
Tabla 25. Riesgos del PAM	87
Tabla 26. Matriz de Riesgo a la seguridad humana	88
Tabla 27. Matriz de Riesgos a la salud humana y ambiental.....	90
Tabla 28. Matriz de Riesgos a la fauna silvestre y la conservación	92
Tabla 29. Puntaje de Riesgos	94

Tabla 30. Priorización y validación del PAM.....	96
Tabla 31. Resultados de la priorización y validación del PAM.....	96
Tabla 32. Focos potenciales de contaminación por el PAM.....	97
Tabla 33. Localización y puntos de muestreo.....	99
Tabla 34. Resultados del muestreo	101
Tabla 35. Población pecuaria del distrito de Caylloma	102
Tabla 36. Propiedades químicas del suelo	103
Tabla 37. Contenido nutrimental del estiércol de bovino comparado con la gallinaza	105
Tabla 38. Requerimientos del suelo.....	108
Tabla 39. Matriz para elección de especies vegetales.....	109
Tabla 40. Requerimientos de suelo para las especies más usadas en revegetación	112





1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la situación problemática

Los pasivos ambientales son aquellos efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por actividades mineras a lo largo de su ciclo de vida (exploración, construcción, operación, cierre, etc.) y que en la actualidad representan operaciones abandonadas, en el Perú existen más de 8840 PAMs; de esta cifra 316 se encuentran en la región Arequipa. (SINIA, 2020)

Presentan diversas sustancias tóxicas derivadas de las operaciones mineras ilegales e informales, los cuales provocan pérdida del ecosistema, daños a la salud, disminución de la calidad de vida o bienes públicos y privados. Constituyendo un potencial riesgo de contaminación ambiental, en la constitución no existe un marco legal de indemnización o reparación de daños ambientales generados por PAMs, solo instrumentos de prevención, remediación y compensación.

Los suelos afectados con metales pesados pierden su fertilidad, lo cual los hace eriazos, y sus propiedades, como los nutrientes y la capacidad de intercambio catiónico, dejándolos sin oportunidad de resiliencia natural. (Espín, Jarrín y Escobar 2017)

En tanto a los cuerpos de agua, se ven afectados por la liberación de contaminantes tóxicos que sobrepasan el nivel freático y la infiltración representan una fuente de contaminación de aguas subterráneas, alterando el régimen hidrológico de la zona. (Chávez, M. 2015)

Otro problema se presenta por la dispersión eólica de contaminantes, ya que, al no encontrarse vegetación y recubrimiento de suelo, aumenta significativamente la erosión y la producción de polvo, dispersándose en el aire y aumentando la concentración de partículas en suspensión

(Romero, A. & García, G. 2007), que en este caso es nocivo para la población por su contenido en elementos metálicos, afectando órganos internos, por la falta de oxígeno que provoca su ingesta.

Solo el 23% de los pasivos ambientales mineros están siendo gestionados, estos representan áreas donde existe la necesidad de restauración, mitigación o compensación por un daño ambiental o impacto no gestionado por parte del estado.

Es por ello, que se escogió al Pasivo Ambiental Minero con ID N°14582, CÓDIGO DERECHO MINERO N° 540002908;540018410, ubicado en el Distrito de Caylloma, en la provincia de Caylloma, georreferenciado en la zona 19 L 203298.00 m E, 8319603.00 m N; ubicado a 1.13 km del centro poblado “Caylloma”, ya representa el PAM más cercano a la población del distrito ya mencionado, siendo su presencia fuente de peligro hacia los pobladores, la flora y fauna del ecosistema circundante, las sustancias de interés más relevantes son los metales pesados contenidos en el relave, en este caso presenta arsénico y pequeñas cantidades de mercurio, se busca la recuperación de este ecosistema, con medidas que disminuyan la contaminación por lixiviados, infiltración de contaminantes y riesgo de erosión de suelos. La revegetación de coberturas de relaves, tiene como objetivo recuperar las condiciones iniciales que presentaban las áreas disturbadas o proporcionar condiciones ecosistémicas óptimas para éstas, ayudando a la protección del bienestar y la salud, eliminando los efectos ambientales negativos asociados a la actividad minera ilegal, considerando un entorno ecológico y paisajístico.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo se puede gestionar un pasivo ambiental minero, a un costo relativamente bajo y con un método no tan complejo?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General:

Proponer un plan de revegetación para el Pasivo ambiental minero N° 14582 ubicado en el distrito de Caylloma.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Elaborar una línea base ambiental del cuadrángulo 31-s.
- Determinar el uso futuro del suelo a revegetar.
- Proponer medidas para mejorar las propiedades del suelo destinado a la revegetación.
- Seleccionar las especies vegetales adecuadas para el proceso de revegetación.
- Elaborar la propuesta de plan de revegetación para el Pasivo Ambiental Minero N° 14582 ubicado en el distrito de Caylloma.

1.4 Justificación

1.4.1 Social:

Se desea la mejora de la calidad de vida de los pobladores cercanos a la zona afectada, ya que su ambiente estará libre de metales pesados lo que favorecerá las actividades económicas de los pobladores, como agricultura y ganadería, para que no se vean afectadas por la contaminación del PAM, y también la implementación de servicios ecosistémicos.

1.4.2 Ambiental:

La ley general del ambiente en el artículo número I indica que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, los Pasivos Ambientales Mineros, que no son gestionados generan intoxicación de suelos, pérdida de especies, desertificación en algunos casos y por dispersión, daño a los seres vivos circundantes. Por todo lo descrito, se espera recuperar la calidad ambiental de la zona afectada, protegiendo la biodiversidad presente y por consecuencia la disminución de la contaminación.

1.4.3 Económica:

La recuperación de los servicios ecosistémicos de la zona afectada, como también los bienes que esta podría ofrecer; por otro lado, podría extraerse del PAM, el mineral que fue explotado anteriormente y que aún estaría presente en el relave, para su posterior comercialización.

1.5 Limitaciones del estudio

- Dificultad para el establecimiento de especies vegetales, en pendientes altas.
- Susceptibilidad a quemas, ya que es una práctica común en zonas alto andinas.

- Carencia de experiencia, ya que es una técnica relativamente novedosa.
- Presencia de animales.
- Posible falta de especies vegetales requeridas en la zona.





CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

*En la reforestación de las zonas contaminadas con metales pesados, se produce una restauración ecológica con la aparición de comunidades microbianas. Según los autores Wu, Z; Yu, F; Sun, X; Wu, S; Li, X; Liu, T; & Li, Y (2018); encontraron el papel positivo de la revegetación de *L. bicolor* en el desarrollo de la diversidad bacteriana en los relaves mineros ácidos. Además, con el *L. bicolor* de 30 años, hizo que la estructura de la comunidad microbiana de la revegetación, fuera más homogénea, como una disminución de la desemejanza en los relaves que fueron identificados durante los tiempos de muestreo. El análisis de redundancia en el nivel OTU indico que Olsen P. y pH fueron los principales reguladores de la composición microbiana, lo que sugiere que el P, y el pH del suelo son determinantes para la ecología de restauración y desarrollo de comunidades microbianas en relaves mineros ácidos.*

*Según Paredes Mur (2015), algunas especies de plantas endémicas de la serranía peruana, demostraron tener la capacidad de ser fitorremediadoras de suelos contaminados con relaves mineros, tal es el caso de la *Acacia visco*, *Buddleja Coriacea*, *Eucalyptus globulus*, *Myoporum laetum*, *Polylepis racemosa* y *Schinus molle*. Siendo las principales opciones para poder utilizarlas en un proceso de fitoextracción y fitoestabilización de metales, ya que además de demostrar su hipertolerancia hacia suelos contaminados (antimonio (Sb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), plata (Ag y plomo (Pb)), soportan las duras condiciones climáticas del altiplano peruano.*

Diversos estudios presentados por el autor Guerrero Centurión (2017), demuestran que existen en todo el Perú diversas experiencias exitosas de revegetación de pasivos ambientales mineros, como por ejemplo en los depósitos de relaves mineros de la Ex unidad Minera Colquirrumi, ubicada en el sector San Agustín, distrito y provincia de Hualgayoc en el departamento de Cajamarca, este es el que presenta una gestión para un relave en abandono, y los resultados que se obtienen de esta experiencia muestran que el impacto paisajístico conlleva la revegetación es evidente y superior al plan de cierre de pasivos, ya que los relaves abandonados pueden ser vistos por pobladores cercanos y los que aún están en la etapa de explotación, mayormente se encuentran restringidos.

*La investigación propuesta por Aranibar y Ortiz (2015), indica que hay una gran cantidad de especies metalofitas, tales como la Llanta (*Margyricarpus pinnatus*), T'isña ichu (*Stipa obtusa* Nees et), Ichu (*Muhlenbergia angustata*), Pampa –yareta (*Azorella monantha*), etc. Estas fueron registradas en relaves mineros del altiplano de la región Puno, con un clima semi seco y frío, ubicados en la planta concentradora Tiquillaca –UNAP, planta concentradora Crucero Alto – UNAP, relave Juncal San Antonio de Esquilache y relave Lunar de Oro –Ananea. Concluyendo que estas especies tienen la capacidad de remover los metales pesados presentes, concentrándolos en sus raíces, presentando mecanismos de fitoestabilización, en su etapa de floración, categorizándolos como plantas metalofitas endémicas tipo pseudometalofitas.*

El plan de monitoreo de una zona revegetada, debe ser necesariamente implementado en el plan para poder verificar la sostenibilidad y la similitud hacia los ecosistemas circundantes, según la experiencia de Garate (2018), trabajada en Madre de Dios, concluyó que mediante el cobro de servicios ecosistémicos, es viable la solvencia de este tipo de proyectos.

En la “Guía para el Diseño de Cobertura de Depósitos de Residuos Mineros”, documento publicado por Wilson, Brussière y Guerrero (2007), para el Ministerio de Energía y Minas, se recopilaron casos sobre experiencias exitosas de revegetación en coberturas de relaves y rocas de desmonte en la sierra peruana:

✓ *El primer caso que detalla tiene lugar en el distrito de Huachocolpa, provincia de Huancavelica y departamento de Huancavelica, comprendido entre una altitud de 4335 m.s.n.m. hasta los 5000 m.s.n.m. presentando un clima frígido, a cargo de la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A –Unidad Minera Recuperada –Huancavelica. Fueron 2 los depósitos de relaves abandonados por 20 años (aproximadamente), que se revegetaron, ubicados en ambas márgenes del río Pallcapampa, por lo que no tenían protección contra la erosión hídrica y eólica, la cobertura tecina que se utilizó fue:*

- 1. Se aplicó una capa de 40 cm de cascajo arcilloso (capa impermeable, luego de su compactación).*
- 2. Después, se aplicó 20 cm de tierra vegetal.*
- 3. Luego 5 mm de estiércol de ovino.*
- 4. Finalmente se utilizó la siembra al voleo de forma manual.*

*Para la siembra, se trataron de cubrir todos los espacios posibles, dando como resultado una densidad aproximada de 50 kg/a de semillas de Ray grass inglés (*Lolium perenne*) y *Dactylis* (*Dactylis glomerata*), germinando a los 14 y 20 días respectivamente, disminuyendo notablemente la erosión en épocas de lluvias.*

✓ *El segundo caso tiene lugar en el distrito de Yanacocha, provincia de Cerro de Pasco, departamento de Cerro de Pasco, comprendido entre una altitud de 4200 m.s.n.m. presentando un clima frígido con temperaturas anuales entre los 3 °C y 6 °C, a cargo de la CIA Minera Milpo (MILPO), la revegetación se realizó en relaves abandonados por 30 años (aproximadamente), la cobertura técnica que se utilizó fue:*

- 1. Primero se aplicó una capa de 10 cm de tierra avícola.*
- 2. Después una capa de 5 mm de tierra negra.*
- 3. Finalmente se usó la tercera capa para la siembra de especies arbóreas.*

Las especies que se utilizaron fueron el Colle (Buddleia spp), Taya (Baccharis tricuneata) y especies forrajeras como alfalfa (Medicago sativa), Trébol blanco (Trofollum pretense), Dactylis (Dactylis glomerata), Ray grass inglés (Lolium perenne), etc. La especie que tuvo la mejor tolerancia fue el Colle, que presentó una buena supervivencia al inicio de la plantación.

✓ *En cuanto al tercer caso, este se presenta en el distrito de Quiulacocha, provincia de Oxapampa, departamento de Cerro de Pasco, comprendido a una altitud de 4300 m.s.n.m. la revegetación se realizó en el depósito de relaves de Quiulacocha, que comprende 141.8 ha, para la revegetación se consideró 2202 m², distribuidos en zonas estratégicas ubicadas en las zonas oeste, medio y este, contando cada una con 736 m² cada una, la cobertura técnica que se utilizó fue:*

- 1. La cobertura inicial fue la aplicación de 20 cm de arcilla.*
- 2. Después se aplicó una capa de 10 cm de material calcáreo.*

3. *Luego de este 20 cm de tierra vegetal.*

4. *Finalmente, por encima es estas se sembraron esquejes de especies arbóreas.*

*Las especies utilizadas fueron el Ichu (*Stipa ichu*), Calamagrostis vicunarium, alfalfa (*Medicago sativa*) y semillas de Trébol rojo (*Trifolium pretense*), Trébol blanco (*Trifolium repens*), Dactylis (*Dactylis glomerata*), Ray grass inglés (*Lolium perenne*).
Luego de analizar las muestras de plantas se encontró que a pesar de que las especies no tuvieron contacto directo con el relave, estas acumularon metales como zinc, plomo, cadmio y hierro.*

- ✓ *El último caso detalla las experiencias exitosas de revegetación a cargo de la Empresa Minera Yanacocha, contando un total de 1903 hs totales de revegetación, las especies más utilizadas fueron las Dactylis Potomac (55kg/ha) y Ray grass inglés (*Lolium perenne*) (95 kg/ha), en el caso de especies nativas, la más utilizada fue la Poa anual (*Poa annua*). La técnica de siembra fue manual al voleo en surcos, distanciándolos por 1 metro, en otros casos de pendientes muy inclinadas, se utilizó el método de la hidrosiembra, como conclusión destaca a la revegetación como una fuente potencial de trabajo, impulsando el desarrollo local.*

Un nuevo mecanismo de tratamiento de relaves se está trabajando en Indonesia, ya que, con algunas especies vegetales, pueden acumular oro residual en su biomasa aérea, un experimento realizado por Krisnayanti, B; Anderson, C; Sukartono, S; Afandi, Y; Suheri, H & Ekawanti, A (2016), demuestra que esta opción es viable, ya que utilizaron el tabaco para tratar el cianuro. El tabaco se sembró en colas de cianuración (1mg/kg de oro) y se cultivó durante 2.5 meses (aproximadamente) antes de que sea irrigado con NaCN, para inducir la absorción de metal.

Posteriormente, los mineros recogieron la biomasa (100 kg), la secó al aire y la incineraron en un equipo que actualmente se separa cenizas de carbón activado al final de un circuito de lixiviación de cianuro. El bórax y la plata como metal colector, se añadieron a la ceniza de tabaco y se fundieron a alta temperatura para extraer metales de la ceniza. La masa del lingote final (39 g) fue mayor que la masa de plata utilizada como colector (31 g), lo que indica la recuperación de metales de la biomasa a través del proceso de fundición. El rendimiento de oro de esta prueba fue bajo (1.2 mg/kg de concentración de biomasa en peso seco), lo que indica que aún se deben realizar un trabajo considerable para optimizar la recuperación valiosa de metales por parte de las plantas en la escala de campo.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Suelo

El significado de “suelo”, abarca muchos conceptos, para el presente trabajo de investigación, se utilizará el usado por la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo lo define como: mineral no consolidado sobre la superficie del planeta, que sirve como ambiente natural para el desarrollo de las plantas, y de toda forma de vida, que a lo largo de la historia ha sido influenciado por factores climáticos, genéticos y biológicos, originando así un producto con características biológicas, físicas y químicas únicas, difiriendo totalmente del material del cual se origina, incluso en su morfología. (SSSA, 1984)

2.2.1.1 Calidad del suelo

Según el Comité para la Salud del Suelo de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo, la calidad del suelo se define como la facultad del suelo para ser un componente funcional dentro de los límites del ecosistema natural o manipulado, en el que se encuentra. Tiene la capacidad para mantener la producción de los seres vivos (animales y plantas), sostener y/o aumentar la calidad de aire, agua, la salud humana y todo el hábitat en general. Los conceptos más vanguardistas, se basan principalmente en las diversas funciones que tiene el suelo en todo el medio ambiente, por lo que éste sigue evolucionando a medida que se encuentren más usos y propiedades. (Singer y Ewing, 2000)

Por otra parte, la Guía para el Muestreo de Suelos del MINAM (D.S N° 002-2013-MINAM), define a este término como la idoneidad habitual del suelo para poder cumplir variadas funciones, como son las ecológicas, agrícolas, económicas, históricas, culturales y de ocio/recreacionales.

2.2.1.2 Contaminación del suelo

Consiste en la degradación de las propiedades físicas y químicas del suelo, que originan la pérdida parcial o total de la utilidad de éste, como resultado del almacenamiento de sustancias ajenas al entorno natural, en altas concentraciones y densidades, que superan la capacidad de resiliencia natural y que cambian perjudicialmente sus propiedades iniciales.

Esta deposición de sustancias tóxicas, se deben principalmente al mal manejo de residuos de las actividades antrópicas, y también en un pequeño porcentaje cuando las rocas liberan elementos químicos contenidos, en el proceso de edafización.

Como ejemplo de la edafización natural, se han encontrado suelos con alto contenido de metales pesados (Cr, Cu, Mn, Ni), desarrollados por encima de rocas serpentizadas. (Macías, 1993)

2.2.1.3 Tipos de suelos en Arequipa

Los suelos en Arequipa tienen abundantes afloramientos rocosos, con suelos escasamente desarrollados, de grosos fino, que se asientan sobre rocas líticas, algunos suelos contienen abundante materia orgánica, que se evidencia en la coloración oscura que presentan, también están compuestos por materiales provenientes de vidrios volcánicos y diversos minerales.

La clasificación de suelos brindada por MINAGRI, muestra que la parte central de Arequipa (sierra alta) presenta los siguientes tipos de suelos:

- Leptosol distrito – Androsol vitrico
- Leptosol lítico – Afloramiento lítico

Estos tipos de suelos, fueron clasificados por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).

Según la Clasificación Taxonómica de Suelos, presenta una equivalencia en los suelos ya mencionados, la igualdad se establece de la siguiente manera:

- Leptosol distrito → Lithic Torriorthents/L. Ustorthents/L. Cryorthens.
- Andosol vitrico → Typic Haplotorrands/T. Haplustands/T. Haplocryands.

2.2.2 Contaminación del suelo por explotaciones mineras

Los suelos contaminados por actividades mineras, producen, casi siempre, grandes impactos ambientales negativos, uno de estos es la destrucción de las propiedades y características naturales del suelo con el que tiene contacto, provocando la creación de suelos relativamente nuevos

(Antrosoles), que poseen propiedades biológicas, químicas y físicas antagónicas para la producción de especies vegetales, lo que lo vuelve totalmente eriazo.

En cuanto a los impactos en las propiedades físicas, se presenta un estrago enorme en la estructura del suelo, comúnmente en el decrecimiento de la fracción de arcilla a favor de las fracciones más gruesas. Las propiedades químicas se ven afectadas con el proceso de acidificación asociada a procesos de oxidación, lo que estimula el movimiento de las sustancias tóxicas que restringen la actividad y procesos biológicos. La destrucción de las capas superficiales activas con materia orgánica y biológica, esto interrumpe por completo el curso de los ciclos biogeoquímicos, esto causa la incapacidad de poder asentar las raíces de las plantas y una nula retención de agua por la insuficiente materia orgánica y partículas finas. (Macías, 1993)

2.2.3 Agua

Compuesto elemental para el desarrollo de la vida terrestre, contiene en su composición 2 átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Comúnmente se refiere así a la sustancia en estado líquido, pero se puede encontrar en otros estados (sólido, gaseoso).

Está presente en su mayoría en la corteza terrestre, recubriendo 71% de la superficie total, de este porcentaje, los océanos contienen la mayoría (96.5%), en los glaciares y los círculos polares (1.74%), el agua subterránea y acuíferos contienen alrededor de 1.72%, y por último se cuenta los cuerpos de aguas de la superficie (lagos, ríos, etc.) la humedad propia de los suelos y los propios seres vivos (0.04%). (Campbell y Reece, 2007)

2.2.3.1 Contaminación de aguas por explotaciones mineras

Se produce por la liberación de las sustancias tóxicas contenidas en los relaves y depósitos de residuos mineros, que no son gestionados correctamente, es una de las problemáticas ambientales más grandes, ya que corrompen completamente el ecosistema hídrico al contacto con éste.

La descarga de estas sustancias nocivas se debe principalmente al diseño específico de las instalaciones, como son el diseño, el proceso de extracción de los minerales y la gestión de los desechos. Al no tener una adecuada, o en algunos casos nula gestión, no existen planes de mitigación o cierre para mantener estos contaminantes confinados. (Chávez, M. 2015)

Generalmente, el movimiento de los contaminantes se da por:

- Descargas directas: Las sustancias son desechadas directamente al cuerpo de agua.
- Ecurrimiento superficial: Cuando los contaminantes se transportan hacia los cauces de los cuerpos de agua, por medio del escurrimiento.
- Infiltración: Los contaminantes se filtran por los vacíos del suelo donde se encuentran, y tienen contacto con las aguas subterráneas.
- Sedimentos contaminados: Los contaminantes tienen una descarga por medio de partes sólidas que tuvieron contacto con las sustancias tóxicas.

La existencia de los residuos mineros con alto contenido de sulfuros y el proceso de DAM (drenaje ácido de mina), contienen alto contenido de metales pesados y en especial de As, este último ha tomado amplio reconocimiento como uno de los contaminantes más nocivos, y por consecuencia, una de las problemáticas ambientales más grandes, en el Perú y el mundo. El proceso de DAM, se origina por la oxidación de minerales con contenido de sulfuros, debido al contacto de éstos con

los factores ambientales circundantes (agua y oxígeno), reaccionando en una disolución de metales cuyo producto se forma en metales disueltos como Fe, Al, Cu y Pb. El proceso descrito de DAM, se da de manera natural en el medio ambiente, sin embargo las actividades antrópicas, en especial las de minería, incrementan y aceleran las reacciones, que conllevan a impactos negativos al medio ambiente, siendo los cursos de aguas superficiales los más afectados. Los mecanismos de transporte de contaminantes se dan principalmente cuando los depósitos de residuos mineros, sobrepasan su carga (nivel freático) y por el rompimiento de las geomembranas o bases abren un conducto hasta las aguas subterráneas, así mismo, el proceso natural de infiltración de las aguas contaminadas con residuos mineros, con las aguas naturales, representan un alto porcentaje de impactos negativos.

Las actividades mineras también pueden contaminar e interrumpir los flujos de aguas subterráneas, la construcción de socavones pueden alterar el curso natural éstas, por otro lado, la buena gestión de las actividades y de los residuos, provocará un impacto a menor escala a comparación de los que se presentan sin ningún tipo de control. (Chávez, 2015)

2.2.4 Aire

Disolución de gases que constituye la atmósfera terrestre, que permanecen dentro del planeta por acción de la fuerza de gravedad. El aire es esencial para la vida en el planeta, es incoloro, insoluble.

Está compuesto por una mezcla de gases de proporciones ligeramente variables, entre ellos se encuentran el oxígeno (21%), el nitrógeno (78%), argón (0.93%), CO₂ (0.04%) y pequeñas cantidades de otros gases. El aire también contiene una cantidad variable de vapor de agua, en promedio alrededor de 1% al nivel del mar, y 0.4% en toda la atmósfera. (Rapin y Jacquard, 1997)

2.2.4.1 Contaminación de aire por explotaciones mineras

Se produce por el aumento de partículas en suspensión en el aire, procedente principalmente de las balsas o pantanos de finos, pero también de las escombreras y corta, que pasan a ser fuentes de emisión de partículas según las condiciones meteorológicas reinantes. Se pueden enumerar distintas fuentes de emisión como pueden ser los pantanos de finos, que se diferencian en función del tamaño de grano del material que almacenan. Estos pantanos son importantes focos de contaminantes, debido a que la mayoría presentan su superficie carente de vegetación y recubrimiento de suelo, con los propios finos en superficie, favoreciéndose la erosión y producción de polvo, dispersándose en el aire y aumentando la concentración de partículas en suspensión, que en muchos casos pueden ser nocivas para la población por su alto contenido en elementos metálicos.

Cuando se depositan, estas partículas forman productos estables, tóxicos para la vegetación y perjudiciales para el suelo. Las medidas a emplear para reducir la emisión de partículas son la eliminación o adecuado tratamiento de estabilización, el recubrimiento con tierra y la revegetación. (Romero, A. y García, G. 2007)

2.2.5 Metales pesados

Se considera metal pesado a aquel compuesto que en sus características predomina una densidad mayor igual a 5 g/cm^3 cuando se encuentra en su forma primigenia, o su número atómico es mayor a 20, (no incluyendo a los metales alcalinos/alcalino térreos). De manera natural en la superficie terrestre, se encuentra en cantidades que no sobrepasan el 0.1%. Por otra parte, también se pueden encontrar elementos químicos que se acostumbra a incluirse en este grupo, no obstante son metales

ligeros o hasta no metales, pero tienen un origen y características similares. (García y Dorronso, 2005)

2.2.5.1 Grupos de metales pesados

- **Micronutrientes/oligoelementos:** Elementos que requieren a especies vegetales y animales para su supervivencia, en exceso se consideran contaminantes y/o tóxicos. Se consideran a: B, Mo, Mn, Fe, Zn y Cu.
- **Metales pesados:** Elementos que no cumplen ningún rol en las funciones biológicas de los seres vivos, por el contrario, su presencia estimula al deterioro del funcionamiento natural éstos. Una característica presente en estos elementos es la acumulación en los organismos que tiene contacto. Se puede nombrar en este grupo a: Cd, Co, Hg, As, Pb, Bi, etc.

Estos elementos se originan de manera natural en el sustrato litológico, el cual refiere a las características de la roca madre de la que diverge, y de otros procesos, pero es inevitable precisar que las actividades antrópicas han aumentado estas concentraciones a niveles peligrosos. (García, y Dorronso, 2005)

La importancia de reconocer la presencia de los metales pesados, radica en la bioacumulación de estos, pudiendo llegar hasta el ser humano, lo que sería una gran afectación en la salud.

2.2.6 Drenaje Ácido de Roca (DAR)

El drenaje ácido de roca o DAR; es el resultado de la oxidación de los componentes minerales presentes en la roca, y la seguida lixiviación/disolución de los metales, cuando este tipo de rocas con componentes sulfurosos tienen contacto con los factores ambientales de su medio (aire, agua).

Los factores naturales que se presentan son:

- Agua – en su estado líquido.
- Aire – estado aerobio.
- Bacterias – microorganismos extremófilos/acidófilos.
- Fuente de azufre – pirita.

En cuanto a la especie extremófila, como el *Acidithiobacillus ferrooxidans*, se considera como uno de las especies más considerables para el proceso del drenaje ácido de roca. (Aliaga, Palomino, Yupanqui, Salvador, Bobadilla, Hilden y López, 2009)

Figura 1. Origen del drenaje ácido de roca



Fuente: IngeExpert, s.f.

2.2.7 Pasivos Ambientales Mineros (PAM)

2.2.7.1 Definición

En Perú, la definición que es más acertada para el presente trabajo de investigación, es la proporcionada por la Ley N° 28271 – Ley de Pasivos ambientales de la Actividad Minera, que lo describe como todos los montajes, equipamiento, infraestructura, depósitos, residuos, efluentes y emisiones que han sido producto de las actividades mineras que en algún momento se realizaron en la zona, y que sin ningún tipo de gestión ni control, fueron abandonadas y que se encuentran inactivas, y por ellos representan un peligro permanente, ya sea para el ecosistema circundante, salud humana y propiedades.

Figura 2. Pasivo ambiental minero abandonado



Fuente: Castillo, 2017

Nota: A la izquierda la bocamina abandonada de la ex unidad minera Halcón y a la derecha la bocamina abandonada de la ex unidad minera Santón.

Asimismo, la citada norma también incluye las siguientes definiciones:

- Pasivo ambiental minero abandonado: Pasivo que se encontraba localizado fuera de una concesión vigente a la fecha de entrada en vigencia de la ley N°28271.
- Pasivo ambiental minero inactivo: Aquellos pasivos que, a la fecha de vigencia de la ley, se encontraban localizados en concesión vigente, en áreas, labores o instalaciones que estaban sin operar durante dos años o más.

2.2.7.2 Tipos de PAM

Entre los principales tipos de PAMs se tiene:

- Depósito de desmote: Es el área ocupada por los materiales extraídos del interior de la mina o del área de explotación a cielo abierto, que no contiene valores extraíbles o que su extracción no es económica, por lo que se han dispuesto en un lugar donde no se realizan actividades de explotación (FONAM, 2016).
- Depósito de relave o relavera: Es el área ocupada por los materiales (de grano fino) sin valor, que se obtiene, como producto de los procesos de concentración de minerales por el método de flotación, estos relaves se han dispuesto en forma de pulpa, eliminando el agua después de la sedimentación de los sólidos. Sus características son de material fino de fácil erosión por la acción del viento y de las escorrentías. Su disposición exige generalmente la construcción de una presa de sostenimiento, la misma que por lo general se construye con el mismo material grueso que está contenido en la pulpa (FONAM, 2016).

2.2.7.3 Problemática ambiental de los PAM

Los pasivos ambientales mineros significan un alto peligro, al ecosistema, salud humana, propiedad, actividades económicas, etc. Esto se debe a la presencia de componentes y sustancias las cuales pueden poner en riesgo lo anteriormente mencionado, la mayoría de PAMs contienen metales pesados, As y Cn, mayormente en relaves. Los desmontes e instalaciones abandonadas representan un peligro para la estabilidad física de los suelos donde se encuentran abandonados.

Los impactos negativos más representativos generados por los PAMs se tienen a la contaminación de aguas superficiales, subterráneas y acuíferos, mayormente producidos por infiltraciones, descargas directas y arrastre. (Oblaser y Chaparro, 2008)

- Contaminación de suelos
- Contaminación de aire
- Derrumbes
- Deslizamientos
- Ganadería
- Agricultura
- Pecuario
- Intoxicación
- Desplazamientos de comunidades
- Rechazo de comunidades por malas experiencias circundantes

Figura 3 Pasivo desmonte en Proyecto Chugur



Fuente: Castillo, 2017

Nota: Evidente alteración del paisaje.



2.2.15 Situación actual de los PAMs en el Perú

- Inventario Nacional de Pasivos Ambientales Mineros actualizado.

Desarrollado por MINEM en el año 2006, ha sufrido modificaciones y actualizaciones en más de 17 oportunidades, contando oficialmente a 8 616 PAMs, distribuidos en todo el Perú. De estos, se han constituido como muy riesgoso a 1735, y de alto riesgo a 4281, teniendo casi el 50% de éstos en esta clasificación.

- Pasivos con estudios Ambientales

La información brindada por el inventario de PAMs, actualizado en marzo de 2015, de todos los PAMs registrados, solo 861 (9.99%) tienen estudios ambientales confirmados, de estos 861, 777 (9.02%) tienen a los responsables identificados y cuentan con estudios ambientales pertinentes., 224 (2.6%) tienen a los responsables identificados, pero no presentan estudios de ningún tipo, 84 (0.97%) cuentan con estudios ambientales pero no con responsables identificados, y por último, 7531 (87.41%) no cuentan con ningún tipo de estudio tampoco con responsables registrados. (RM-1023-2015-MEM/DM)

2.2.8 Gestión de Pasivos Ambientales Mineros en el Perú

El año 2004 marcó un hito en materia de pasivos ambientales, ya que anterior a este año la gestión solo se centraba en los pasivos ambientales producto de las pequeñas empresas mineras y varias medianas. (Congreso de la República, 2015)

A partir del año 1995, el MINEM llevó a cabo diferentes estudios y valoraciones sobre los PAMs, entre ellos se puede presentar:

- PRODES (Proyecto de desarrollo sostenible): Fue creado en el año 1995, con el propósito de identificar e inventariar los PAMs, su trabajo se basó en el diagnóstico de 16 cuencas hidrográficas relacionadas con actividades mineras en el país, la metodología fue mediante los Estudios de Evaluación Ambiental Territorial (EVAT). Agregado a eso se hicieron 4 inventarios de minas inactivas y seguimientos a 10 cuencas por actividades mineras. Como último punto, desarrolló y diseñó el Sistema de Información Ambiental (SIA); que contiene información de 611 zonas con PAMs identificados, comentando acerca de su ubicación, propiedades, responsables/titulares, situación legal y presupuesto de remediación. (MINEM, 2006)
- Proyecto Mantaro: Se inició con el objetivo de controlar la contaminación ambiental de origen minero, en la vertiente del río Mantaro, identificando alternativas de solución a los principales problemas ambientales del río. Uno de los resultados del proyecto fue la creación de un inventario de instalaciones abandonadas en la vertiente del río, en el trecho comprendido entre Cerro de Pasco y Cobriza, en el año de 1997, aproximadamente por el mes de febrero. También se prepararon 12 alternativas de solución a la misma cantidad de minas abandonadas, obteniendo la financiación por el Banco Interamericano de Desarrollo. (MINEM, 2006)
- Proyecto EPA: fue desarrollado por la Dirección nacional de Asuntos Ambientales Mineros, en enero del año 2001. Su objetivo principal fue realizar estudios y obras de compensación a áreas impactadas por PAMs muchos años atrás. Como resultado se realizaron 4 inventarios de infraestructuras de minas abandonadas, seguimiento y monitoreo de vertientes y estudios para remediación y mitigación. También se

detallaron 8 pasivos en la cuenca del río Santa. Como conclusión se identificaron 611 PAMs y se propuso el presupuesto de remediación de éstos. (MINEM, 2006)

Estos estudios y proyectos previos dieron a lugar a que el 06 de setiembre de 2002, se presentara ante el Congreso, el Proyecto de Ley N° 3801-2002-CR, llamada Ley que regula los PAMs históricos de la actividad minera. Luego de esto, esta ley se derivó a las comisiones de MINEM, y luego del MINAM. Fue recién en este punto que el Poder Ejecutivo, aprobó la ley N° 28271, en la sesión del 01 de julio del 2004, siendo reafirmada por el diario oficial “El Peruano”, el 06 de julio del 2004.

Es así que, luego de todas las derivaciones, se incentiva con mayor énfasis la identificación, registro y evaluación de los PAMs, es por ello que entre los años 2007 y 2010, se implementaron estándares para la determinación de importancia de las cuencas hidrográficas y sistemas de gestión hacia 9 PAMs (SIGEPAM), y el inventario nacional de PAMs, con la identificación de los 8616 pasivos.

Al mismo tiempo, se creó en el 2007 el PERCAN (Proyecto de Reforma del Sector de Recursos Mineros), en convenio con Canadá (Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional), con la finalidad de fortalecer la institucionalidad y mejorar la gestión de PAMs.

Para hacer un trabajo más eficiente sobre la gestión de los PAMs, el MINEM asumió una serie de premisas, las cuales se describen en convenios de cooperación con instituciones, como fue con el Fondo Nacional del Ambiente (FONAM), para la gerencia de los fondos del fideicomiso, contando con la suma de 3 000 000 de soles, designados para la remediación y estudios ambientales pertinentes de PAMs solo en la región Cajamarca. Posterior a esto, el MINEM mediante un adicional al acuerdo, cedió un monto de 3 900 000 de soles para estudios, remediación y

seguimiento de los 5 depósitos de relaves en la zona de “El Dorado”, en la provincia de Hualgayoc, la ejecución del proyecto, se llevó a cabo luego del convenio producido entre el MINEM, FONAM y Activos Mineros SAC.

Posterior a esto, el MINEM acordó otro convenio con el FONAM, pero esta vez por un monto de 10 000 000 de soles, todo destinado para la remediación de 119 PAMs ubicados en la región Cajamarca, distribuidos en la zonas de “El Dorado” con 64 y “La Tahona” con 55, estos fueron categorizados en 2013 como riesgo alto y muy alto por MINEM.

En el año 2013, el MINEM logra conformar otro acuerdo con Activos Mineros SAC y con INGEMMET, contando con la suma de 45 000 000 de soles, destinados únicamente para la remediación de PAMs en todo el Perú, estas entidades acordaron recategorizar los PAMs en insignificantes, bajos, medios, altos y muy altos, para los estudios ambientales pertinentes referidos al peligro y a la pre inversión estimada de cada uno de estos. En conclusión se trabajaron con 475 PAMs, de estos 138 se encuentran en la región de Cajamarca, mientras que los demás se dividen en las regiones de Puno, Pasco, Ancash, Ica, Junín y Huancavelica. (Sotomayor 2015)

2.2.8.1 Cierre de PAMs

Se define como el conjunto de acciones destinadas con el objetivo de lograr cumplir las exigencias de los estándares ambientales específicos y consecuentemente los estándares sociales ansiados. Generalmente se acciona luego del proceso de identificación y aprobación del plan de cierre. (Wilson, Brussièrre y Guerrero, 2007)

- Reglamento de Protección Ambiental para las Actividades Minerometalúrgicas (D.S N° 016-93-EM): Su principal premisa fue la de la obligatoriedad de la presentación de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), como requisito indispensable para la

ejecución de los nuevos proyectos de actividades mineras, así como también la presentación del Plan de Manejo Ambiental (PAMA), a las empresas mineras formales que estaban operando en el momento de la presentación del D.S.

- Condiciones para el Cierre de PAMs: se debe tener en cuenta para un pasivo/activo/componente, posterior a las actividades de cierre. Las condiciones que se pueden encontrar son:
 - Condición de ningún cuidado: Caso muy inusual en el que no se requieren mayores acciones o planes de cierre, ya que no representa un gran peligro y/o riesgo ambiental.
 - Condición de cuidado pasivo: Se da cuando no se requiere un plan de manejo y rehabilitación de zonas contaminadas muy complejo, solo una mínima necesidad de programas de cuidado, por lo que no se requiere la presencia permanente de personal en el lugar.
- Escenarios de cierre de PAMs: Luego de la presentación, aprobación e inicio de actividades detalladas en el Plan de cierre presentado ante el MINAM, se inician las tareas de cierre, se detallaban seguido las tareas del plan:
 - a. Diseños de ingeniería: Referido a la infraestructura.
 - b. Estudios in situ para la disposición final y/o rescate de materiales: Mayormente se refiere a la recuperación de las propiedades del suelo donde se han realizado las actividades.

- c. Revegetación: Recuperación del medio contaminado por plantación de especies vegetales.
 - d. Rehabilitación de hábitats acuáticos y áreas de préstamo: Cuando los residuos tienen algún tipo de contacto con cuerpos de agua superficial, y/o subterráneos.
 - e. Provisiones para brindar servicios esenciales a la comunidad: Responsabilidad social contemplada en el Plan.
 - f. Transferencia de propiedades y acceso a tierras: Si se representa un peligro a propiedades privadas cercanas, se contemplará un programa de transferencia y/o mitigación de impactos.
- Actividades post-cierre: Se establece por escrito en el Artículo N° 45, que indica que el titular del PAM, o del plan de cierre, debe de proseguir con las actividades luego del cierre del pasivo, por un periodo no menor a 5 años después del inicio de los trabajos del cierre, posterior a esto, el Estado u otra contratista podrá hacerse cargo del mantenimiento y conservación del PAM, esto no significa que el responsable dejará de costear los gastos del cierre, ya sea a través de un fideicomiso o de desembolsos, a fin de mantener los requerimientos del cierre.

Figura 4. Botadero central de Tintaya



Fuente: LAMPADIA, 2013

Nota: El antes y el después luego de la aplicación del plan de cierre de mina de la empresa Tintaya.

2.2.9 Revegetación en suelos impactados por actividades mineras

El objetivo principal de la revegetación de zonas impactadas por actividades mineras abandonadas (relaves y/o depósitos de desmonte), es la indagación de actividades que mitiguen el riesgo de contaminación y erosión de suelos, por lixiviados de los metales pesados en las áreas impactadas. (Wilson, Brussière y Guerrero, 2007), para lograr esto, se busca el cubrimiento del 100% de la zona impactada, el éxito depende de la selección adecuada de especies vegetales, y el clima.

Las ventajas y dificultades que se presentan en los programas de revegetación de coberturas se resumen en: (Tabla 1)

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la revegetación

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Multifuncional. ➤ Relativamente económica. ➤ Autosostenible. ➤ Visualmente atractiva. ➤ Brinda servicios ecosistémicos. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Dificultad para el establecimiento de especies vegetales, en pendientes altas. ➤ Susceptibilidad a quemas, ya que es una práctica común en zonas altoandinas. ➤ Carencia de experiencia, ya que es una técnica relativamente novedosa. ➤ Presencia de animales.

Fuente: Wilson, Brussiére y Guerrero, 2007

Figura 5. Revegetación de suelos afectados por las emisiones del complejo metalúrgico La Oroya



Fuente: Minero, 2017

2.2.10 Funciones de la Vegetación

La función en la que se basa el proceso de revegetación es el control de la degradación de suelos, recuperación de las propiedades del suelo y servicios ecosistémicos. (Suarez, 2001)

2.2.10.1 Efectos hidrológicos

Las especies vegetales, tienen la función de interceptar las gotas de lluvia, impidiendo así la impresión directa de estas sobre el suelo. Esta intercepción varía dependiendo a las especies vegetales, la disposición espacial, tipo de hojas y la intensidad de la precipitación, obedeciendo la siguiente fórmula:

$$IC = \text{Lluvia} \cdot CF$$

Dónde: CF = Porcentaje de área cubierta por el follaje.

2.2.10.2 Retención del agua

El follaje presente en un suelo, tiene la propiedad de modificar o ralentizar el ciclo hidrológico normal en el momento de la precipitación, provocando la disminución del cauce de agua de escorrentía, bajando así la erosión que provoca en suelos eriazos. En cuanto a la retención de agua, esta se ve condicionada al tipo de especies vegetales, propiedades de éstos y el nivel de precipitación. (Guerrero Centurión, 2017)

2.2.10.3 Evapotranspiración

Las raíces tienen la capacidad de absorber la humedad del suelo, para luego ser expulsada en la atmósfera por evapotranspiración. Este proceso varía en demasía por el tipo de suelo y las especies vegetales en él, pero generalmente se concluye en un equilibrio de humedad, entre el suelo (nivel freático) y la atmósfera circundante (cantidad de precipitación). (Suarez, 2001)

Desde la precepción de ingeniería, se debe establecer la humedad máxima del medio atmosférico y el nivel freático crítico del medio del suelo. Obteniendo este balance de entradas por infiltración y salidas por evapotranspiración, se produce una humedad final, la cual es comparativa con la requerida para la saturación final.

Esto se hace, teniendo en cuenta que el suelo, al estar completamente saturado, disminuye sus fuerzas de succión, lo cual produce una estabilidad general. En algunas otras ocasiones, la cobertura vegetal, induce a mantener la humedad en el límite, lo cual mejora la estabilidad de suelos inclinados. (Suarez, 2001)

El efecto de evapotranspiración de la vegetación puede expresarse por medio de la relación:

$$Re = Et / Eo$$

Dónde: Et = Flujo de evapotranspiración de la vegetación

Eo = Flujo de evaporación del agua libre.

2.2.10.4 Acumulación de agua

El porcentaje de almacenamiento por la cobertura de una zona depende principalmente a la densidad interna de las especies y a la medida total de hojas (área). Llega un momento en que las hojas, las raíces y demás componentes, se saturan y no pueden acumular más agua, es por ello que en precipitaciones muy intensas, la comparación es muy pequeña, comparado con la cantidad total de lluvia, pero en precipitaciones no tan potentes, este porcentaje suele ser muy elevado. (Suarez, 2001).

2.2.10.5 Drenaje por el follaje

Las gotas de lluvia interceptadas por el follaje de las plantas, son parcialmente transportadas hacia los suelos, teniendo como destino la parte inferior de la planta, para que esta operación sea posible, es menester que las hojas tengan una pendiente de inclinación de 30° y/o 70° , esto se da mayormente en los pastos de alturas media a baja. Esto quiere decir que las plantas de altura mediana a altas, y los pastos con hojas delgadas, tienden a tener una menor retención de aguas y menor capacidad de succión. (Suarez, 2001)

2.2.10.6 Goteo por las hojas

Una parte del total de agua de lluvia que las gotas interceptan, descienden al suelo desde éstas. Este proceso puede durar un tiempo prolongado luego del término de la precipitación, las dimensiones de estas gotas oscilan entre 4 mm y 7 mm, y, como en las gotas se acumulan varias de éstas antes de su descenso, son de mayor tamaño a las gotas de precipitación, que oscilan entre 0.5 mm a 5 mm máximo. Este tamaño, erosiona más el suelo que las gotas normales, es por ello que radica la importancia de la selección adecuada de especies para zonas de escasa y abundante precipitación. (Suarez, 2001)

2.2.10.7 Aumento de la infiltración

La disminución de la velocidad de transporte del agua en el sustrato del suelo, es inversamente proporcional a la infiltración y la retención del flujo. Cuando en el suelo existe vegetación y las gotas de lluvia lo alcanzan, tiene un alto porcentaje de infiltración, a comparación de un suelo erizado, esto se debe a que los microorganismos, insectos y especies vegetales, por sus propias actividades y proceso biológicos, crean poros en el suelo, y por ende presenta una mayor conductividad, se considera a este proceso, la manera principal de disminución del escurrimiento de agua de lluvia a través del suelo, por factor de la cobertura vegetal. (Guerrero Centurión, 2017)

2.2.10.8 Efectos de refuerzo del suelo

El escurrimiento de agua que forma la lluvia, degenera y erosiona el suelo por el que atraviesa, sin embargo las raíces y la cobertura vegetal, tienen la capacidad de disminuir notoriamente las fuerzas de fricción de la escorrentía. Esto se debe a que las raíces refuerzan el suelo, con la una red voluminosa que éstas forman en él, aproximadamente a una profundidad de 30 cm a 50 cm.

Esta unión de las raíces, forman una especie de membrana natural, que refuerzan la masa del estrato más superior (topsoil), y la retiene en el lugar adecuado. (Suarez, 2001)

2.3 Marco legal

2.3.1 Constitución Política del Perú 1993

Dentro del marco de derechos fundamentales de la persona, la constitución destaca el componente ambiental, pues considera prioritarios la protección y promoción del ambiente. Además, establece la obligación y compromiso de la ciudadanía con la conservación ambiental, partiendo de su derecho a tener un ambiente saludable. (Constitución Política del Perú, 1993)

2.3.2 Ley General del Ambiente - Ley N° 28611

Es la norma principal en cuanto a materia legal se refiere para la gerencia ambiental en el país, instituye principios y lineamientos que apuntan al ejercicio efectivo del derecho a un ambiente libre de contaminación y saludable para los seres vivos.

Para poder cumplir con las normas y principios establecidos en esta ley, facilita los principios para la utilización de los instrumentos de gestión ambiental (IGA), promocionando la

responsabilidad que, en todas las actividades económicas, ya sea hechas por personas naturales y/o jurídicas, tomen medidas para mitigar, o anular por completo los posibles impactos negativos al medio ambiente que se puedan suscitar en el proceso de los mismos. (MINAM, 2018)

2.3.3 Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera - Ley N° 28271

El objetivo de esta Ley es reglamentar la identificación, planes de cierre, presupuesto para remediación, búsqueda de responsables, etc. de las zonas impactadas por relaves e infraestructuras mineras abandonadas, todo esto para reducir, mitigar o compensar los impactos negativos causados al medio ambiente, flora, fauna y propiedad. (MINAM, 2017)

2.3.3 Ley orgánica de Municipalidades - Ley N° 27972

La presente ley, involucra a la Municipalidad Provincial de Caylloma, que dentro de sus funciones establecidas se encuentra la de generar las condiciones que se enmarquen dentro del contexto de mejorar la calidad de vida del ciudadano. (MININTER, 2003)

2.4 Definición de términos básicos

FONAM: Fondo nacional del ambiente

MINAM: Ministerio del ambiente

MEM: Ministerio de energía y minas

PAM: Pasivo ambiental minero

DAR: Drenaje ácido de roca

AMD: Drenaje ácido de mina





3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo De investigación

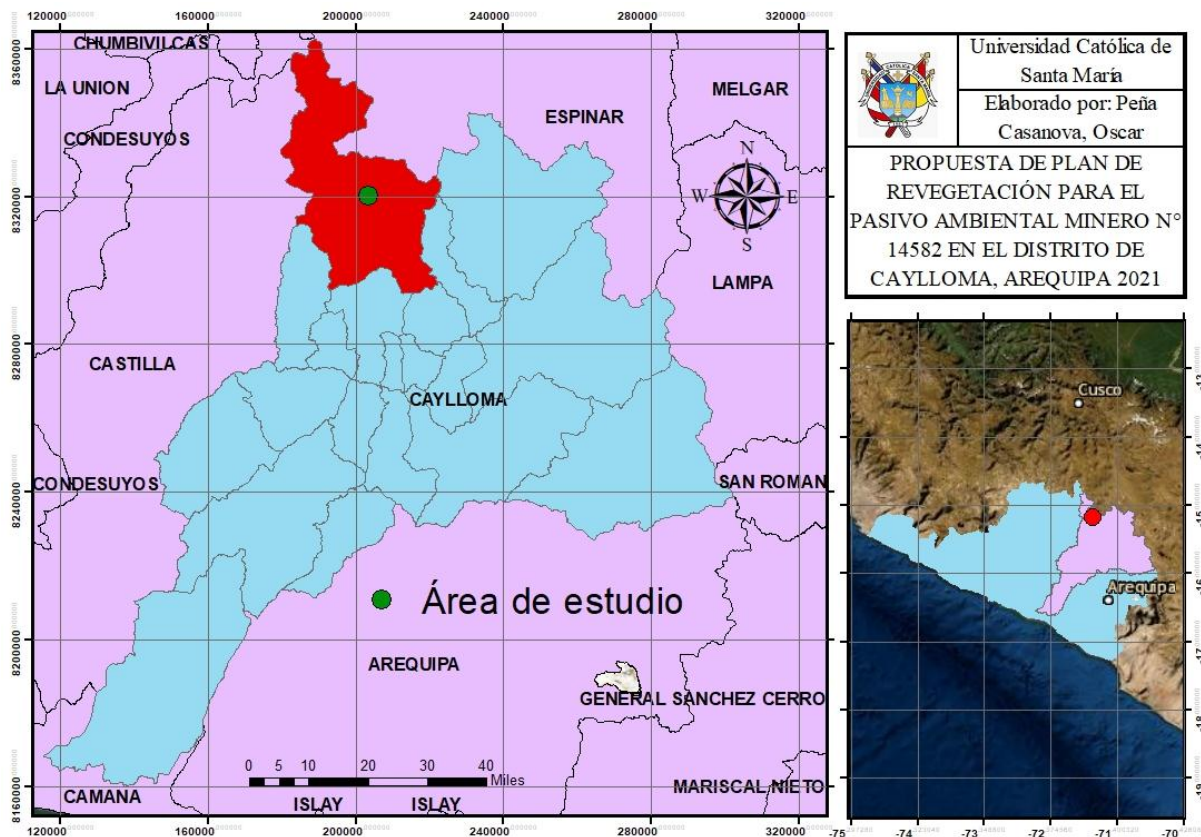
Descriptiva: La presente investigación es de tipo descriptiva, ya que está enfocada en dar un análisis detallado, mediante revisión histórica y encuestas, para proponer un Plan de Revegetación para el Pasivo Ambiental Minero N° 14582.

3.2 Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada políticamente en el distrito y provincia de Caylloma, región de Arequipa. Geográficamente se localiza en la parte noreste del centro poblado del distrito, a una distancia de 1.13 km, en la parte baja del cerro Chonta, a una altitud comprendida entre los 4 200 m.s.n.m. y 4 300 m.s.n.m.

Se accede vía terrestre, desde la ciudad de Arequipa, por la carretera hacia Chivay, pasando por el distrito de Sibayo, hasta el distrito de Caylloma

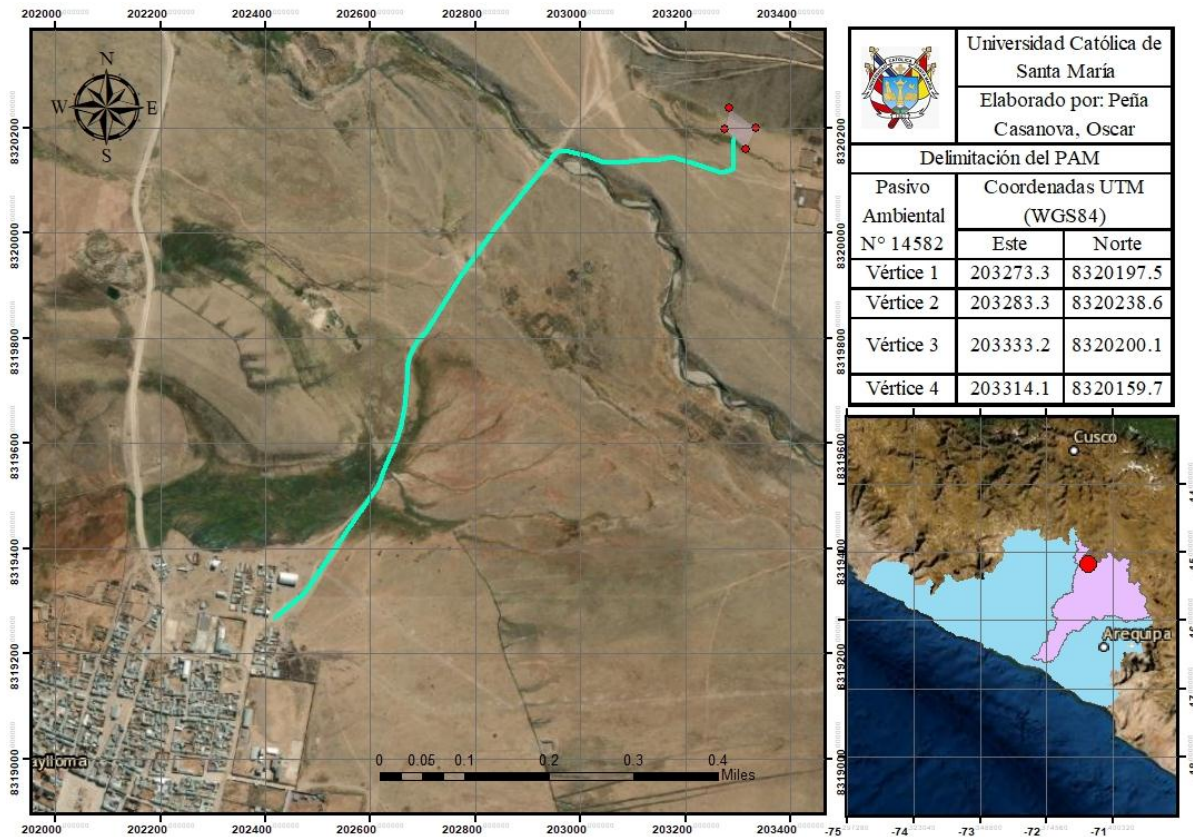
Figura 6. Mapa de la región de Arequipa



Fuente: Elaboración propia

La zona impactada por el relave, consta de un área total de 3 175,85 m², y se encuentra a una distancia de 1 134.54 m desde el punto más cercano al centro poblado del distrito de Caylloma.

Figura 7. Ruta hacia la zona de estudio desde el centro poblado, vía imagen satelital



Fuente: Elaboración propia

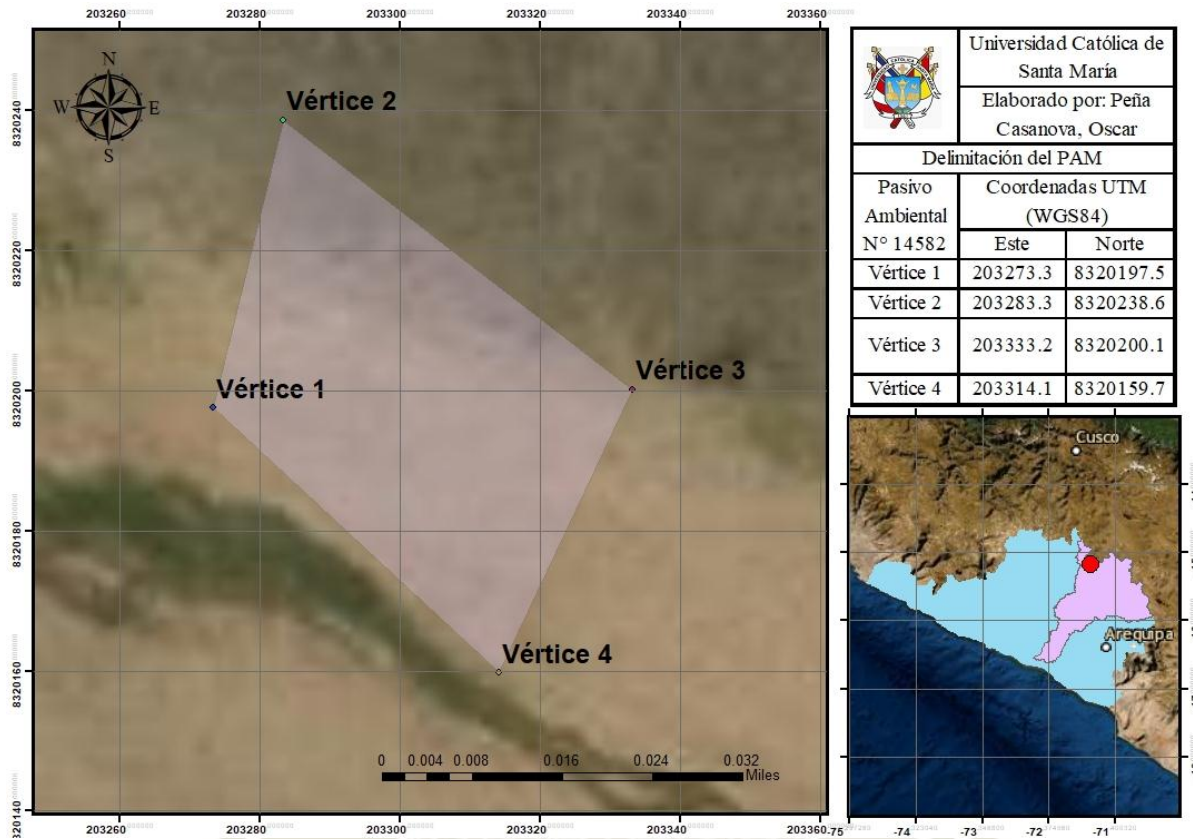
Se presentan las coordenadas UTM (WGS84): (Tabla 2)

Tabla 2. Delimitación del PAM

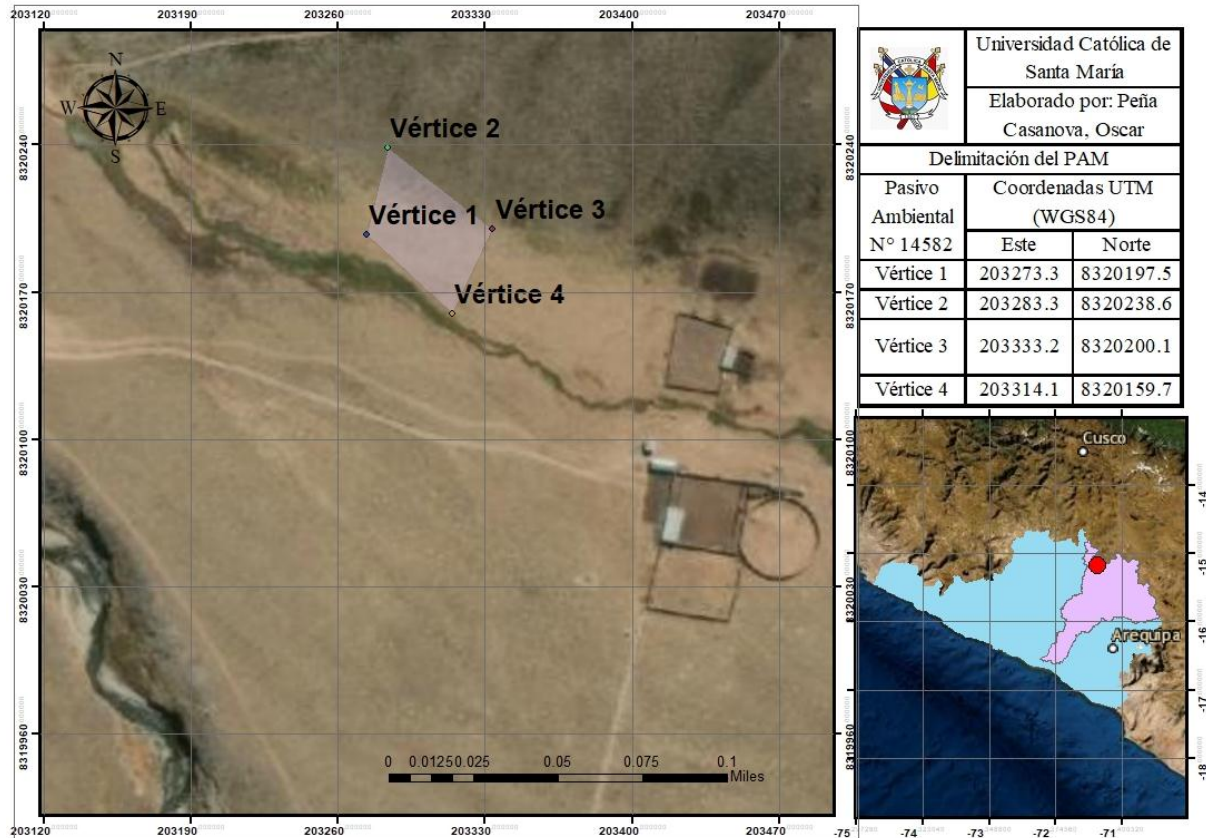
Pasivo Ambiental N° 14582	Coordenadas UTM (WGS84)	
	Este	Norte
Vértice 1	203273.3	8320197.5
Vértice 2	203283.3	8320238.6
Vértice 3	203333.2	8320200.1
Vértice 4	203314.1	8320159.7

Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Delimitación del PAM



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

3.3 Técnicas e instrumentos para recolección de datos

3.3.1 Observación

Se reconoció y exploró la zona del PAM, en el distrito de Caylloma, delimitando el relave y realizando un levantamiento técnico del sitio.

3.3.2 Cuestionario

Se realizó y aplicó un pequeño cuestionario a algunos pobladores que se encontraban cerca al pasivo ambiental, para poder saber el uso histórico del suelo de la zona impactada.

3.3.3 Procesamiento de datos estadísticos:

Se realizó mediante una encuesta a los pobladores cercanos.

3.3.4 Análisis de estudios realizados en la zona:

Se analizó diversos estudios y propuestas para una mejor toma de decisiones con respecto a la Propuesta de Revegetación.

3.4 Materiales

- GPS
- Medidor de altitud
- Termómetro
- Cuaderno de apuntes
- Cámara fotográfica
- Flexómetro
- Barbijo quirúrgico

- Lápiz – Lapicero
- Software ArcGis
- Microsoft Excel
- Útiles de escritorio

3.5 Descripción de la metodología

De entre todas las metodologías existentes para la remediación de suelos contaminados por metales pesados, se escogió la de Revegetación, tomando en cuenta que el Pasivo se encuentra en una zona altoandina, con climas extremos, rodeada por pajonal de Puna y con una pendiente no tan elevada.

Criterios en los que se basó la elección del método

- Por su multifuncionalidad: Estabilización química, recuperación de nutrientes del suelo, auto reparación natural, servicios ecosistémicos.
- Solución relativamente económica a comparación de las metodologías químicas (lavado de suelos, Procesos de Oxidación Avanzada (Fenton), extracción electrocinética), tomando en cuenta también que no necesitarán monitoreos constantes.
- Al estar rodeado de pajonal de Puna, lo que se busca es no disturbar el paisaje, como se haría si aplicamos métodos físicos (solidificación, cobertura de concreto).

- La revegetación es una metodología in situ relativamente nueva en nuestro país, la cual podría ser muy útil para la recuperación de suelos degradados, con la ayuda de especies vegetales endémicas de las zonas y que estén en peligro de extinción.

Habiéndose explicado la problemática causada por el Pasivo Ambiental Minero N° 14582 ubicado en el distrito de Caylloma, en el presente capítulo se procede a explicar la metodología que se aplicó con el objetivo de remediar la zona impactada por el relave y así realizar una adecuada gestión de este PAM.

3.5.1 Elaboración de una línea base ambiental del cuadrángulo 31-s

Se describieron los recursos ambientales del sitio, recopilando información de los estudios realizados en la zona, como el Estudio de Impacto Ambiental: Ampliación Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TDM a 1500 TDM, aprobado con R.D 173 -2011 –MEM – MINAM, y el estudio realizado por Farfán Paredes (2018), sobre identificación de suelos contaminados por actividades mineras en Caylloma, con estas experiencias se obtuvo una línea base ambiental de la zona contaminada e información básica necesaria para desarrollar el “Plan de revegetación”. Los puntos recopilados fueron los siguientes:

- Características geológicas
- Características topográficas
- Características hidrogeológicas
- Características hidrológicas
- Características del suelo

➤ Cobertura vegetal

➤ Uso actual del suelo

3.5.1.1 Uso histórico del suelo

Se realizaron algunas preguntas a los lugareños cercanos, muchos hablaban quechua y el idioma fue un impedimento, pero se logró entrevistar a tres personas que se encontraban cerca al lugar, esto con el objetivo de apreciar el grado de conocimiento actual sobre la zona impactada.

3.5.1.2 Información climatológica

Se recolectó información sobre los promedios mensuales de precipitación pluvial y temperaturas promedio (máxima, media y mínima), obtenida de distintas estaciones meteorológicas distribuidas por todo el distrito. Así como también la velocidad (máxima y mínima) y dirección del viento y la calidad de éste, los niveles de contaminación que se tomaron en cuenta fueron:

- Bueno
- Moderado
- No saludable para personas sensibles
- No saludable
- Altamente no saludable
- Peligroso

3.5.1.3 Clasificación de Prioridad de Remediación del PAM

Se determinó la clasificación del PAM, el puntaje de riesgo y la prioridad de remediación. Se utilizaron los siguientes parámetros para determinar la elección de prioridad de remediación:

Tabla 3. Parámetros para la elección de prioridad de remediación del PAM

Componentes	Denominación	Posible Foco de Contaminación	Características	Calificación del PAM
-------------	--------------	-------------------------------	-----------------	----------------------

Fuente: Guía de Remediación de Pasivos Ambientales Mineros en Perú (MINEM, 2015)

3.5.1.3.1 Calificación del PAM

Se tomó en cuenta las siguientes categorías para la calificación, propuestas por la “Guía de Remediación de Pasivos Ambientales Mineros en Perú” (MINEM, 2015).

Tabla 4. Categorías para la calificación del PAM

Categoría	Rango
Insignificante	0 – 20
Baja	21 – 40
Media	41 – 60
Alta	61 – 80
Muy Alta	81 – 100

Fuente: Guía de Remediación de Pasivos Ambientales Mineros en Perú (MINEM, 2015)

3.5.1.3.2 Puntaje de riesgo del PAM

Se usó matrices de riesgo, proporcionadas por la “Guía de Remediación de Pasivos Ambientales Mineros en Perú” (MINEM, 2015), asignándoles un valor comprendido entre 0 y 3.

Tabla 5. Matriz de riesgos a la seguridad humana

RIESGO A LA SEGURIDAD HUMANA	PUNTUACIÓN
---	-------------------

Accesibilidad	0= Bote, helicóptero, avión	1= Recorrido largo en vehículo o a pie en vía no demarcada	2= En vehículo, seguido de una distancia pedestre de menos de 500 m	3= Adyacente a áreas pobladas, corta distancia en vehículo o corta distancia a pie
Potencial de colapso	0= Ninguno	1= No hay taludes empinados	2= Taludes empinados de menos de 5 m	3= Taludes empinados elevados (>8 m)
Condición de cierre	0= Cobertura en buenas condiciones o no requeridas	1= Cobertura un poco deteriorada o mal diseñada/construida	2= Cobertura seriamente dañada o residuo parcialmente expuesto	3= Residuo totalmente expuesto
Presencia de señales y cercos para limitar el acceso	0= Sitio adecuadamente protegido con cerco y señales	1= Sitio señalado con bajo riesgo de causar daños	2= Sitio no señalado, riesgo de causar daños bajo o moderado	3= Sitio no señalado y alto riesgo de causar daños
Potencial de hundimiento	0= Ninguno	1= Evidencia de hundimientos menores	2= Evidencia de hundimientos moderados	3= Evidencia de hundimientos en condiciones peligrosas
Potencial de daño físico relacionado	0= Ninguno (físicamente)	1= Bajo potencial, requiere	2= Potencial moderado,	3= Alto potencial,

con el residuo (corto y largo plazo)	estable o inaccesible)	interacción humana intencional	elemento físicos o estabilidad pueden causar daño a transeúntes	elementos físicos o estabilidad con alto riesgo a causar daño a transeúntes.
Presencia de escombros, rocas, materiales, residuos, etc. En la pila	0= Ninguno	1= Presencia menor de escombros o elementos naturales sensibles	2= Presencia de elementos naturales y no naturales que representan riesgo para los transeúntes	3= Notable presencia de elementos naturales y no naturales que representan un riesgo significativo para los transeúntes
Otro peligro de seguridad				

Fuente: Guía de Remediación de Pasivos Ambientales Mineros en Perú (MINEM, 2015)

Tabla 6. Matriz de riesgos a la salud humana y ambiental

RIESGOS A LA SALUD HUMANA Y AMBIENTAL	PUNTUACIÓN			
Evidencia de erosión hídrica o eólica	0= Ninguna	1= Mínima	2= Moderada	3= Severa
Evidencia de eventos previos de inundación,	0= No hay evidencia y las condiciones	1= Evidencia de eventos mínimos	2= Evidencia de eventos	3= Evidencia de eventos

drenajes o derrames (relacionado con la actividad minera)	sugieren que es improbable		mínimos o moderados	moderados o severos
Potencial de generación de drenaje ácido	0= Ninguno	1= Manchas de precipitados	2= Pequeño flujo de drenaje ácido fluyendo o que podría fluir	3= Grandes cantidades de drenaje ácido fluyendo o que podría fluir
Evidencia de sustancias tóxicas (Cianuro, Arsénico, etc.)	0= Ninguna	1= Mínima, inferida de acuerdo a actividades pasadas y confinado al sitio	2= Mínimo o moderado (contenedores de reactivos abandonados en el sitio)	3= Moderada o severa, no confinada y fluyendo a receptores exteriores
Otro peligro de salud				

Fuente: Guía de Remediación de Pasivos Ambientales Mineros en Perú (MINEM, 2015)

Tabla 7. Matriz de riesgos a la fauna silvestre y la conservación

RIESGOS A LA FAUNA SILVESTRE Y LA CONSERVACIÓN	PUNTUACIÓN			
Accesibilidad y escape para la fauna silvestre	0= No hay acceso (área cercada o sellada)	1= Accesible pero fácil de escapar	2= Accesible y difícil de escapar	3= Fácil acceso sin posibilidad de escapar

Atracción de fauna silvestre	0= Ninguna atracción aparente	1= Menor, debido a vegetación/habitad	2= Atracción moderada debido a alimentos y habitad	3= Muy atractivo, debido a alimentos y hábitat.
Vegetación en el sitio y alrededores	0= Sitio y alrededores cubiertos con vegetación consistente con el clima	1= Cobertura vegetal limitada al sitio o periferia	2= Evidencia de vegetación afectada en el sitio o periferia	3= Ninguna vegetación (aparentemente por fitotoxicidad)
Proximidad de áreas protegidas	0= >10 km de un área protegida	1= <10 km de un área protegida	2= <1 km de un área protegida	3= Dentro de un área protegida
Sensibilidad del área (uso tradicional del suelo, corredor de fauna)	0= Ningún uso sensible del suelo	1= <10 km de un área sensible	2= < 1 km de un área sensible	3= dentro de un área sensible
Drenaje o filtración hacia cuerpos de agua	0= Ninguno	1= Potencial de contaminar cuerpos de agua durante temporada de lluvias	2= Potencial de contaminar cuerpos de agua en cualquier momento	3= Descarga de aguas contaminadas hacia cuerpos de agua
Otra preocupación ambiental				

Fuente: Guía de Remediación de Pasivos Ambientales Mineros en Perú (MINEM, 2015)

3.5.1.4 Levantamiento técnico de la zona contaminada

Se visitó la zona del PAM, haciendo un recorrido del área, tomando evidencia fotográfica, haciendo un levantamiento topográfico del medio e identificación de todos los elementos presentes, tales como: Estructuras, instalaciones, construcciones, obstáculos físicos que influyen en el terreno.

Se realizó una descripción mediante tablas, para la priorización y validación, tomando en cuenta la R.R N° 085 -2014 –MINAM y para la relación entre el origen de las sustancias contaminantes y los destinos potenciales a los cuales puede impactar.

3.5.1.4.1 Priorización y validación

Se determinaron los niveles de evidencias luego del Levantamiento Técnico. (Tabla 8)

Tabla 8. Priorización y validación del PAM

Nivel de Evidencia	Descripción
Confirmado +++	El foco está probado en campo, y su existencia se infiere del análisis de los procesos industriales y se evidencia visiblemente en el campo.
Probable ++	El foco solo se menciona en el diagrama de flujo o plano, no hay indicio en campo
Posible +/-	El foco se cita a menudo sin mención específica
Sin evidencias (no confirmado)	La evidencia es débil, solo una mención o sugerencia

Fuente: Guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos (MINAM, 2014)

Los resultados obtenidos se indicaron en la tabla 9:

Tabla 9. Resultados de la priorización y validación del PAM

Foco Potencial	Clasificación según la evaluación	Observaciones
----------------	-----------------------------------	---------------

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.4.2 Focos potenciales de contaminación

Se desarrolló un formato que describe el transporte de contaminantes hasta sus receptores inmediatos, se detallan los parámetros en la tabla 10, y se consideró también la posible contaminación producida sobre la vegetación circundante, los cursos de agua y atmosfera.

Tabla 10. Focos potenciales de contaminación producidos por el PAM

Foco de Contaminación	Fuente Primaria	Fuente Secundaria	Sustancias Relevantes	Mecanismos de Transporte	Trayecto de Exposición	Receptores Inmediatos
-----------------------	-----------------	-------------------	-----------------------	--------------------------	------------------------	-----------------------

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.5 Propiedades del suelo contaminado

Se determinaron los contaminantes presentes en la zona disturbada por actividades mineras.

3.5.2 Determinación del uso futuro del suelo a revegetar

Se determinó el uso futuro del suelo de la zona a revegetar en base a las actividades económicas del lugar. (Wilson, Brussière y Guerrero, 2007)

3.5.3 Propuesta de medidas para mejorar las propiedades del suelo destinado a la revegetación

Se tomó en cuenta lo establecido por Wilson, Brussière y Guerrero (2007) y los estudios previos realizados por Farfán (2018), para proponer medidas adecuadas para la recuperación de las propiedades del suelo.

- Recuperación de las propiedades físicas
- Corrección de pH (encalamiento).
- Mejoramiento de la fertilidad y disponibilidad de nutrientes del suelo.

3.5.4 Selección de especies vegetales

Se determinaron las especies vegetales a utilizar en la revegetación, los criterios fueron basados por lo establecido por Wilson, Brussière y Guerrero (2007), que indican que la distribución natural de las plantas se controla por el clima, principalmente y luego por los factores del suelo. Algunos factores limitantes propios de zonas altoandinas son:

Tabla 11. Consideraciones para la selección de plantas

Consideraciones Primarias	Tipo de planta
Tipo de residuo	
Si se tiene, metales tóxicos en alta concentración	Plantas tolerantes de acuerdo al tipo de metal
Acidez y alcalinidad extrema	Colonizadores naturales de áreas mineralizadas, de medios alcalinos o ácidos

Deficiencias de nutrientes	Plantas que aporten nutrientes al suelo como leguminosas o plantas fijadoras de nitrógeno.
Clima	
Fríos extremos	Especies nativas o introducidas de rápido crecimiento
Condiciones de aridez o semiaridez	Especies nativas o introducidas de lento crecimiento
Condiciones templadas	Especies agrícolas o forestales, esto dependerá del tipo de rehabilitación
Uso de suelo	
Para rápida estabilización y alta productividad	Especies agrícolas
Para vida silvestre	Variedades de especies nativas que provean semillas, frutos, y espacios de protección y anidación
Para espacios de recreación	Especies resistentes a la intervención antrópica.

Fuente: Wilson, Brussière y Guerrero, 2007

Los autores también señalan otros criterios para la instalación de pastos cultivados como son:

- Alta productividad anual y calidad de forraje
- Larga y productiva duración
- Lugar apropiado para las plantas deseadas
- Bajas inversiones iniciales para el sistema de riego y bajos costos de mantenimiento
- Producción de forraje en época seca
- Aprovechamiento del pasto por largo tiempo.

Por otro lado, indican que las áreas de relaves que fueron revegetadas con pastos pueden tener un aprovechamiento no riesgoso como alimento de ganado en el futuro si se tiene un buen manejo y además estas áreas fueron establecidas sobre una geomembrana. (Wilson, Brussiére y Guerrero, 2007)

Es necesario aclarar que, durante la visita, alrededor del pasivo minero se encontró principalmente pastos altoandinos, además según FAO (2010), indica que en el distrito de Caylloma se tiene la presencia de las siguientes formaciones vegetales:

- Pajonales, Que ocupan la mayor parte del terreno y se agrupan en matas de hojas duras conocidas como “ichus” o paja.
- Bofedales: Que se hallan en suelos húmedos
- Tolares: Arbustos propios de ambientes secos usados generalmente como leña

Además, otro estudio sobre flora y vegetación altoandina en un distrito cercano al pasivo por Vargas y otros (1990) indica que se distinguen siete asociaciones vegetacionales:

- Tolar o estepa: Extensión de terreno árido ocupado por especies arbustivas, perennes y siempre verdes. Algunas de las especies son: *Parastrephia lepidophylla*, *Baccharis salicifolia*, *Calamagrostis rigida*, *Festuca glyceriantha*
- Pajonal de gramíneas o estepa graminosa: Pertenecientes a la familia *Poaceae* como *Festuca arundinacea*, *Calamagrostis vicunarum* o *Stipa ichu* y *Festuca rigescens*.
- Ecotono tolar pajonal: Un ecotono es la transición entre un tolar y un pajonal, es decir, posee un “efecto borde” como *Parastrephia lepidophylla*, *Tetraglochin strictum*, *Festuca rigescens* y *Calamagrostis vicunarum*.

- Vegetación de laderas secas, exentas de tolar y pajonal: Referido a vegetación que ocupa las laderas que no fueron ocupadas por un tolar o pajonal, generalmente arbustos pequeños como *Tetraglochin strictum*, *Calamagrostis vicunarum*, *Astragalus peruvianus*, *Astragalus arequipensis*, *Festuca rigescens*, *Stipa ichu*, *Tephrocactus ignescens* y *Fphe-dra americana*
- Vegetación de suelos húmedos: Vegetación propia de suelos húmedos, adyacentes a fuentes de agua y bofedales como *Stipa ichu*, *Solanum sp.*, *Descurainia perkinsoniana*, *Brassica campestris*, *Calamagrostis vicunarum*, *Alchemilla erodüfolia*, *Alchemilla pinnata*, *Astragalus peruvianus*, *Azorella yarita*, *Werneria aretioides*
- Vegetación de rocas: Que se desarrolla en lugares rocosos, con una gran variedad de plantas, muchas de ellas vistosas y que rompen la monotonía como *Werneria dactylophylla*, *Ribes brachybotrys*, *Cajophora hórrida*, *Valeriana coarctata*, *Azorella yarita*, *Gnaphalium sodiroi*, *Calamagrostis vicunarum*, *Erodium cicutarum*, *Oxalis petiophylla*, *Culcitium serratifolium*, *Hypo-choeris acaulis* y *Tillandsia capillaris*.
- Vegetación de bofedal: Una de las especies más importantes es *Pennisetum sp.*

Texto citado de: Flora y vegetación altoandina de Tisco. (Vargas, Jiménez y Villasante, 1990)

3.5.4.1 Obtención de los plantones a revegetar

Se evaluaron alternativas para la obtención de las especies.

- Por implementación de un vivero en la zona de estudio, o en las cercanías: La principal alternativa para esta propuesta es la siembra por almácigos, que consta de un grupo de semillas sembradas en una cama especial, en un ambiente controlado hasta su crecimiento. (PROMANACHS, 1997)

- Pedido de donaciones: La minera Bateas SAC tiene un programa de desarrollo sostenible que financia y apoya en su aspecto de responsabilidad social.
- Esquejes de plantas: Consiste en la separación de fragmentos conformados para introducirlos directamente en el suelo o sustrato. (PROMANACHS, 1997)

3.5.4.2 Diseño de la disposición espacial de las especies vegetales para la revegetación

Se analizó las formas de siembra de pastos de relaves mineros propuestas por Wilson, Brussière y Guerrero (2007):

- Siembra directa en hileras
- Siembra directa al voleo
- Siembra directa – hidrosiembra para taludes
- Trasplante: Siembra utilizando esquejes o hijuelos de pastos

Se presentan algunas de las limitaciones para siembra de pastos: (Tabla 12)

Tabla 12. Limitaciones con diferentes sistemas de plantación de pastos.

Factor	Siembra en Hileras	Siembra al Voleo	Hidrosiembra
Pendiente	<15°	<20°	Con manguera se alcanza los 50 m y con brazo hidráulico hasta 500
Precipitación	Importante	Crítica	Crítica
Pedregosidad o afloramientos rocosos	De preferencia menor a 50%	Crítica, fisuras y grietas en las rocas y piedras permiten que las semillas se introduzcan y puedan encontrar mejores condiciones micro climáticas para germinar	
Compactación	Ligeramente aceptable	Inaceptable	Inaceptable

Densidad de semillas	Bajas densidades	Altas densidades	
Distribución de semillas/esquejes	Uniforme en hileras	Aleatorio (semillas)	Aleatorio (semillas)
Establecimiento de las semillas	Muy efectiva	Resultados variables	Resultados variables
Paja	No es necesario	Necesario (en trabajos diferentes)	Necesario (se puede trasplantar en el mismo trabajo)
Fertilización	Operación separada de la siembra	Operación separada de la siembra	Se puede efectuar en la misma operación, pero no se realiza a profundidad
Equipamiento	Tradicional	Método manual	Equipo especial
Costo	Bajo	Muy barato	Costoso

Fuente: Wilson, Brussière y Guerrero, 2007

3.5.5 Elaboración de la Propuesta de Plan de revegetación para el Pasivo Ambiental Minero N° 14582 en el distrito de Caylloma

Para la elaboración del plan, se tomó como base la “Guía para la elaboración de planes de cierre de pasivos ambientales mineros” (MINEM, 2009), la “Guía para el diseño de coberturas de depósitos de residuos mineros” (MINEM –PERCAM, 2007) y la “Guía ambiental para la vegetación de áreas disturbadas por la industria minero metalúrgica” (MINAM, 2009).

Los puntos desarrollados en la propuesta fueron:

3.5.5.1 Caracterización del ambiente:

- Información climatológica
- Información sobre el recurso suelo
- Información sobre la vegetación

3.5.5.2 Formulación del plan

- Objetivos
- Implementación del plan
- Presupuesto
- Cronograma físico

3.5.5.3 Mantenimiento y monitoreo

- El monitoreo indicado para este plan, tal como lo estipulan las guías bases, es de 5 años.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Elaboración de una línea base ambiental del cuadrángulo 31-s

4.1.1 Características geológicas

De acuerdo al descrito por el Boletín geológico del cuadrángulo 31-s, se puede apreciar que en la región de Caylloma afloran unidades sedimentarias y volcánicas, cuyo rango de edad abarca desde el periodo Jurásico hasta el Cuaternario Reciente, a continuación, se describe la columna estratigráfica. (INGEMMET, 1988)

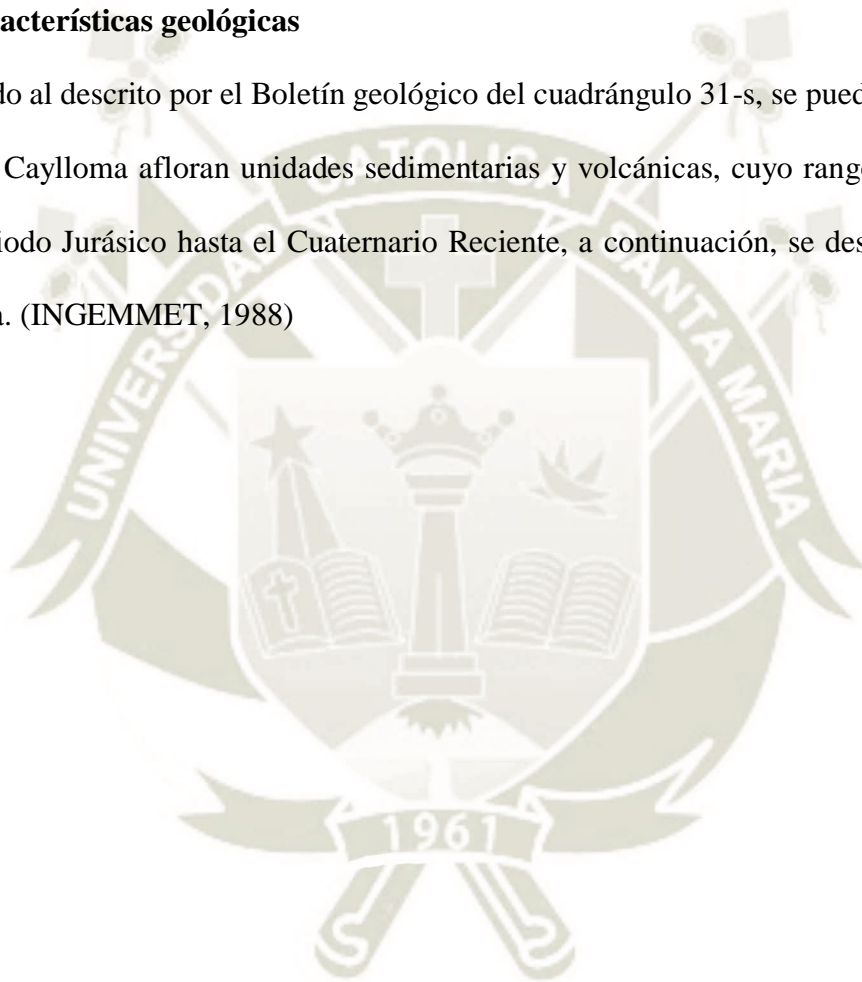


Figura 9. Características geológicas de cuadrángulo 31-s

CRONOESTRATIGRAFIA			LITOESTRATIGRAFIA			
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS			
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Depositos recientes	Grupo Andagua	Qr-an	
				Distancia erosional	Deslizamientos	Qr-de
				Aluviales	Qr-al	
			Depositos pleistocenos	Aluviales	Qpl-al	
				Glaciofluviales	Qpl-glf	
		PLEISTOCENO	Distancia erosional*	Morrenicos	Qpl-mo	
				Otros aparatos volcánicos	Qpl-ba-o	
			Grupo Barroso	Domo	Qpl-ba-d	
				Domo - Lava	Qpl-ba-dl	
				Estrato volcan	Qpl-ba-ev	
TERCIARIO	SUPERIOR	Distancia erosional	Formación Pusa	TQ-pu		
		Distancia erosional	Formación Sencca	Ts-se		
	MEDIO	Distancia angular	Formación Ichocollo	Tm-ich		
			Formación Orcopampa	Tm-or		
		Distancia angular	Formación Arcurquina	Kms-ar		
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR	Murco	Miembro D	Ki-mu-D	
				Miembro C	Ki-mu-C	
				Miembro B	Ki-mu-B	
				Miembro A	Ki-mu-A	
				Formación Hualhuani	Ki-hu	
		MEDIO	Grupo Yura	Formación Gramadal	Ki-gr	
				Formación Labra	JKi-la	
				Formación Cachios	Js-ca	
				Formación Puente	Jms-pu	
				Formación Puente	Jms-pu	
INFERIOR	SUPERIOR	MEDIO	JURÁSICO	SUPERIOR	MEDIO	

Fuente: Carta Geológica Nacional del Perú – Cuadrángulo 31-s

4.1.2 Características hidrogeológicas

Dentro del Estudio de Impacto Ambiental: Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D 173-2011-MEM-AAM (Minera Bateas SAC, 2011), se determinó que el acuífero principal corresponde a medios permeables constituidos por depósitos sedimentarios no consolidados o escasamente consolidados y rocas intensamente

fracturadas. En esta área de estudio se distinguen dos áreas principales de sistemas hidrogeológicos, la de Trinidad y la de Santiago.

Tabla 13. Características hidrogeológicas del área de Santiago

Área De Santiago				
Formaciones	Litología	Tectónica Micro	Permeabilidad k(cm./s)	Clasificación Hidrogeológica
Detrítico	Grava angulosa, arena, limo, arcilla	-	$8.24 \cdot 10^{-4}$	Acuífero poroso no consolidado
Fisurado	Roca volcánica, lavas andesíticas	Fracturado	$9.62 \cdot 10^{-6}$	Acuífero fisurado localizado en estructuras
Detrítico	Grava, arena, limo, arcilla	-	$1.27 \cdot 10^{-3}$ $2.093 \cdot 10^{-3}$	Acuífero detrítico

Fuente: Minera Bateas SAC, 2011

4.1.2.1 Nivel freático

La napa contenida en los acuíferos se comporta como: Libre, semiconfinado y confinado, de acuerdo a su disposición y recorrido siendo su fuente de alimentación la parte alta de las microcuencas Huarajo y Cuchilladas, así como también las infiltraciones producto del río. (Minera Bateas SAC, 2011)

4.1.2.2 Acuíferos

Las operaciones mineras producidas alrededor, no extraen ni usan aguas subterráneas. Al no ser explotada, la depresión del nivel freático no tendrá mayor variación. De este modo, la evolución piezométrica no sufrirá un descenso importante de los niveles de maneta, que no producirá la desconexión hidráulica de los bofedales con el acuífero local, comportándose aquellos actualmente

como zonas de recarga del acuífero en las ocasiones en que circula agua por sus cauces. (Minera Bateas SAC, 2011)

4.1.3 Características hidrológicas

En base a lo expuesto en el Estudio de Impacto Ambiental de Minera Bateas SAC (2011), se tomaron las siguientes características

4.1.3.1 Aguas superficiales

a) Ríos

Dentro del área de estudio mencionado anteriormente, se ha identificado el río Santiago, el cual va desde la convergencia de las quebradas Huarajo y Cuchilladas, desde los 4 540 m.s.n.m. hasta el nivel de 4 300 m.s.n.m., con una longitud y perímetro de la divisoria de aguas de 3.03. km. El cauce principal presenta una longitud de 9.65 km. Tiene una pendiente media de 1.76 %, extiende un área de drenaje de 47.16 km².

La dirección del cauce es de noreste a sureste, aguas debajo de su cauce se converge con la quebrada Huancané y el río Huarhuarco, a su vez la micro cuenca Santiago es alimentada por 4 lagunas: Jesús María, Antimonio, Velafro y una laguna sin identificar; como también por cuatro quebradas. (Minera Bateas SAC, 2011)

b) Lagunas:

Laguna Jesús María:

Se presenta como un cuerpo de agua significativo realizado en el estudio. Tiene un área de 3.62 hectáreas y un perímetro de 0.825 km. Es alimentada superficialmente por las aguas de las quebradas secundarias provenientes de deshielos y algunos bofedales que se encuentran en el sector noreste. (Minera Bateas SAC, 2011)

Laguna Antimonio:

Se encuentra ubicada a espaldas de la laguna Jesús María. Presenta un área de 4.48 hectáreas y un perímetro total de 0.823 km. Es alimentada por bofedales y tiene una descarga principal hacia el río Santiago. (Minera Bateas SAC, 2011)

Laguna Velafro:

Esta laguna es considerada el cuerpo de agua más importante dentro del área de estudio, tiene un área superficial de agua de aproximadamente 77 hectáreas y un perímetro de 4.58 km. Se encuentra en la parte occidental de todas las operaciones mineras, incluidos dos relaves.

Se alimenta superficialmente por las aguas de las quebradas secundarias provenientes de deshielos y algunos bofedales que se encuentran en el sector norte. (Minera Bateas SAC, 2011)

4.1.3.2 Aguas subterráneas

La presencia de agua subterránea de evidencia por el afloramiento de pequeños manantiales alineados que discurren con dirección hacia bofedales dentro del área de la micro cuenca, donde se almacena el agua y luego discurre por quebradas hacia las zonas bajas. El sistema geológico estructural de la zona está conformado por fallas y fracturas, que sirven como medio de conducción de flujo subterráneo principal.

La zona de recarga se representa en la parte alta, donde las áreas de recepción están delimitadas por líneas de cumbres de los cerros conformando micro cuencas, en donde al estar expuestas a rocas fracturadas, permiten la percolación de aguas de lluvia hacia el subsuelo.

La zona de descarga natural se localiza en las partes intermedias a bajas de las quebradas, donde se manifiestan los afloramientos de manantiales de forma intermitente, o caudales variables, o en

forma individual en el lecho de arroyos alimentándolos de forma permanente. (Minera Bateas, SAC, 2011)

4.1.4 Características topográficas

La zona de estudio se caracteriza por presentar una superficie accidentada, debido a la interacción de factores geodinámicos geológicos y procesos tectónicos. La presencia del sistema montañoso de los andes, origina una gran variedad de paisajes, presentándose una gran variedad de pendientes. (Minera Bateas SAC, 2011)

Tabla 14. Nivel de pendientes de la zona

Nivel de pendiente	Rango
Plano casi a nivel	0 - 2
Ligeramente inclinada	2 - 4
Moderadamente inclinada	4 - 8
Fuertemente inclinada	8 - 15
Moderadamente empinada	15 - 25
Empinada	25 - 50
Muy empinada	50 - 75
Extremadamente empinada	75 <

Fuente: Minera Bateas SAC, 2011

4.1.5 Cobertura vegetal

Según lo establecido en el Estudio de Impacto Ambiental de Minera Bateas SAC (2011), la cobertura vegetal se determinó mediante análisis de imágenes satelitales y fotografías digitales. En cada zona de muestreo se tomaron de tres a cinco fotografías, que fueron posteriormente analizadas para la obtención de valores representativos de cada formación vegetal.

4.1.5.1 Bofedal

Se encuentran aproximadamente entre los 3 900 m.s.n.m. y 4 800 m.s.n.m. Su topografía está caracterizada por laderas suaves, áreas planas o con ligeras depresiones. En esta área el agua es el factor principal que controla el medio y la vida vegetal y animal relacionada con él.

La vegetación que conforma los bofedales está conformada básicamente por la champa (*Distichia muscoides*), el sillu – sillu (*Alchemilla pinnata*), el libro – libro (*Alchemilla diplophylla*), la chillihua (*Festuca dolichophylla*), y los crespillos (*Calamagrostis curvula*, *Calamagrostis ovata*, entre otras), que son especies vegetales de tamaño pequeño (Minera Bateas SAC, 2011)

Figura 10. Bofedal



Fuente: Minera Bateas SAC, 2011

4.1.5.2 Pajonal

Su topografía está caracterizada por laderas suaves a empinadas, áreas planas a colinadas, suelos arenosos – arcillosos y pedregosos. El Ichu (gramíneas *Stipa obtusa* y *Stipa ichu*), domina el paisaje, dando la apariencia de un suelo cubierto por pastos altos de color siempre amarillento, por lo que le da el nombre de pajonal.

En algunas ocasiones el Ichu se ve dominado por una gramínea de coloración plomiza muy punzante, llamada Iru-icchu (*Festuca orhophylla*), acompañadas por otras hierbas de tamaño muy pequeño que crecen en la época de lluvia, como *Plantago monticola*, arbustos como el canlle (*Tetraglochin strictum*), especie indicadora de suelos erosionados.

La tola (*Parastrephia* y *Baccharis*) se encuentra de forma muy dispersa en esta comunidad. Fisonómicamente se constituye en un pajonal con escasos arbustos. (Minera Bateas SAC, 2011)

Figura 11. Pajonal de Puna



Fuente: Elaboración propia

4.1.5.3 Roquedal

Este hábitat se encuentra generalmente sobre los 4400 m.s.n.m. Su topografía está dominada por lechos rocosos o peñas, los cuales están escasamente cubiertos por líquenes y musgos. Las especies que predominan en estas zonas son *Calamagrostis sp* e Ichu (*Stipa ichu*), plantas que

permanecen principalmente solo como manchas residuales en las laderas rocosas empinadas.
(Minera Bateas SAC, 2011)

Figura 12. Roquedal



Fuente: Minera Bateas SAC; 2011

4.1.6 Características del suelo

El Estudio de Impacto Ambiental de Minera Bateas SAC (2011), incluye un estudio de clasificación de suelos, donde se tomaron muestras de nueve calicatas y su clasificación por uso mayor de tierras.

Con el sistema de Clasificación Taxonómica de Suelos (Soil Taxonomy, 2014) se determinaron los diversos subgrupos de suelos. A estos, por practicidad para su fácil identificación, se acordó realizar una clasificación cartográfica de suelos mediante consociaciones de los subgrupos identificados, estas consociaciones se denominaron con un nombre local, tomando en consideración sus rasgos diferenciales tanto físicos - morfológicos y químicos y sus fases por pendiente, seguido se presenta la clasificación realizada:

Tabla 15. Características del suelo

Orden	Sub orden	Gran grupo	Sub grupo	Nombre
Andisols	Ustands	Durustands	Thapic	Zona Bateas
			Durustands	
			Humic	Zona San Cristóbal Zona Don Lucho Zona Don Luis Zona San Francisco
			Durustands	
Aquic	Zona Reservada			
Durustands	Zona Animas			
			Typic	Zona Velafro
			Durustands	

Fuente: Minera Bateas SAC; 2011

Se presenta también las unidades de suelo y/o áreas misceláneas.

Tabla 16. Unidades del suelo y/o áreas misceláneas

Consociación	Símbolo	Proporción (%)	Pendiente
Consociación de suelos o Áreas misceláneas			
Don Lucho	DLO	100	Moderadamente inclinada – fuertemente inclinada
Santa Catalina	SCA	100	Moderadamente inclinada – fuertemente inclinada
Bateas	BA	100	Plano casi a nivel – Ligeramente inclinada

Don Luis	DLS	100	Moderadamente inclinada – fuertemente inclinada
Velafro	BI	100	Moderadamente inclinada – fuertemente inclinada
San Cristóbal	SCR	100	Moderadamente inclinada – fuertemente inclinada
San Francisco	ZRL	100	Plano casi a nivel – Ligeramente inclinada – Moderadamente inclinada
Animas	AN	100	Ligeramente inclinada – Moderadamente inclinada – Fuertemente inclinada
Reservada	ZR	100	Ligeramente inclinada – Moderadamente inclinada
Misceláneo Roca	MRO	100	Moderadamente empinada – Empinada
Misceláneo Cárcavas	MISC	100	Moderadamente empinada – Empinada
Consociación de suelos o Áreas misceláneas			
Bateas – Don Luis	BA – DLS	40 – 60	Plano casi a nivel – Ligeramente inclinada
San Cristóbal – Animas	SCR – AN	45 – 55	Moderadamente inclinada – fuertemente inclinada

Otros
Lagunas

Fuente: Minera Bateas SAC; 2011

El área de Misceláneo de Rocas (MRo), constituye una unidad no edáfica, ya que está constituido por afloramientos rocosos. En cuanto al área de Misceláneo Cárcavas (MISC) presenta suelos erosionados con presencia de surcos y cárcavas.

4.1.7 Uso actual de la tierra

Se tomó como referencia al Sistema de Nueve Categorías de la Unión Geográfica Internacional UGL.

De la información recopilada se obtuvieron cuatro categorías de uso de tierra, de las cuales se determinaron subcategorías de uso actual, de acuerdo a la predominancia de los componentes dentro de las unidades identificadas en el área de estudio. Se muestran en la tabla 17 las categorías y sub clases de uso actual de suelo. (Minera Bateas SAC, 2011)

Tabla 17. Categorías del uso de la tierra

Categoría	Sub Clases	Simbología
Unidades Puras		
Terrenos urbanos y/o instalaciones privadas	Uso minero	UM
Terrenos con praderas naturales	Pajonal de Puna	Pp
Terrenos húmedos	Vegetación hidromórfica	Vh
Terrenos sin uso e improductivos	Afloramiento rocoso	Ar
	Terrenos sin vegetación	Tsv

	Terrenos con vegetación esporádica	Tve
Otros		
Cuerpos de Agua	Lagunas	L

Fuente: Minera Bateas SAC; 2011

4.1.7.1 Terrenos Urbanos e Infraestructuras Públicas y Privadas

En el área caracterizada por el Estudio de Impacto Ambiental de Minera Bateas SAC (2011), abarca una superficie de 89.29 hectáreas, equivalente a 1.92 % del total. Abarca toda el área sobre el cual se ubican los elementos del proyecto, tales como depósito de relaves, tajos, depósitos de desmonte, trincheras, campamentos y etc. Para las áreas disturbadas por actividades del proyecto, ya se cuenta con planes de cierre, en consecuencia se propondrán medidas de remediación y recuperación.

También abarca el área donde se encuentra el pueblo del distrito de Caylloma.

4.1.7.2 Terrenos con Praderas Naturales

En el área estudiada por el Estudio de Impacto Ambiental de Minera Bateas SAC (2011), abarca una superficie de 248.62 hectáreas, equivalente a 5.35 % del total.

Estas superficies se encuentran generalmente en las superficies bajas, donde los suelos tienen a tener una profundidad moderada y son mayormente superficiales, en estos casos, se presentan afloramientos rocosos y fragmentos de roca como gravas y piedras.

Los pastos altoandinos que se desarrollaron en toda el área estudiada del EIA; representan las áreas verdes de las zonas secas y con menor temperatura, y son fuente de alimento para los auquénidos salvajes del lugar.

4.1.7.3 Terrenos húmedos – Vegetación Hidromórfica

En el área estudiada por el Estudio de Impacto Ambiental de Minera Bateas SAC (2011), abarca una superficie de 77.41 hectáreas, equivalente a 1.67 % del área total. Esta zona abarca a las formaciones vegetales que se encuentran en los suelos hidromórficos, como son las planicies glaciares, los fluvios lacustres y las partes bajas de las montañas y colinas que presentan un mal drenaje. Las especies vegetales que habitan esas zonas son de pote pequeño y de tipo almohadillas (musgos), lo que genera abundante materia orgánica. La ubicación de estas superficies es próxima al área del río Santiago.

4.1.7.4 Terrenos sin uso y/o Improductivos

a) Afloramiento Rocoso (Ar)

Se encuentran predominantemente en las zonas más altas de la zona de estudio del Estudio de Impacto Ambiental de Minera Bateas SAC (2011), las ha abarcadas por estos terrenos son de 3399.42, aproximadamente 73.17 %. Estos afloramientos, inhiben el crecimiento de las especies vegetales, ya que se encuentran en algunos casos aun no consolidados, aparte de esto, se presentan erosiones por flujos de aguas y gravedad, y suelos inundados por derrubios de origen glacial.

En estos estratos es donde generalmente se desarrollan las actividades económicas, por la alta cantidad de minerales presentes y otros recursos explotables.

b) Terrenos sin vegetación (Tsv)

El área estudiada por el Estudio de Impacto Ambiental de Minera Bateas SAC (2011), indica que estos terrenos eriazos abarcan aproximadamente unas 28.21 ha, lo que equivale al 0.61% del total. Las zonas donde se encuentran estos terrenos, son las altas (mayor o igual a 5000 m.s.n.m.), por la altitud, el clima es extremadamente rígido y seco, el relieve es totalmente irregular, por lo que no se evidencia multiplicación de especies vegetales.

Así mismo, pertenecen a terrenos sin vegetación, que se ubican en las cimas y costados de las montañas/colinas, en donde se presenta fundamentalmente erosión laminar provocado por la acción hídrica.

En estos estratos, ubicados en el noroeste de la zona de estudio, es donde generalmente se desarrollan las actividades económicas, por la alta cantidad de minerales encontrados en el lugar.

c) Terrenos con vegetación esporádica (Tve)

Abarca aproximadamente unas 727.21 ha de la zona de estudio, lo que equivale al 15.66% del total, se distribuyen por el sur y suroeste, con una altitud mínima de 4500 m.s.n.m., por la cima de las montañas, las pendientes y lomadas. Se encuentra añadido con fragmentos de rocas (gravas), afloramientos rocosos, y tierras sin idoneidad para la realización de actividades agrícolas.

La vegetación existente en estas zonas, es esporádica y muy separada, se encuentran en rocas meteorizadas e invadidas por líquenes. (Minera Bateas SAC, 2011)

4.1.8 Uso histórico de la tierra

El presente estudio no puede estar ajeno a las actividades realizadas en esa zona por parte de las poblaciones aledañas a lo largo del tiempo.

Se realizó algunas preguntas a los pobladores del distrito que se encontraban, esta investigación pretende recopilar las versiones de estos pobladores sobre el uso pasado del territorio, principalmente pastores, sin embargo, una barrera ante esto fue la poca cantidad de personas en el lugar, en total fueron tres personas a las que se les realizó el cuestionario, presentando los resultados siguientes.

1. ¿Qué actividades recuerda que se han desarrollado en la zona?

De acuerdo a los pobladores entrevistados, no recuerdan la presencia de una mina informal en la zona, por lo que no tienen ningún tipo de precaución al momento de mandar a pastar a sus auquénidos y ovinos.

2. ¿Qué modificaciones de apariencia ha sufrido la zona?

Solo 1 poblador indicó que hubo pérdida de cobertura vegetal por el sobrepastoreo, ya que diariamente auquénidos y ovinos, salvajes y domésticos, se alimentan ahí.

3. ¿Se presentan inundaciones en épocas de lluvia en la zona?

Los entrevistados, no reconocen antecedentes de inundaciones.

4. ¿Qué minas conoce de su localidad?

Los lugareños indican que conocen la mina Bateas, Ares y minería informal. Todos los entrevistados, confirmaron la presencia de minas Bateas y Ares, pero también minas informales ubicadas mayormente al noroeste del pueblo.

De la revisión de encuestas, se puede observar que la principal actividad de la zona impactada, es el pastoreo por parte de ganado y especies salvajes, generando biomagnificación y degenerando aún más la resiliencia natural del suelo afectado por el pasivo.

4.1.9 Datos climáticos

De acuerdo con el Estudio de Impacto Ambiental de Minera Bateas (2011), el área de estudio presenta un clima frío y seco durante todo el año, precipitaciones durante los meses de diciembre a marzo y fuertes vientos entre los meses de agosto y septiembre. De acuerdo con la clasificación

de Koppen y Geiger, el clima es de tundra (ET), ya que forma parte de la cordillera de los Andes, con una temperatura media anual de 4.5°C y una precipitación de 695 mm por año.

4.1.9.1 Temperatura

La temperatura se evaluó con los datos recogidos de las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona de estudio: Se presentan a continuación los resultados obtenidos:

Tabla 18. Estaciones meteorológicas

Estación	Ubicación			Coordenadas		Altitud (m.s.n.m.)	Temp. Media Anual °C	Periodo de registro
	Departamento	Provincia	Distrito	Long.	Lat.			
Angostura	Arequipa	Caylloma	Caylloma	71°38'	15°10'	4 150	5.4	1975/2007
Caylloma	Arequipa	Caylloma	Caylloma	71°46'	15°11'	4 420	5.3	1970/2007
Cabanaconde	Arequipa	Caylloma	Cabanaconde	71°58'	15°37'	3 379	11.8	1990/2004
Imata	Arequipa	Caylloma	San Antonio de Chuca	71°05'	15°50'	4 519	3.6	1970/2001

Fuente: Minera Bateas SAC, 2011

Se muestran también, los datos de la temperatura media mensual para las microcuencas Santiago y Trinidad, que están presentes en el área de estudio. Se precisa que la microcuenca Santiago, tiene una oscilación de 2°C, que se presentan en los meses de junio y julio, a 4.2°C, que se presenta en el mes de noviembre, y el promedio es de 3.2°C. (Minera Bateas SAC, 2011)

Tabla 19. Temperatura mensual y promedio anual

Mes	Microcuenca Santiago (°C)	Microcuenca Trinidad (°C)
Enero	3.7	4.2
Febrero	3.7	4.2
Marzo	3.8	3.9

Abril	3.5	3.5
Mayo	2.6	3.2
Junio	2.0	2.0
Julio	2.0	4.2
Agosto	2.3	2.9
Septiembre	3.1	3.1
Octubre	3.7	4.2
Noviembre	4.2	4.0
Diciembre	4.0	4.6
Promedio Anual	3.2	3.7

Fuente: Minera Bateas, 2011

4.1.9.2 Precipitación

Se evaluó la información registrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Tabla 20. Estaciones meteorológicas

Estación	Ubicación			Coordenadas		Altitud (m.s.n. m.)	pp. Total Anual (mm)	Periodo de Registro
	Dep.	Prov.	Dist.	Long.	Lat.			
Angostura	Arequipa	Caylloma	Caylloma	71°38'	15°10'	4 150	823.4	1975/2007
Tisco	Arequipa	Caylloma	Tisco	71°27'	15°21'	4 175	693.3	1970/2007
Cabanaconde	Arequipa	Caylloma	Cabanaconde	71°58'	15°37'	3 379	397.4	1990/2004
Janacancha	Arequipa	Caylloma	Caylloma	71°46'	15°11'	4 320	850.3	1970/2001

Fuente: Minera Bateas, 2011

Se presenta la información de la precipitación por microcuenca (tabla 21) donde se observa que la época de lluvias se da durante los meses de noviembre a marzo, que es donde las precipitaciones fluviales son extremas, presentando lluvia, nevada y granizo, su nivel oscila desde los 150 mm

hasta los 558.7 mm, viene acompañado de tempestades, relámpagos y vientos. En contraparte a la época de sequía que se da entre los meses de abril a octubre, donde se presentan heladas a muy baja temperatura. (Minera Bateas SAC, 2011)

Tabla 21. Precipitación mensual y promedio anual

Mes	Precipitación. (mm) Microcuenca Santiago	Precipitación. (mm) Microcuenca Trinidad
Enero	182.40	184.09
Febrero	163.10	164.61
Marzo	139.20	140.49
Abril	43.60	44.00
Mayo	4.30	4.33
Junio	3.00	3.02
Julio	4.70	4.74
Agosto	8.10	8.16
Septiembre	12.50	12.60
Octubre	20.50	20.69
Noviembre	40.90	41.28
Diciembre	90.40	91.24
Promedio Anual	59.39	59.94

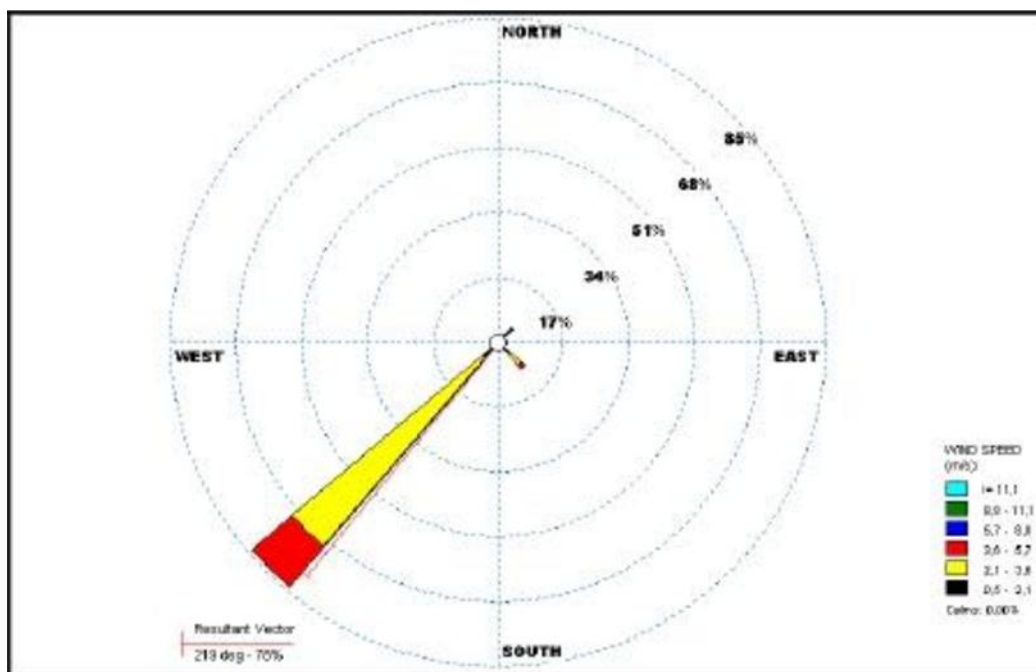
Fuente: Minera Bateas SAC, 2011

4.1.9.3 Atmósfera

En el Estudio de Impacto Ambiental de Minera Bateas SAC (2011) para estudiar la velocidad y dirección del viento, usaron la data registrada en la estación Caylloma, correspondiente al periodo comprendido entre los años de 2003 hasta el año 2012. Para elaborar la roza de viento, se utilizó el programa WRPLOT.

La dirección del viento predominantemente va desde el Suroeste a Noreste y se encuentra entre los intervalos de velocidades comprendidos entre 2.1 - 3.6 (72 %) hasta 3.6 – 5.7 (13 %), con una velocidad promedio de 2.81 m/s.

Figura 13. Rosa de vientos del distrito de Caylloma



Fuente: Minera Bateas SAC, 2011

En cuando a la calidad de aire presente, éste se encuentra en el rango de: Bueno (40): La calidad de aire se encuentra satisfactoria y la contaminación atmosférica representa un riesgo escaso o nulo, de acuerdo al estudio climatológico recopilado por el Servicio de Vigilancia Atmosférica de Copernicus (2020).

Seguido se detallan los contaminantes presentes. (Tabla 22)

Tabla 22. Contaminantes del aire

Contaminantes del aire	Cantidad	Conclusión

Ozono (O ₃)	45.46 µg/m ³	Bueno
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	1 µg/m ³	Bueno
Dióxido de azufre (SO ₂)	1.84 µg/m ³	Bueno
Partículas en suspensión menores a 2.5 µ	3.94 µg/m ³	Bueno
Partículas en suspensión menores a 10 µ	7.92 µg/m ³	Bueno
Monóxido de carbono (CO)	100 µg/m ³	Bueno

Fuente: Servicio de Vigilancia Atmosférica de Copernicus, 2020

4.1.10 Calificación de Prioridad de Remediación del Pasivo Ambiental Minero

Tomando en cuenta las características naturales, actividades y componentes, se encuentran dentro de la zona impactada por el relave, se procedió a hacer un análisis del foco de contaminación presente. (Tabla 23)

Tabla 23. Parámetro para la elección de prioridad de remediación del PAM

Componente	Denominación	Posible foco de contaminación	Características	Calificación de PAM (Remediación de Pasivos Ambientales en el Perú MEM 2015)
Depósito de Relaves	Pasivo Ambiental Minero	Si	Los pasivos ambientales mineros son	Prioridad de remediación: Alta

			<p>aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por actividades mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad. (MINAM - 2018)</p>	
--	--	--	---	--

Fuente: Elaboración propia

4.1.10.1 Calificación del PAM

Según la Guía para la Remediación de Pasivos Ambientales Mineros en el Perú, propuesta por el MINEM, las prioridades de remediación se encuentran establecidas en cinco categorías: Insignificante, Baja, Media, Alta y Muy Alta. (MINEM, 2015)

Tabla 24 Categorías para la calificación del PAM

Categoría	Rango
Insignificante	0 – 20
Baja	21 – 40
Media	41 – 60
Alta	61 – 80
Muy Alta	81 – 100

Fuente: Guía de Remediación de Pasivos Ambientales Mineros en Perú (MINEM 2015)

Para poder calificar al PAM, se usaron matrices establecidas en la guía, el procedimiento se detalla a continuación:

Tabla 25. Riesgos del PAM

Riesgos	Nº de riesgos a evaluar
Seguridad humana	6
Salud humana y ambiente físico	4
Fauna silvestre y conservación	7
Total de Riesgos	17

Fuente: Guía de Remediación de Pasivos Ambientales Mineros en Perú (MINEM 2015)

$$\text{Puntaje Total Máximo} = 3 \times 17 = 51$$

4.1.10.2 Puntaje de Riesgo de PAM

Luego de la identificación y evaluación de los datos en campo, se asigna un valor comprendido entre 0, 1, 2 o 3.

Tabla 26. Matriz de Riesgo a la seguridad humana

RIESGO A LA SEGURIDAD HUMANA	PUNTUACIÓN				CONCLUSIÓN	
	0= Bote, helicóptero, avión	1= Recorrido largo en vehículo o a pie en vía no demarcada	2= En vehículo, seguido de una distancia pedestre de menos de 500 m	3= Adyacente a áreas pobladas, corta distancia en vehículo o corta distancia a pie		
Accesibilidad	0= Bote, helicóptero, avión	1= Recorrido largo en vehículo o a pie en vía no demarcada	2= En vehículo, seguido de una distancia pedestre de menos de 500 m	3= Adyacente a áreas pobladas, corta distancia en vehículo o corta distancia a pie	En vehículo, seguido de una distancia pedestre de menos de 500 m	2
Potencial de colapso	0= Ninguno	1= No hay taludes empinados	2= Taludes empinados de menos de 5 m	3= Taludes empinados elevados (>8 m)	Taludes empinados de menos de 5 m	2
Condición de cierre	0= Cobertura en buenas condiciones o no requeridas	1= Cobertura un poco deteriorada o mal diseñada/construida	2= Cobertura seriamente dañada o residuo	3= Residuo totalmente expuesto	Residuo totalmente expuesto	3

			parcialmente expuesto			
Presencia de señales y cercos para limitar el acceso	0= Sitio adecuadamente protegido con cerco y señales	1= Sitio señalizado con bajo riesgo de causar daños	2= Sitio no señalizado, riesgo de causar daños bajo o moderado	3= Sitio no señalizado y alto riesgo de causar daños	Sitio no señalizado, riesgo de causar daños bajo a moderado	2
Potencial de hundimiento	0= Ninguno	1= Evidencia de hundimientos menores	2= Evidencia de hundimientos moderados	3= Evidencia de hundimientos en condiciones peligrosas	Evidencia de hundimientos menores	1
Potencial de daño físico relacionado con el residuo (corto y largo plazo)	0= Ninguno (físicamente estable o inaccesible)	1= Bajo potencial, requiere interacción humana intencional	2= Potencial moderado, elemento físicos o estabilidad pueden causar daño a transeúntes	3= Alto potencial, elementos físicos o estabilidad con alto riesgo a causar daño a transeúntes.	Bajo potencial, requiere interacción humana intencional	1

Presencia de escombros, rocas, materiales, residuos, etc. En la pila	0= Ninguno	1= Presencia menor de escombros o elementos naturales sensibles	2= Presencia de elementos naturales y no naturales que representan riesgo para los transeúntes	3= Notable presencia de elementos naturales y no naturales que representan un riesgo significativo para los transeúntes	Ninguno	0
Otro peligro de seguridad	Pendiente alta					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Matriz de Riesgos a la salud humana y ambiental

RIESGOS A LA SALUD HUMANA Y AMBIENTAL	PUNTUACIÓN				CONCLUSIÓN	
	0= Ninguna	1= Mínima	2= Moderada	3= Severa		
Evidencia de erosión hídrica o eólica					Moderada	2

Evidencia de eventos previos de inundación, drenajes o derrames (relacionado con la actividad minera)	0= No hay evidencia y las condiciones sugieren que es improbable	1= Evidencia de eventos mínimos	2= Evidencia de eventos mínimos o moderados	3= Evidencia de eventos moderados o severos	No hay evidencia y las condiciones sugieren que es improbable	0
Potencial de generación de drenaje ácido	0= Ninguno	1= Manchas de precipitados	2= Pequeño flujo de drenaje ácido fluyendo o que podría fluir	3= Grandes cantidades de drenaje ácido fluyendo o que podría fluir	Grandes cantidades de drenaje ácido fluyendo o que podría fluir	3
Evidencia de sustancias tóxicas (Cianuro, Arsénico, etc.)	0= Ninguna	1= Mínima, inferida de acuerdo a actividades pasadas y confinado al sitio	2= Mínimo o moderado (contenedores de reactivos abandonados en el sitio)	3= Moderada o severa, no confinada y fluyendo a receptores exteriores	Moderada o severa, no confinada y fluyendo a receptores exteriores	3
Otro peligro de salud	Contaminación atmosférica.					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Matriz de Riesgos a la fauna silvestre y la conservación

RIESGOS A LA FAUNA SILVESTRE Y LA CONSERVACIÓN	PUNTUACIÓN				CONCLUSIÓN	
Accesibilidad y escape para la fauna silvestre	0= No hay acceso (área cercada o sellada)	1= Accesible pero fácil de escapar	2= Accesible y difícil de escapar	3= Fácil acceso sin posibilidad de escapar	Accesible pero fácil de escapar	1
Atracción de fauna silvestre	0= Ninguna atracción aparente	1= Menor, debido a vegetación/habitad	2= Atracción moderada debido a alimentos y habitad	3= Muy atractivo, debido a alimentos y hábitat.	Muy atractivo, debido a alimentos y hábitat.	3
Vegetación en el sitio y alrededores	0= Sitio y alrededores cubiertos con vegetación consistente con el clima	1= Cobertura vegetal limitada al sitio o periferia	2= Evidencia de vegetación afectada en el sitio o periferia	3= Ninguna vegetación (aparentemente por fitotoxicidad)	Evidencia de vegetación afectada en el sitio o periferia	2

Proximidad de áreas protegidas	0= >10 km de un área protegida	1= <10 km de un área protegida	2= <1 km de un área protegida	3= Dentro de un área protegida	>10 km de un área protegida	0
Sensibilidad del área (uso tradicional del suelo, corredor de fauna)	0= Ningún uso sensible del suelo	1= <10 km de un área sensible	2= < 1 km de un área sensible	3= dentro de un área sensible	< 1 km de un área sensible	2
Drenaje o filtración hacia cuerpos de agua	0= Ninguno	1= Potencial de contaminar cuerpos de agua durante temporada de lluvias	2= Potencial de contaminar cuerpos de agua en cualquier momento	3= Descarga de aguas contaminadas hacia cuerpos de agua	Potencial de contaminar cuerpos de agua durante épocas de lluvias	1
Otra preocupación ambiental	Alta carga de contaminación en el suelo de la zona.					

Fuente: Elaboración propia.

El puntaje de riesgo del Pasivo Ambiental Minero es obtenido mediante la suma de los pesos de cada indicador de riesgo.

Tabla 29. Puntaje de Riesgos

PUNTAJE DE RIESGO	
Riesgo a la seguridad humana	11
Riesgo a la salud humana y ambiente físico	8
Riesgo a la fauna silvestre y la conservación	12
Total	31

Fuente: elaboración propia

El puntaje normalizado es obtenido de la divisoria del Puntaje Total entre el Puntaje Total Máximo multiplicado por 100:

$$(31/51) \times 100 = \mathbf{61}$$

La prioridad se halla mediante el método de quintiles, siendo 61 el resultado obtenido. Por consecuente, se encuentra en la categoría de alta en las prioridades de remediación.

4.1.11 Levantamiento técnico del sitio

Se evaluaron las condiciones actuales del área de estudio, se adjuntan las fichas de Levantamiento Técnico del Sitio en los anexos. Se muestran los resultados obtenidos:

En la zona de estudio se encuentra el Pasivo Ambiental Minero. El acceso al sitio es totalmente libre, no hay ningún tipo de limitación. Se observan extensiones de Pajonal de Puna y vegetación en la parte sur del Pasivo. Se pudo evidenciar excremento de auquénidos y nidos de roedores dentro de la zona. No se observan productos químicos, tanques de combustible o almacenamiento de sustancias peligrosas, tampoco se observan evidencias de derrames, olores extraños ni pozos de extracción de aguas. Sin embargo, se precisa un cambio en el centro del Pasivo, ya que es suelo es totalmente eriazo.

Figura 14. Comparación del suelo del PAM con la periferia no contaminada



Fuente: Elaboración propia

4.1.11.1 Priorización y validación

Para la priorización y validación se realizó una visita a la zona del pasivo, siguiendo las coordenadas obtenidas del listado de Pasivos Ambientales del Perú (MINEM, 2020), luego se procedió a evaluar los posibles focos de contaminación mediante la escala de evidencia proporcionada por la R. M. N° 085-2014 MINAM: “Guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos” (Elemento orientativo N° 4)

Tabla 30. Priorización y validación del PAM

Nivel de Evidencia	Descripción
Confirmado +++	El foco está probado en campo, y su existencia se infiere del análisis de los procesos industriales (diagrama de flujo)
Probable ++	El foco solo se menciona en el diagrama de flujo o plano, no hay indicio en campo
Posible +/-	El foco se cita a menudo sin mención específica
Sin evidencias (no confirmado)	La evidencia es débil, solo una mención o sugerencia

Fuente: Guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos (MINAM, 2014)

Los resultados obtenidos luego de la inspección técnica para la caracterización se detallan en la tabla 31.

Tabla 31. Resultados de la priorización y validación del PAM

Foco Potencial	Clasificación según la evaluación	Observaciones

Pasivo Ambiental Minero (Deposito de Relaves Mineros)	+++		La evidencia es clara, el componente existe (inventariado) y está comprobado en el campo
---	-----	--	--

Fuente Elaboración propia.

4.1.11.2 Focos potenciales de contaminación

En el caso de los relaves mineros, en épocas de lluvia, esta se convierte en agua de contacto una vez que interactúa con el material. Estas aguas pueden escurrirse a los cuerpos de agua cercanos, y aumentan el drenaje de suelos, con contaminantes presentes. Así como también se indica la contaminación atmosférica por aumento de partículas en suspensión, con contenido metálico. A continuación, se presenta el diagrama de contaminación provocado por relaves. (Tabla 32)

Tabla 32. Focos potenciales de contaminación por el PAM

Foco de Contaminación	Fuente Primaria	Fuente Secundaria	Sustancias Relevantes	Mecanismos de Transporte	Trayecto de Exposición	Receptores Inmediatos
PAM (Relave)	Material mineral	Polvo mineral	Material particulado (contaminado con metales pesados)	Dispersión eólica	Aire (dispersión atmosférica)	Vegetación
	Lodos			Infiltración de aguas de Lluvia	Suelo: contaminación de suelos subterráneos)	Cursos fluviales

Fuente: Elaboración propia.

a) Vegetación circundante

Debido a que, en los meses comprendidos entre noviembre a marzo, se presentan precipitaciones, el efecto de estas aguas que entran en contacto con el depósito de relave podría

generar dispersión de contaminantes, ya que se generan pequeñas escorrentías, considerando que la parte más alta del pasivo se encuentra aproximadamente a 14 metros por encima de la parte más baja, se podrían transportar los metales pesados a la vegetación periférica ubicada en la parte sur del pasivo.

b) Cursos de agua

Existe una posible contaminación hacia los cursos de agua, debido a que las aguas de lluvia que entran en contacto con la zona contaminada, podrían contactar con los cursos de agua, ya que aproximadamente a unos 190 metros del depósito de relaves, se encuentra la microcuenca Chonta, que, en sus cauces inferiores, converge con el Río Santiago.

c) Contaminación atmosférica

Dado que la dirección del viento es generalmente de suroeste a noreste, el pueblo no se ve muy afectado por el aumento de material particulado contaminado (con contenido metálico), pero si la vía que rodea al pasivo, la cual es medianamente transitada por trabajadores que bajan de las minas hacia el pueblo.

4.1.12 Propiedades del suelo contaminado

De acuerdo con lo descrito en la investigación realizada por Farfán (2018), se hicieron tomas de muestras representativas en el distrito de Caylloma, se seleccionaron las más cercanas a la zona impactada, para determinar su nivel de contaminación, los metales pesados presentes y sus propiedades físicas y químicas. A continuación, se detallan el procedimiento seguido.

4.1.12.1 Tipo de muestreo

La técnica de muestreo que se utilizó fue aleatoria, ya que solo se buscó determinar la existencia de contaminantes en la zona, por ello no se consideró una metodología más precisa.

En cuanto a la profundidad, se determinó que como los contaminantes de interés (metales pesados), no tienden a infiltrar mucho, se realizó un muestreo de solo 10 cm de profundidad. (Guía para el Muestreo de Suelos – R. M. N°085 –2014 –MINAM)

4.1.12.2 Localización y puntos de muestreo

Los puntos escogidos, solo para la zona del Pasivo, se detallan en la tabla 33.

Tabla 33. Localización y puntos de muestreo

Punto de muestreo	Coordenadas Geográficas		Altitud (m.s.n.m)
	Este	Norte	
Punto 1	195 702	8 314 365	4415
Punto 2	196 328	8 314 354	4415

Fuente: Farfán, 2018

4.1.12.3 Parámetros y métodos de ensayo realizados

A continuación, se presentan los parámetros de campo, siguiendo los parámetros de ensayo establecidos por la Guía para Muestreo de Suelos – R.M. 085-2014-MINAM (Cianuro libre, Cromo hexavalente, Mercurio total, Metales totales), así como también los métodos de ensayo establecidos por el D.S 011 -2017 –MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelos.

Figura 15. Parámetros y métodos de ensayo

Parámetros en mg/kg PS ⁽²⁾	Usos del Suelo ⁽¹⁾			Métodos de ensayo ^{(7) y (8)}
	Suelo Agrícola ⁽³⁾	Suelo Residencial/ Parques ⁽⁴⁾	Suelo Comercial ⁽⁵⁾ / Industrial/ Extractivo ⁽⁶⁾	
INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ⁽¹⁵⁾	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 ⁽¹⁶⁾
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/ó ISO 17690:2015

Fuente: Adaptado del D.S 011 -2017 –MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelos

4.1.12.4 Resultados del muestreo

Se presentan en la tabla 33, los resultados obtenidos luego del muestreo y la aplicación de los métodos establecidos en el laboratorio (para la investigación presentada el encargado fue CORBLAB).

Tabla 34. Resultados del muestreo

Punto de muestreo	pH	Textura	mg/kg								
			Al	As	Cd	Ca	Cu	Cr	P	Fe	Mn
1	-	Francoso	17953	81.92	< 1.00	1655	36.54	18.08	950.8	24341	1273
2	6.30	Francoso	14426	323.6	1.11	1342.00	37.41	19.03	1085	37888	1443

Mo	Ni	Pb	K	Se	Na	Mg	Zn	CN libre	Hg
< 4.00	21.91	39.83	1940	< 1.00	65.06	4317	101.8	< 0.2	1.15
< 4.00	27.58	42.63	1263	< 1.00	157	4714	100.6	< 0.2	1.09

Fuente: Farfán, 2018

*Los metales presentados en la tabla, concuerdan con los requerimientos establecidos en el muestreo y análisis de suelos de la Guía Ambiental para la Vegetación de Áreas Disturbadas por la Industria Metalúrgica (MINEM).

*La coloración distinta en los valores del Arsénico, se debe a que estos superan los ECAs establecidos, siendo 140 mg/kg, lo máximo permitido.

*También se aprecia una pequeña cantidad de Mercurio, que evidencia las actividades de separación de minerales.

4.2 Determinación del uso futuro del suelo

Tomando en cuenta la localización y las actividades realizadas en la zona, la categoría Según los Planes de Cierre de las Unidades Mineras es la de: Terrenos con Vegetación, en la subclase de Terrenos Recuperados con Vegetación.

En cuanto a las actividades antrópicas, la principal es el pastoreo por ganadería, ya sea doméstica o silvestre, por lo que también se consideran a las Plantaciones forestales silvopastoriles, mayormente los arbustos forrajeros, para la alimentación de ganado.

Este punto se sustenta con el trabajo presentado por FAO (2010), el cual indica que la principal actividad económica del distrito, es precisamente, la pecuaria, siendo la especie de mayor importancia la alpaca, seguido de ovinos y llamas. (Tabla 35)

Tabla 35. Población pecuaria del distrito de Caylloma

Especies	Nº de cabezas (aprox.)
Alpacas	3800
Llamas	797
Ovinos	1500
Vacunos	70

Fuente: FAO, 2010

4.3 Propuesta de medidas para mejorar las propiedades del suelo impactado

Según lo indicado en el estudio presentado por Farfán (2018), el suelo impactado presenta una cantidad de metales y nutrientes en el rango aceptable, según la variación de la concentración en suelos

El metal más peligroso es el Arsénico, que está presente en grandes cantidades, acidificando el suelo, y destruyendo la materia orgánica presente, lo cual impide la biometilación del Mercurio, evitando su oxidación a Hg_2 , acumulando el metal en el suelo sin posibilidad a degradarse y descomponerse.

Tabla 36. Propiedades químicas del suelo

Elemento	ppm / mg /kg			
	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
P (ácidos)	< 20	20-40	40-100	> 100
K	< 150	150-250	250-800	> 800
Ca	< 1000	1000-2000	> 2000	-
Mg	< 60	60-180	> 180	-
S	< 2	2-10	> 10	-
B	< 0.5	0.5-2	> 2	-
Zn	-	> 1.0	-	-
Cu	-	> 0.6	-	-
Mn	-	1.5	-	-
Na			> 100000	-

Fuente: Agrolab

4.3.1 Cobertura técnica

El suelo presenta un pH ligeramente ácido, por lo que es necesario hacer enmiendas para volverlo neutro. El método que se presenta a continuación es el de cobertura técnica, que consta de sustratos en la zona de relave con capas de enmiendas para el suelo.

Las capas escogidas para el tratamiento, contienen fertilizantes y nutrientes para las especies vegetales, no se utilizará una barrera alcalina, ya que el relave no tiene capacidad de generar DAR. (Geoservice SAC, 2013)

La cobertura constará de 20 mm de material arcilloso (con 45% de partículas finas), 10 mm de material calcáreo (con un aprox. De 20% de CaCO_3) y por último 20 mm de tierra vegetal.

Otros beneficios según Malavolta (1993), son:

- Eliminación de la toxicidad por aluminio y manganeso.
- Incremento de la actividad de los microorganismos encargados de la mineralización de la materia orgánica.
- Aumento de Calcio y Magnesio.
- Mejoramiento de la eficiencia de los abonos, en particular los nitrogenados, potásicos y fosfóricos.
- Incremento de la actividad de bacterias que fijan el Nitrógeno atmosférico.

4.3.2 Fertilización

En cuanto a la fertilización, la tierra avícola (gallinaza) aportará nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y algunos micronutrientes.

También aumenta la MO del suelo, la fertilidad y su calidad. (INTAGRI, 2015)

Tabla 37. Contenido nutrimental del estiércol de bovino comparado con la gallinaza

Nutriente	Estiércol de bovino	Gallinaza
	kg/ ton	
Nitrógeno	14.2	34.7
Fósforo (P ₂ O ₅)	14.6	30.8
Potasio (K ₂ O)	34.1	20.9
Calcio	36.8	61.2
Magnesio	7.1	8.3
Sodio	5.1	5.6
Sales solubles	50	56
Materia orgánica	510	700

Fuente: INTAGRI, 2015

4.4 Selección de especies vegetales

De acuerdo a lo señalado en la metodología se consideran 3 condiciones primarias fundamentales: Tipo de residuo, clima y el uso del suelo (Wilson, Brussière y Guerrero, 2007), para ello se recolectaron los siguientes datos:

4.4.1 Tipo de residuo

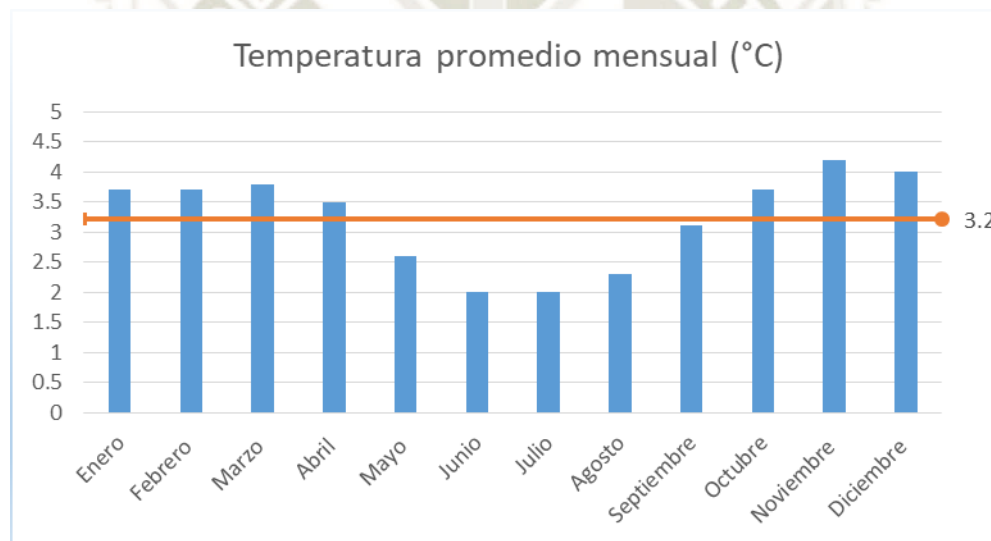
El tipo de residuo principal es de metales pesados de acuerdo con los estudios previamente realizados, en la tabla N° 33, se evidencian cantidades de Arsénico y Mercurio. (Farfán, 2018)

4.4.2 Clima

Como se mencionó anteriormente, el clima es el factor más determinante para la selección de especies, el pasivo se encuentra en una zona altoandina con climas extremos.

El distrito de Caylloma se encuentra aproximadamente a 4320 m.s.n.m. el clima presente es de Tundra, por lo que significa que las temperaturas son muy bajas durante todo el año, de acuerdo con Köppen y Geiger se clasifica como ET (Frío de tundra: La temperatura media del mes más cálido oscila entre 0°C y 10°C)

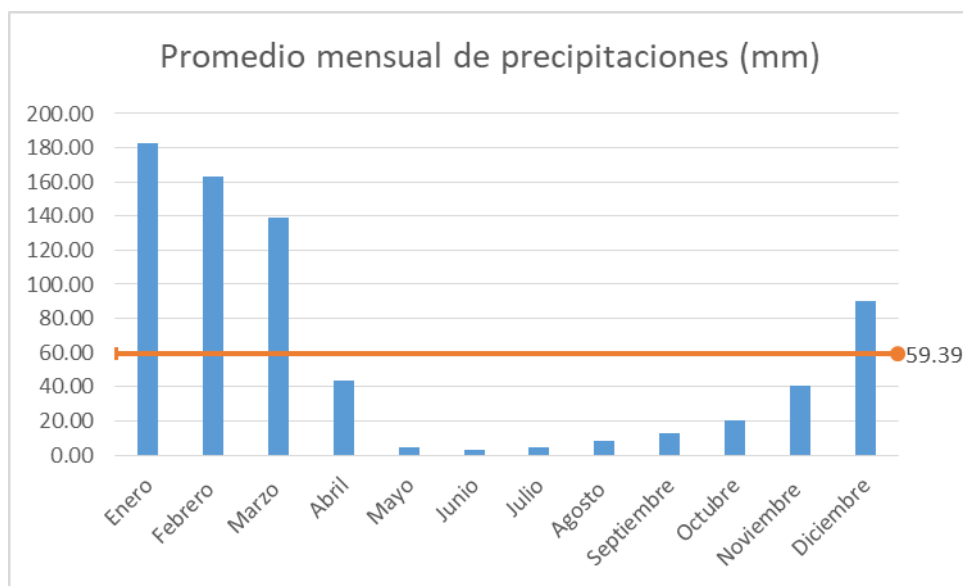
Figura 16. Temperatura mensual y anual del distrito de Caylloma



Fuente: Elaboración propia

La menor cantidad de lluvia se produce en junio, el promedio de este mes es de 3.00 mm. Con un promedio de 182.40 mm, la mayor precipitación cae en enero.

Figura 17. Precipitación mensual y anual del distrito de Caylloma



Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta estos datos, las heladas están presentes en los meses de mayo a julio, las especies seleccionadas deben de soportar mínimo hasta 30 días de heladas/año, y en los requerimientos hídricos, las especies deben ser tolerantes a las sequías, ya que la precipitación anual está por debajo de los 200 mm, que es considerado bajo.

En cuanto a la velocidad del viento, oscila entre los 10.12 km/h hasta los 20.52 km/h, que es considerada moderada (Beaufort), lo que indica que las especies deben de tener tolerancia a vientos fuertes, deben presentar estructuras firmes, ya que sus ramas pueden romperse, y también deben tolerar el efecto deshidratante del viento, ya que aumenta la transpiración de las hojas y la evapotranspiración del suelo. (Cesio 2020)

4.4.3 Uso del Suelo

Luego de ver las características químicas del suelo, se deben de tomaron en cuenta las características del éste, desde el punto de vista físico, los parámetros son la pendiente, profundidad, pedregosidad, y la capacidad de retención de humedad superficial.

Tabla 38. Requerimientos del suelo

Propiedades físicas del suelo	
Pendiente	14.96° en la parte más empinada
Profundidad	Media (15 – 40 cm)
Pedregosidad superficial	40%
Capacidad de retención de humedad	No determinado

Fuente: Elaboración propia

Además, gracias a las encuestas realizadas a los pobladores se sabe que el uso principal del uso es de pastero y ganadería.

4.4.4 Selección de especies vegetales

Tomando en cuenta todos los estudios y requerimientos anteriormente citados, se procede a la selección final de especies, con las experiencias realizadas en Perú, las preferencias deben ser de especies herbáceas, procurando no utilizar aquellas que tengan raíces muy profundas, como la alfalfa (*Medicago sativa*), y en segundo caso arbustivas.

Tabla 39. Matriz para elección de especies vegetales

Especies encontradas en la zona	Metales pesados							Clima			Respaldo científico	
	Antimonio (Sb)	Arsénico (As)	Cadmio (Cd)	Cobre (Cu)	Plata (Ag)	Plomo (Pb)	Mercurio (Hg)	Suelo ácido	Frio extremo	Precipitación baja		Vientos Moderados
Tola (<i>Parastrephia lepidophylla</i>)	X		X	X		X			X	X		El trabajo presentado por Miñano (2019), demuestra la tolerancia de <i>Parastrephia lepidophylla</i> en los suelos con metales pesados, presentes en la cuenca de Calientes, en el distrito de Tisco en Caylloma, a una altitud comprendida entre 4443 a 4448 msnm.
Jara amarilla (<i>Baccharis salicifolia</i>)		X					X			X		Cepeda (2018), determinó que la especie <i>Baccharis latifolia</i> , cuenta con las características para acumular metales pesados en sus diferentes órganos, poniendo énfasis especial en el arsénico, presentando una remoción de 59.56 % en suelos contaminados por 0.5, 5 y 10 ppm.

<p>Ichu (<i>Calamagrostis rigida</i>)</p>			X	X		X			X	X	<p>Jara, E., Gómez, J., Montoya, H., Tapia, L., Noema, C., Dextre, y Abigail (2017), realizaron experiencias de fitorremediación en 4 humedales altoandinos, distribuidos en Cerro de pasco, concluyendo que la especie <i>Calamagrostis rigida</i>, es hipertolerante frente a los metales pesado, adicional a esto, presenta la propiedad de fitoestabilización de Cd, Cu, Pb y Zn, absorbiendo estos metales en sus raíces.</p>
<p><i>Festuca glyceriantha</i></p>		X	X	X		X			X	X	<p>En la experiencia realizada por Corpus (2018), sembró especies de <i>Festuca glyceriantha</i> en un suelo contaminado con Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, de la mina Santa Rosa de Jangas, ubicado en Huaraz, con un porcentaje de remoción de 52.39% de Cd, 42.71% de Cu; 27.7% de Ni, 28.4% de Pb y 28.89% de Zn, y presentando una tolerancia hacia otros metales pesados.</p>

Festuca alta (<i>Festuca arundinacea</i>)			X			X	X		X	X	La revisión de literatura propuesta por Méndez (2020), indica que la especie <i>Festuca arundinacea</i> , presenta tolerancia hacia los metales pesados, y presenta una gran absorción de Cd en 46.7% en una cantidad inicial de 2.5 ppm; Pb en 34.1% en una cantidad inicial de 50 ppm y Ni en 23.8% en una cantidad inicial de 300 ppm.
---	--	--	---	--	--	---	---	--	---	---	---

Fuente: Elaboración propia a partir de la Guía MINEM

*Las especies citadas cumplen con los establecidos por la Guía para el diseño de coberturas de depósitos de residuos mineros MINEM –PERCAM (Wilson, Brusière y Guerrero, 2007).

*Estas especies crecen cerca al área impactada, es decir, pajonales y tolares.

Otras de las especies de pastos nativos altoandinos que recomienda la Guía para el diseño de coberturas de depósitos de residuos mineros MINEM –PERCAM (Wilson, Brusière y Guerrero, 2007) muy usadas en programas de revegetación son:

Tabla 40. Requerimientos de suelo para las especies más usadas en revegetación

ESPECIE	REQUERIMIENTOS DE SUELO				
	TEXTURA	PROFUNDIDAD	REACCION (pH)	CONDICIONES ADVERSAS	CONDICIONES FAVORABLES
PASTOS NATIVOS ALTOANDINOS					
<i>Festuca dolichophila</i> (Chillihua)	Franco y franco limosos	"Media"	5.8 a 7.87	Suelos fuertemente ácidos con bajo contenido de materia orgánica y arcillosos	Crece bien en suelos ricos en materia orgánica, con alto contenido de calcáreo y potasio
<i>Calamagrostis vicunarum</i>	Franco limosos	"escasa" (0-15 cm) y media	Suelos ácidos pH menor 5.5	Es muy rustica y se adapta a suelos pobres	Crece bien en suelos de buen drenaje, de textura media
<i>Stipa ichu</i>	franco	"escasa" (0-15cm)	Suelos ácidos pH menor 5.5	Mal drenaje	Es muy rustica y se adapta a suelos muy pobres
<i>Muhlebergia fastiagata</i> "grama"	Media a fina	"escasa" (0-15cm)	Ligeramente ácidos pH 5.5 – 6.5	Suelos con buen drenaje	Crece bien en suelos húmedos (mal drenaje) oconales, o bofedales
<i>Festuca dolichophila</i> (Chillihua)	3800 a 4000 msnm	"soporta" heladas	Bajo – soporta sequías (menos 250 mm por año)	Principalmente en la Sierra Central y sur del Perú	Es una pastura que tolera a las sequías y heladas
<i>Calamagrostis vicunarum</i>	3800 a 4700	"soporta" heladas	Bajo – soporta sequías	Sierra Central y sur del Perú	Es una pastura que tolera a las sequías y
<i>Stipa ichu</i>	3500 a 5000	"soporta" heladas	Bajo – soporta sequías	En toda la sierra del Perú	Es una planta que se desarrolla en las
<i>Muhlebergia fastiagata</i>	3600 a 4300	"soporta" heladas	Abundante	En las mesetas altoandinas del Perú	Se distribuye de preferencia en los lugares
<i>Poa candamona</i> "kcacho"	3700 a 3900 msnm	"Soporta" heladas		Sierra Central del Perú	

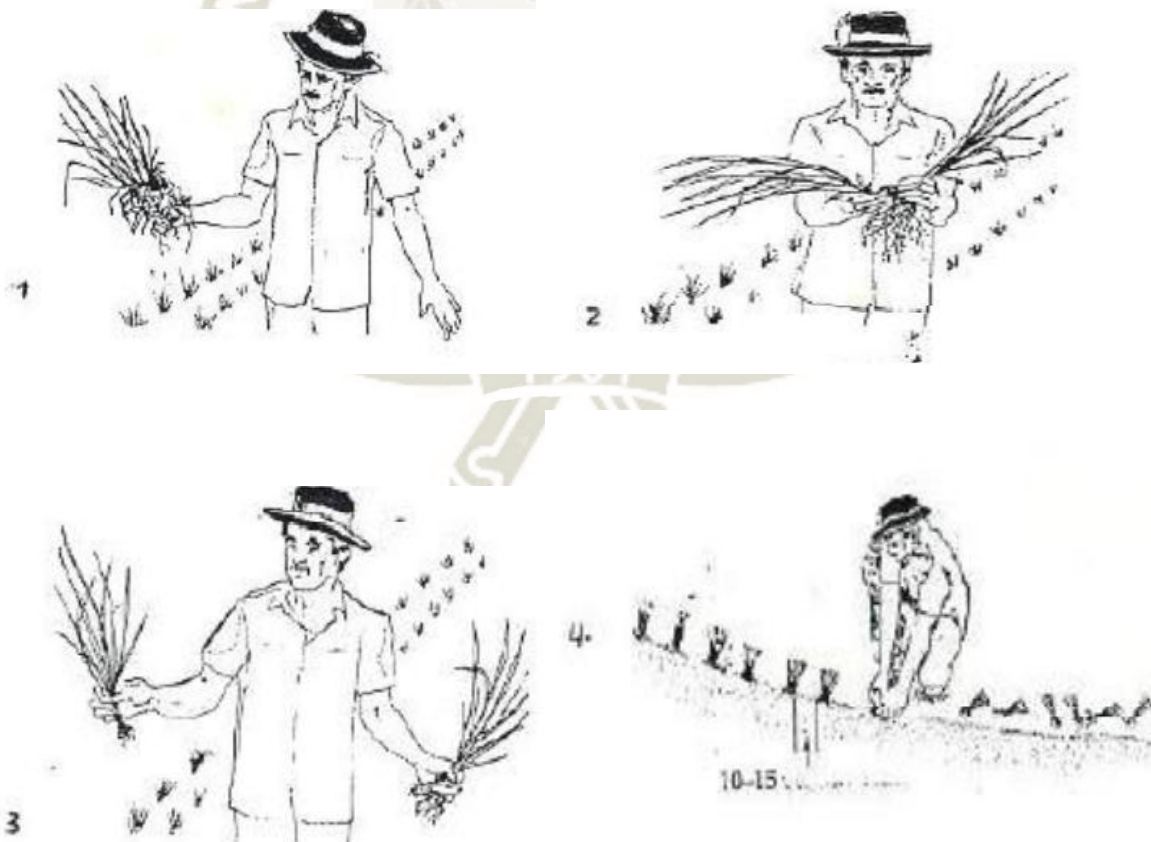
Fuente: Wilson, Brusière y Guerrero, 2007

4.4.5 Obtención de los plántones para la revegetación

La obtención de plántones se hará de acuerdo a la técnica de la trasplatación de plantas madres bien conformadas que tuvieron un crecimiento y óptimo desarrollo, se debe sacar estas plantas y separar la planta madre de los esquejes que tengan un buen enraizamiento, luego se debe seleccionar los esquejes o hijuelos enraizados, para después cortar las hojas a la mitad ya que es necesario la disminución por pérdidas de agua del esqueje hasta que se establezca en el campo para comenzar a plantar.

Los esquejes deben tener raíces que tengan contacto con la tierra para aumentar el nivel de asentamiento, con tallos de mínimo 10 cm para asegurar la supervivencia (Alejo et al 2014).

Figura 18. Proceso de trasplantar pastos a través de esquejes o hijuelos



Fuente: Wilson, Brussiére y Guerrero, 2007

4.4.6 Diseño de la disposición espacial de las especies vegetales

De acuerdo a la metodología propuesta, la mejor opción es la siembra en hileras, pues la pendiente es menor a 15° , la precipitación es importante, más no crítica como en las otras opciones, ya que la zona tiene poca precipitación, además de que tiene otras ventajas como el ser tradicional y tener un bajo costo, por lo que cumple con todas las características señaladas anteriormente en la metodología, sobre todo con las plantaciones seleccionadas, ya que son esquejes y no semillas.

Se debe recomendar una distancia de aproximadamente 50 cm para un buen prendimiento de las raíces. (Miranda y Ccana, 2014)

Figura 19. Sembrado en hileras



Fuente: Wilson, Brussièrre y Guerrero, 2007

Nota: Este tipo de siembra se realiza en contra de la pendiente para ir progresivamente logrando la cobertura total en un periodo de 3 a 5 años, además es necesario evitar el ingreso de ganado sin control.

Para un mejor asentamiento, es necesario distribuir adecuadamente los plántones, separándolos por pequeñas comunidades, es imperioso no plantar las especies en una forma intercalada, de preferencia, por su rápido asentamiento, se recomienda que los Ichu se posicionen en la pendiente, mientras que las otras especies, en el suelo más llano, con una ligera separación para evitar la competencia de nutrientes y agua. (Mamani y Pinazo, 2019)

4.5 Elaboración de la propuesta de Plan de Revegetación para el Pasivo Ambiental Minero N° 14582 en el distrito de Caylloma

El plan de revegetación para el pasivo ambiental minero N° 14582, elaborado en su totalidad, se detalla en el anexo de este trabajo de investigación.

La principal norma legal que regula los planes de cierre de PAMs, es la Ley N° 28271 “Ley que Regula los Pasivos Ambientales de la Actividad minera”, modificada con la Ley N° 28526 “Ley que modifica los artículos 5°, 6° 7° y 8° de la primera disposición complementaria”. Esta guía presenta un formato detallado para la ejecución exitosa del proceso de revegetación de un PAM (relave), el cual ha sido abandonado y con responsables sin identificar. Este plan incluye medidas para la recuperación de propiedades físicas y químicas del suelo, especies vegetales óptimas para el proceso, plan de monitoreo, cronograma y presupuesto.

La implementación de estos lineamientos, ayudarán a la protección del sistema ecológico presente, la salud humana y a la reducción de efectos ambientales negativos, asociados a la actividad minera ilegal.

Se vierten las principales conclusiones del estudio realizado, como punto principal para futuros proyectos, principalmente en la sierra alta del Perú, donde la minería ilegal genera una problemática ambiental muy grande.

4.6 Discusión

- Las características geológicas señaladas en la línea base, presentan concordancias con el informe presentado por FAO (2010), que indica que el relieve es predominantemente accidentado, con montañas que se originan y separan en la cordillera y posee un suelo con alto porcentaje de pedregosidad.
- En cuanto a las características hidrológicas, el informe FAO (2010), indica que las lagunas más importantes son la Velafro, Cahualaca, Lloqochocha, Jahulcca, Trampolines y la laguna artificial Huarachuarco, los ríos que cuenta el distrito son el Apurímac, Monigotes, Chonta (se encuentra a unos metros del PAM), etc.
- Se indica que en la cobertura vegetal del distrito de Caylloma se encuentra en una zona agroecológica de Puna Seca, con vegetación compuesta generalmente de gramíneas con copa rala, hojas perennes y adaptadas a zonas de escasez extrema de agua (xerofítica), con presencia permanente de Tolares e Ichus, Alejo, Valer, Pérez, Canales y Bustinza, (2014), indican que los principales tipos de pastizales y praderas de las zonas altoandinas son los pajonales, césped de Puna, bofedales, tolares y canllares.

- Según Moriano (2017), la precipitación anual registrada en la estación meteorológica Cabanaconde, en el año 2010, fue de 41.6 mm/año, lo cual contrasta con la diferencia de 18.7 mm/año, en el EIA presentado en esta investigación.
- Conforme lo descrito en el diseño de cobertura de depósito de desmonte, Mina San Agustín, por Geocervice Perú S.A.C. (2013), se obvió una capa inicial de geomembranas, esto debido a que, en una experiencia anterior, en la zona de cierre de relaves Sinchao, los pobladores al mandar a pastar su ganado, y posteriores invasiones, rompieron la capa primaria de la cobertura técnica propuesta. Por esta razón, la capa inicial propuesta en este trabajo de investigación, es de material arcilloso, para igualar la impermeabilidad de una geomembrana, seguido de 10 mm de material calcáreo (Malavolta, 1993) y por último 20 cm de tierra vegetal (Wilson, Brussière y Guerrero, 2007). Esta cobertura se describe en la experiencia exitosa de revegetación realizada en el depósito de relaves de Quiulacocha, en el departamento de Pasco, a una altitud de 4300 m.s.n.m.
- La presencia de la especie Tola (*Parastrephia tepidophylla*), en las zonas altoandinas de Caylloma se evidencian en la ponencia presentada por Talavera, Villasante, Ortega, Villegas y Jiménez (2011), que indica que la composición florística abarca una cantidad de 49 géneros y 74 especies por toda la región de Caylloma, y específicamente en la familia *Asteraceae*, género *Parastrephia*, se encuentra la especie *Parastrephia lepidophylla*.
- El trabajo de Cepeda (2016), concluye que la especie *Baccharis latifolia*, tiene la capacidad de fitorremediadora de As, con un porcentaje de absorción de 81% en suelos contaminados, así mismo sugiere que el género *Baccharis* tiene propiedades

fitorremediadoras, ya que cita a Hanque, Peralta, Jones, Gardea y Grill (2008), que demostraron que la especie *B. sarothroides*, tuvo la capacidad de retener y transportar metales pesados a sus raíces, y la especie *B. trimera* presenta resistencia al etanol (Rabelo, de Pádua, Araujo, de Araujo, de Amorin, Carneiro y Costa, 2018). Mientras que la experiencia realizada por Díaz (2019), demuestra que la especie *B. salicifolia* tiene tolerancia y una alta remoción de Cr III.

- La especie *Calamagrostis rigida* posee propiedades fitorremediadoras, con una alta tasa de retención de metales pesados (Zn, Cd, Pb, Cu, Fe), demostrado en la experiencia de Huaranga (2018), en su trabajo realizado en Pasco. Mientras que Jara y otros (2017), verificaron que la especie tiene preferencia en acumular los metales pesados en los tejidos de sus raíces.
- *Festuca arundinacea* se considera una planta hiperacumuladora de Cd, ya que en sus raíces presenta un alto índice de almacenamiento de este metal pesado (Méndez, 2016), con un factor de bioconcentración mayor a 12.5 en su raíz y 3.78 en la parte aérea, con una tolerancia aceptable frente a otros metales (Steliga y Kluk, 2020).
- La plantación por medio de esquejes, dio buenos resultados, con un porcentaje de prendimiento de 76.5% del total de especies de *Festuca dolichophylla* trasplantadas, en la experiencia de Páucar (2019), en el predio de Paccari, del distrito de Asención, región de Huancavelica.



CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. Se elaboró una línea base ambiental del cuadrángulo 31-s, tomando el Estudio de Impacto Ambiental: Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D 173-2011-MEM-AAM como base para poder obtener la data necesaria, como también la investigación realizada por Farfán Paredes (2018), para determinar los contaminantes presentes en la zona.
2. Se determinó el uso futuro del suelo a revegetar, siendo este de clasificado como Terrenos con Vegetación, subclase de Terrenos Recuperados con Vegetación, en tanto a las actividades antrópicas, ya que es un terreno usado para el pastoreo de ganado ovino y auquérido se determinó el uso futuro de silvopastoril.
3. Se propuso medidas para la mejora de la calidad del suelo a revegetar, teniendo presente los contaminantes hallados, se optó por la cobertura técnica compuesta de material arcilloso, material calcáreo y tierra vegetal.
4. Se determinaron las especies adecuadas para la plantación, mediante matrices, estudios previos (Farfán, 2018) y recomendaciones propuestas: Guía para el diseño de coberturas de depósitos de residuos mineros MINEM –PERCAM (2007), PRONAMACHS, (1998), obteniendo pastos altoandinos como las especies más idóneas para la revegetación.

5. Se propuso un plan de revegetación para el pasivo ambiental minero N° 14582, ubicado en el distrito de Caylloma, con el sistema de plantación óptimo, presupuesto aproximado, cronograma físico de todas las actividades y monitoreo (por lo menos 5 años) para garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

5.2 Recomendaciones

1. Se sugiere siempre realizar revegetaciones de zonas impactadas o no impactadas, con especies nativas, en lugares donde se desarrollen sosteniblemente sin alterar la geografía.
2. Se debe desarrollar políticas sobre desarrollo sostenible, ya que su falta se evidencia en la incapacidad de las autoridades para realizar proyectos para solucionar el tema de los pasivos mineros en el país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alejo, J; Valer, F; Pérez, J; Canales, L; Bustamante V. (2014). *Manual técnico: “Manejo de pastos naturales altoandinos”*. PACCPERÚ. Disponible en: https://doc.rero.ch/record/305883/files/03-20_ManualTcnico2.pdf
- Aliaga E, Palomino E. Yupanqui E. Salvador M., Bobadilla M. Hilden F., y López M. (2009). *Capacidad de las plantas nativas en ambientes con drenaje ácido para la bioacumulación de metales pesados*. (1), Disponible en: <https://doi.org/10.32911/as.2009.v2.n1.371>
- Andina.pe. (2019). *Vivero forestal beneficia a comuneros de zonas altoandinas de Arequipa*. Disponible en: <https://andina.pe/agencia/noticia-vivero-forestal-beneficia-a-comuneros-zonas-altoandinas-arequipa-779410.aspx>
- Aranibar, M. y Ortiz, R. (2015). *Plantas acumuladoras de metales en relaves mineros del Altiplano de la región Puno*. Disponible en <http://www.uancv.edu.pe/revistas/index.php/RCIA/article/view/36/24>.
- Batchelker C.L., (1971). *Estimate of density from a sample of joint point and nearest neighbour distances*. Ecology.
- BOLFOR; Mostacedo, Bonifacio; Fredericksen, Todd S. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Santa Cruz, Bolivia
- Butrón Fernández, A. (2008). *Minería y desarrollo económico de la región Arequipa*. Disponible en: <http://biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/Proyecto/Eventos/eventos2007/Butron.pdf>
- Campbell N. A, Reece, J. B. y Urry, L. (2007) *Biología*. Editorial Médica Panamericana.
- Castillo, B. (2017). *Tipos de pasivos ambientales mineros en el Perú*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/BraulioCastilloAnyos/tipos-de-pasivos-ambientales-mineros-en-el-per>
- Castro, H.; Munevar, O. (2013). *Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes*. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 409-416.

Cepeda, I. (2018). *Determinación de la capacidad biorremediadora de las especies Baccharis latifolia y Verbena crassiramea sobre suelos contaminados con arsénico*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Cesio, F. (2020). *Recomendaciones para la correcta plantación de especies vegetales*. Lanacion.com.ar. Disponible en: <<https://www.lanacion.com.ar/lifestyle/que-plantas-podes-tener-lugares-mucho-viento-nid2401645/#:~:text=Los%20vientos%20fuertes%20pueden%20provocar,evaporaci%C3%B3n%20del%20agua%20del%20suelo.>>

Chávez Quijada, M. (2015). *Los Pasivos Ambientales Mineros: Diagnósticos y Propuestas*. Disponible en: <https://muqui.org/wp-content/uploads/2019/11/pasivosambientales2015.pdf>

Corpus, M. (2018). *Eficiencia de especies altoandinas como plantas fitorremediadoras de suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de minerales Santa Rosa de Jangas, en condiciones de invernadero*. Obtenido de <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3339>

De la Cruz, G. (2018). *Implementación de cerco perimétrico de púas*. Disponible en <https://es.scribd.com/doc/308398396/02-1-Cerco-Perimetrico-de-Puas>

Defensoría del Pueblo. (2015). *Avances y pendientes en la gestión estatal frente a los pasivos ambientales mineros e hidrocarbúricos*. Lima. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37106/1/S201420301_es.pdf

Díaz, Y. (2019). *FITOEXTRACCIÓN DE CROMO EN PLANTAS DE Chenopodium murale, Baccharis salicifolia, Eleocharis montevidensis y Tessaria integrifolia Y SU RELACION CON LA RESPUESTA FISIOLÓGICA Y BIOQUÍMICA*. Tesis doctoral, Universidad Nacional de San Agustín.

Eberhardt L.L., (1967). *Some developments in "distance sampling"*. Biometrics.

Elsemillero.net (2006). *Guía de plantación forestal*. Disponible en: http://elsemillero.net/nuevo/semillas/guadereforestacion/imagenes/guia_basica/pdf/capitulo%20III.pdf

FAO (2010) *Sistematización de Buenas Prácticas en la Comunidad de Caylloma, Distrito de Caylloma- Arequipa*, Disponible en: <http://www.fao.org/3/al927s/al927s00.pdf>

Farfán Paredes, G. (2018). *Identificación de suelos contaminados por minería en Caylloma, Arequipa referente a estudios geoquímicos y estándares de calidad ambiental*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima-Perú

Flores, A. y Malpartida, E. (1980). “*Estudios Autoecológicos de las Principales especies forrajeras nativas de los pastizales de Pampas Galeras*”. Boletín Técnico N° 22 Programa de Forrajes, Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima – Perú.

Gadow K. &, Hui G.Y., Albert M (1998). *The angular measure is a structural parameter for describing the individual distribution in forest stands*. *Centralbl. total. Forestry*.

Garate Quispe, J. (2018). *Diez años de proyecto piloto de revegetación de áreas degradadas por minería aluvial en el distrito de Huepetuhe, Madre de Dios*. Disponible en: <http://revistas.unamad.edu.pe/index.php/Biodiversidad/article/view/74>

García, I. y Dorronsoro, C. (2005). *Contaminación por Metales Pesados. En Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola*. Obtenido de: <http://edafologia.ugr.es>.

Geoservice Perú S.A.C. (2013). *Tercera Modificatoria del Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros de la Unidad Minera Colquirrumi*. Lima, Perú. 142 p.

Guerrero Centurión, D. (2018). *Tecnologías de revegetación en suelos impactados por actividades mineras, experiencias en el Perú*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina. 1-147

Gundersen, P., Olsvik, P. A., & Steinnes, E. (2001). *Variations in heavy metal concentrations and speciation in two mining-polluted streams in central Norway*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Obtenido de: <https://sci-hub.do/10.1002/etc.5620200507>

Hagihara A., Feroz S.M., Yokota M., (2008). *Canopy Multilayering and Woody Species Diversity of a Subtropical Evergreen Broadleaf Forest, Okinawa Island*. *Pacific Science*.

- Haque, N., Peralta-Videa, J. R., Jones, G. L., Gill, T. E., & Gardea-Torresdey, J. L. (2008). *Screening the phytoremediation potential of desert broom (Baccharis sarothroides Gray) growing on mine tailings in Arizona, USA*. *Environmental Pollution* (Barking, Essex: 1987), 153(2), 362-368. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.08.024>
- Herrera Velásquez, P. (2019). *Informe por Servicios Profesionales Realizado en la Municipalidad Provincial de Caylloma*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín.
- Holgate P., (1965). *Test of randomness based on distance methods*. *Biometrika*.
- Huanca, L. (2016) *Multiplicación masiva y crecimiento acelerado de Sup'u T'ula (Parastrephia lepidophylla Cabrera) con fines de repoblamiento en zonas productoras de quinua*. Tesis de Pregrado, Universidad Mayor de San Andrés (Bolivia).
- Huaranga, E. (2019). *Evaluación de contenidos metálicos en las especies altoandinas Calamagrostis rigida, Trisetum spicatum y Senecio rufescens en el entorno de la laguna de Yanamate, para determinar su potencial fitorremediador - Pasco – 2019*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Inga, C. (2019). *Estudio sobre el uso potencial de especies vegetales para la fitorremediación de suelo contaminado con plomo*. Researchgate, 1-5.
- IngeExpert. (s.f.). *Principales orígenes del drenaje ácido*. Obtenido de <https://ingeoexpert.com/articulo/principales-origenes-del-drenaje-acido/>
- INGEMMET (1988). *“Carta geológica nacional, cuadrángulo 31 – s”*. Obtenido de: <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/160>
- INGEMMET. (1998). *Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, n° 40 (en línea)* Disponible en: <http://www.calameo.com/read/000820129743534ded79c>
- INTAGRI, 2015. *La gallinaza como fertilizante*. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/gallinaza-como-fertilizante>

Jara, E., Gómez, J., Montoya, H., Tapia, L., Noema, C., Dextre, & Abigail. (2017). *Acumulación de metales pesados en Calamagrostis rigida (Kunth) Trin. ex Steud. (Poaceae) y Myriophyllum quitense Kunth (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú*. Scielo.

Jara-Peña, Enoc, Gómez C, José, Montoya T, Haydeé, Sánchez, Tito, Tapia, Liliana, Cano, Noema, & Dextre, Abigail. (2017). *Acumulación de metales pesados en Calamagrostis rigida (Kunth) Trin. ex Steud. (Poaceae) y Myriophyllum quitense Kunth (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú*. *Arnaldoa*, 24(2), 583-598. <https://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24210>

Jara-Peña, Enoc, Gómez, José, Montoya, Haydeé, Chanco, Magda, Mariano, Mauro, & Cano, Noema. (2014). *Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados*. *Revista Peruana de Biología*, 21(2), 145-154. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>

Juárez, Chahuara, B. (2020). *Evaluación del riesgo ambiental del relave minero – metalúrgico de la Planta de Beneficio Tiquillaca*, UNA, Puno. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano.

Krisnayanti, B. D., Anderson, C. W. N., Sukartono, S., Afandi, Y., Suheri, H., & Ekawanti, A. (2016). *Phytomining for Artisanal Gold Mine Tailings Management*. *Minerals (2075-163X)*, 6(3), 1–11. Disponible en: <http://biblioteca.ucsm.edu.pe:2104/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=23&sid=e02c3e9b-c83c-4cfd-b5d9-cd2aff01d9a4%40sessionmgr4008>

Landis, T. y Nisley, R (2010). *Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor*. 7th ed. Disponible en: https://rngr.net/publications/ctnm/espanol/volumen-siete/capitulo-5-manejo-y-transporte/at_download/file, pp.162-180.

Léon, B., Pitman, N., & Roque, J. (2006). *Introducción a las plantas endémicas del Perú*. *Revista Peruana de Biología*, (13)(2). Obtenido de: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v13n2/v13n02a004.pdf>

Lieberman D., Lieberman M., Peralta R., Hartshorn G.S., (1985). *Mortality Patterns and Stand Turnover Rates in a Wet Tropical Forest in Costa Rica* *Journal of Ecology*.

Macías F. (1993). *Contaminación de suelos: algunos hechos y perspectivas, Problemática geoambiental y desarrollo*, Murcia: V Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenamiento del Territorio.

Malavolta E. (1993). *Sea o doutor de seu cafezal*. Informacoes Agronómicas (Brasil) No. 64: 1-10.

Mamani, E; Pinazo, L. (2019). *Eficiencia de una vivienda construida con tabiquería bioclimática a base del Stipa ichu y Festuca dolichophylla presl para mejorar el confort térmico de la zona de Chillapalca, San Antonio de Putina, de la región puno-2018*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú.

Miñano, W. (2019). *Índice de diversidad de flora silvestre y concentracion de metales pesados en el suelo asociado a los geisers de la micro cuenca de Calientes, provincia de Candrave-Tacna*. Tesis Doctoral, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman, Tacna-Perú.

Miranda, F., & Ccana, E. (2014). *Manejo de praderas atoandinas y cosecha de agua*. Lima: Soluciones Prácticas.

MINAM (2014) Resolución Ministerial N° 085-2014 “Aprobar la Guía para el Muestreo de Suelos y la Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos”

MINAM (2016). *Nuestras Áreas: Pasivos Ambientales*. FONAM. Disponible en: <http://fonamperu.org/web/tipos-de-pasivos-ambientales-mineros/>

MINEM (2009). “Guía para la elaboración de planes de cierre de pasivos ambientales mineros” – Disponible en: http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/legislacion/guia_pasivos_Mineros_2010_ago_20.pdf

MINEM (2021). *Lista de Pasivos Mineros Ambientales en Perú* –Disponible en: http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/ANEXO_RM238.pdf

MINEM (2015). “Guía para la remediación de Pasivos Ambientales Mineros en el Perú”. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/12/PRESENTACION-3-MINEM-PERU.pdf>

MININTER (2003). *Ley Orgánica de municipalidades*. Disponible en: https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publ/capacita/programacion_formulacion_presupuestal2012/Anexos/ley27972.pdf

Minera Bateas S.A.C. (2011) *Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1013 TDM a 1500 TDM*, aprobado con el R.D 173-2011 MEM-AMM

Minera La Zanja S.R.L. (2009). *Proyecto La Zanja – Plan de Revegetación*. Knight Piésold consultores S.A. disponible en: http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/estudios/lazanja/Anexo_Q.pdf

Minero, R. (2017). *Activos Mineros registra en obras dos proyectos de remediación ambiental*. Obtenido de <https://www.rumbominero.com/noticias/mineria/activos-mineros-registra-en-obras-dos-proyectos-de-remediacion-ambiental/>

Ministerio de medio ambiente (esp.) (2007). *Guía técnica de aplicación del R.D. 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados*. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/suelos-contaminados/guia_tecnica_contaminantes_suelo_declaracion_suelos_tcm30-185726.pdf

LAMPADIA. (2013). *Cierre de minas y remediación ambiental*. Obtenido de <https://lampadia.com/clima-de-inversion/cierre-de-minas-y-remediacion-ambiental>

Méndez, N. (2020). *Procesos de fitorremediación en suelos contaminados con cadmio: Revisión de Literatura*. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6760/1/IAD-2020-T023.pdf>

Oblaser, A. y Chaparro, E. (2008). *Estudio comparativo de la gestión de los pasivos ambientales mineros en Bolivia, Chile, Perú y Estados Unidos*. Publicación de las Naciones Unidas, CEPAL.

Ortiz, R; Aranibar, M. (2015). *Platas acumuladoras de metales en relaves mineros del altiplano de la región Puno*. Disponible en: https://web.archive.org/web/20180422044054id_/https://revistas.uancv.edu.pe/index.php/RCIA/article/viewFile/36/24

Paredes Mur, J (2015). *Evaluación de la aplicabilidad de especies forestales de la serranía peruana en fitorremediación de relaves mineros*. Reddeperuanos.com. Obtenido de <http://www.reddeperuanos.com/revista/eci2015vrevista/08ambientalesparedesucsmperufinal.pdf>

Paucar, S (2019). *Efecto de la revegetación con Festuca dolichophylla en la disminución de Aciachne pulvinata en un área de pastoreo de una comunidad campesina en la región de Huancavelica* Línea de Investigación: Procesos de Transformación de los Ecosistemas. Tesis de Postgrado, Universidad Nacional de Huancavelica.

Permacultura.org. (2018). *Fórmula de plantación a Tresbolillo*. Disponible en: <https://www.permacultura.org.mx/es/herramientas/formulario/tresbolillo/>

Portuguez, H., Matos, D., Araujo, S., Millán, B., Arana, C., & Mendoza, W. (2015). *Guía de inventario de la flora y vegetación* (1st ed.). Lima: Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.

Pretel Chiclote, J., Ocaña Vidal, D., Jon Jap, R., & Barahona Chura, E. (1985). *Apuntes sobre algunas especies forestales nativas de la sierra peruana*. (1st ed.). Lima: Proyecto FAO/Holanda/INFUR. Obtenido de: <http://www.asocam.org/sites/default/files/publicaciones/files/12c422c8aa414da8fe966053bdfb73f9.pdf>

PRONAMACHS, (1998). *Manual de plantaciones forestales para la sierra peruana, proyecto forestería en microcuencas altoandinas-femap- Lima Peru*.

Pronóstico de calidad del aire para Caylloma, Arequipa, Perú - The Weather Channel | weather.com. (2020). Obtenido de <https://weather.com/es-SV/forecast/air-quality/1/884349f58d3351d0870dcc8f5ade9c5fd08d1022c4fabce82786a5427c6db36e>

Rabelo, A. C. S., de Pádua Lúcio, K., Araújo, C. M., de Araújo, G. R., de Amorim Miranda, P. H., Carneiro, A. C. A., ... Costa, D. C. (2018). *Baccharis trimera protects against ethanol induced hepatotoxicity in vitro and in vivo*. Journal of Ethnopharmacology, 215, 1-13. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2017.12.043>

Rapin, P., & Jacquard, P. (1997). *Instalaciones frigoríficas* (2nd ed.). Barcelona: Marcombo.

Rodríguez Trejo, D. (2006). *Notas sobre el Diseño de Plantones de Restauración*. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente, Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/629/62912204.pdf>

Romero Díaz, A., & García Fernández, G. (2007). *Contaminación por erosión eólica e hídrica de las áreas limítrofes a la antigua zona minera de La Unión – Cartagena*. *Revista Murciana De Antropología*, (14). Disponible en: <https://revistas.um.es/rmu/article/view/107681/102311>

Singer M.J y Ewing, S. (2000). *Soil quality. Handbook of soil science*. Florida, USA.

Skellam J.G., (1952). *Studies in statistical ecology. I. Spatial pattern*. Biometrika

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. (SSSA). (1984). *Glossary of Soil Science terms*. SSSA. Madison.

Sotomayor, A (2015). *Remediación de pasivos ambientales mineros como estrategia para el cuidado del ambiente*. *Minería y Ambiente*. Universidad de Lima.

Steliga, T., & Kluk, D. (2020). *Application of Festuca arundinacea in phytoremediation of soils contaminated with Pb, Ni, Cd and petroleum hydrocarbons*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 194, 110409. doi:10.1016/j.ecoenv.2020.110409

Suarez Díaz, J. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.

Talavera, C; Villasante, F; Ortega, A; Villegas, L; Jimenez, P.. (2011). *Composición y diversidad florística de los tolares en el altiplano de Arequipa*. V Congreso Internacional de Ecosistemas Secos. 57-72 Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Carmelo-Talavera-](https://www.researchgate.net/profile/Carmelo-Talavera-Delgado/publication/335870186_MEMORIAS_IV_CONGRESO_INTERNACIONAL_DE_ECOSISTEMAS_SECOS_-_IV_CIES/links/5d812911299bf10c1ab593d3/MEMORIAS-IV-CONGRESO-INTERNACIONAL-DE-ECOSISTEMAS-SECOS-IV-CIES.pdf#page=58)

[Delgado/publication/335870186_MEMORIAS_IV_CONGRESO_INTERNACIONAL_DE_ECOSISTEMAS_SECOS_-_IV_CIES/links/5d812911299bf10c1ab593d3/MEMORIAS-IV-CONGRESO-INTERNACIONAL-DE-ECOSISTEMAS-SECOS-IV-CIES.pdf#page=58](https://www.researchgate.net/profile/Carmelo-Talavera-Delgado/publication/335870186_MEMORIAS_IV_CONGRESO_INTERNACIONAL_DE_ECOSISTEMAS_SECOS_-_IV_CIES/links/5d812911299bf10c1ab593d3/MEMORIAS-IV-CONGRESO-INTERNACIONAL-DE-ECOSISTEMAS-SECOS-IV-CIES.pdf#page=58)

Tavera Colugna, J., (2018). *"Un bosque de protección al servicio de una ciudad"*. Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Nacional Agraria la Molina.

Tusco, H. (2016). *MULTIPLICACIÓN MASIVA Y CRECIMIENTO ACELERADO DE Parastrephia lepidophylla Cabrera CON FINES DE*. La Paz.

Vargas, D., Jiménez, P., Villasante, F., (1990) *Flora y vegetación altoandina de Tisco Caylloma (Arequipa)*, Departamento Académico de Biología, Arequipa, Perú. Disponible en: <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rza/article/view/736/718>

Webb E.L. & Fa'aumu S., (2004). *Diversity and structure of tropical rain forest of Tutuila, American Samoa: effects of site age and substrate Plant Ecology*.

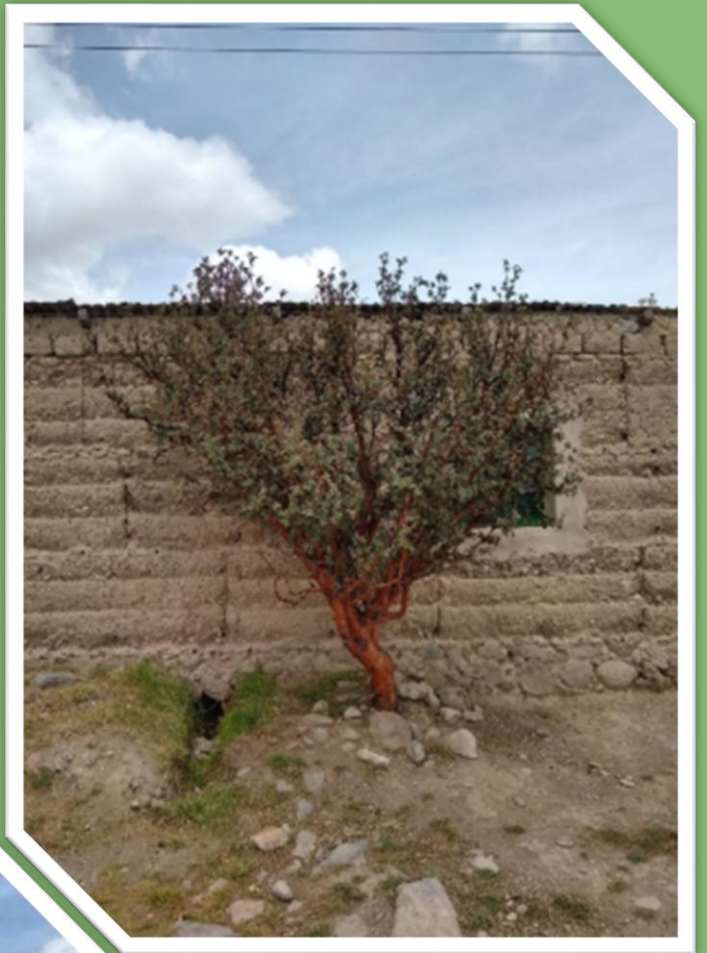
Wilson, W; Brussière, B; Guerrero Barrantes, J. A. (2007). “*Guía para el diseño de depósitos de residuos mineros*”. MINEM (Ministerio de Energía y Minas); PERCAN (Programa de cooperación Perú – Canadá). Volumen XXIII. Lima, Perú. 202 p. Disponible en: http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/guias/xxii_coberturas.pdf

Wu, Z., Yu, F., Sun, X., Wu, S., Li, X., Liu, T., & Li, Y. (2018). *Long term effects of Lespedeza bicolor revegetation on soil bacterial communities in Dexing copper mine tailings*. Jiangxi Province, China. Disponible en: <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.01.011>

Complemento



PLAN DE CIERRE DEL PASIVO AMBIENTAL MINERO N° 14582



Autor;

Bach. Oscar Peña Casanova

Asesoría:

Dr. Blgo. Armando Arenazas Rodríguez

MSc. Ing. Berly Cárdenas Pillco

MSc. Ing. Sonia Lazarte Arredondo

Publicación:

“Plan de revegetación para el Pasivo Ambiental Minero N° 14582 en la provincia de Caylloma, Arequipa, 2020”.

Contenido

Capítulo 1: Introducción	3
1.1 Marco Legal	3
1.2 Ubicación	5
1.3 Caracterización del ambiente	7
1.3.1 Información climatológica.....	8
1.3.2 Información sobre el recurso suelo.....	11
1.3.3 Información sobre la vegetación.....	12
Capítulo 2: Formulación del Plan	14
2.1. Objetivo.....	14
2.2. Definiciones	14
Capítulo 3: Implementación del plan.....	16
3.1. Atribución de responsabilidades del PAM.....	16
3.2. Preparación del terreno.....	16
3.2.1. Cobertura técnica.....	16
3.3. Siembra y trasplante de plántones	17
3.3.1. Obtención de los plántones para la revegetación.....	19
3.4. Diseño y disposición espacial de los plántones.....	20
3.4.1. Apertura de hoyos.....	20
Capítulo 4: Plan de monitoreo y protección de las plantaciones	21
4.1. Protección de las plantaciones.....	21
4.2. Riego	21
4.3. Monitoreo de la zona revegetada	22
4.3.1 Tipo de muestreo	24
4.3.2 Diseño de muestreo	25
4.3.1. Número adecuado de muestreos	25
Capítulo 5: Cronograma.....	27
Capítulo 6: Presupuesto	31

Capítulo 1: Introducción

El presente plan, proporciona a los interesados y/o responsables de la remediación ambiental del Pasivo Ambiental Minero (relave) con I.D N° 14582, Código de Derecho Minero N° 540002908; 540018410 ubicado en el distrito de Caylloma, un enfoque detallado para la preparación de la revegetación de la zona contaminada, de conformidad con la Ley 28271, con su correspondiente reglamento, promulgado por mediante el D.S N° 059-2005-EM y modificaciones.

Los pasivos ambientales mineros (PAMs) son aquellos efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por actividades mineras a lo largo de su ciclo de vida (exploración, construcción de estructuras, operación, cierre, etc.), mayormente originarias de los procesos de extracción ilegales, y que en la actualidad representan instalaciones y residuos de depósitos abandonados, en el Perú existen más de 8840 PAM (SINIA, 2020), de esta cifra, 316 se encuentran en la región de Arequipa. Éstos presentan diversas sustancias tóxicas derivadas de las operaciones realizadas, provocando daños ambientales en la zona donde se encuentran, generan pérdida del ecosistema, daños a la salud humana y disminución de la calidad de vida de bienes públicos y privados.

Solo el 23% de los PAMs son gestionados (MINEM, 2020), estos representan áreas donde existe la necesidad de restauración, mitigación o compensación, por un daño o impacto no gestionado por parte del estado.

1.1 Marco Legal

El plan deberá usarse conjuntamente con las leyes establecidas por la constitución política del Perú, siguiendo los lineamientos y las normas ambientales en el rubro del cierre de las

actividades de extracción minero metalúrgicas. Se presenta la lista de las leyes y normas actuales y concordantes con lo establecido en este plan.

➤ **Constitución Política del Perú 1993:**

Dentro de marco de derechos fundamentales de la persona, la constitución destaca el componente ambiental, pues considera prioritaria la protección y promoción del ambiente, estableciendo la obligación de la ciudadanía con la conservación ambiental.

➤ **Ley N° 28611: “Ley General del Ambiente”:**

Indica el derecho fundamental de toda persona a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, promoviendo el desarrollo sostenible de todo el país.

➤ **Ley N° 28271: “Ley que Regula los Pasivos Ambientales de la Actividad Minera”:**

Tiene como objetivo regular la identificación de los pasivos ambientales de la actividad minera, la responsabilidad, y el financiamiento para la remediación de las áreas afectadas por éstos, destinados a su reducción y/o eliminación, con la finalidad de mitigar sus impactos negativos a la salud, población, ecosistema y propiedad.

➤ **Ley N° 28526: “Ley que modifica los artículos de la Ley N° 28271”:**

Esta ley modifica los artículos 5° (Atribución de Responsabilidades), 6° (Presentación de Planes de Cierre de Pasivos Ambientales), 7° (Plazo de presentación y ejecución de Plan de Cierre de los Pasivos Ambientales) y 8°

(Fiscalización, Control y Sanciones) de la primera disposición complementaria y final de la ley N° 28271.

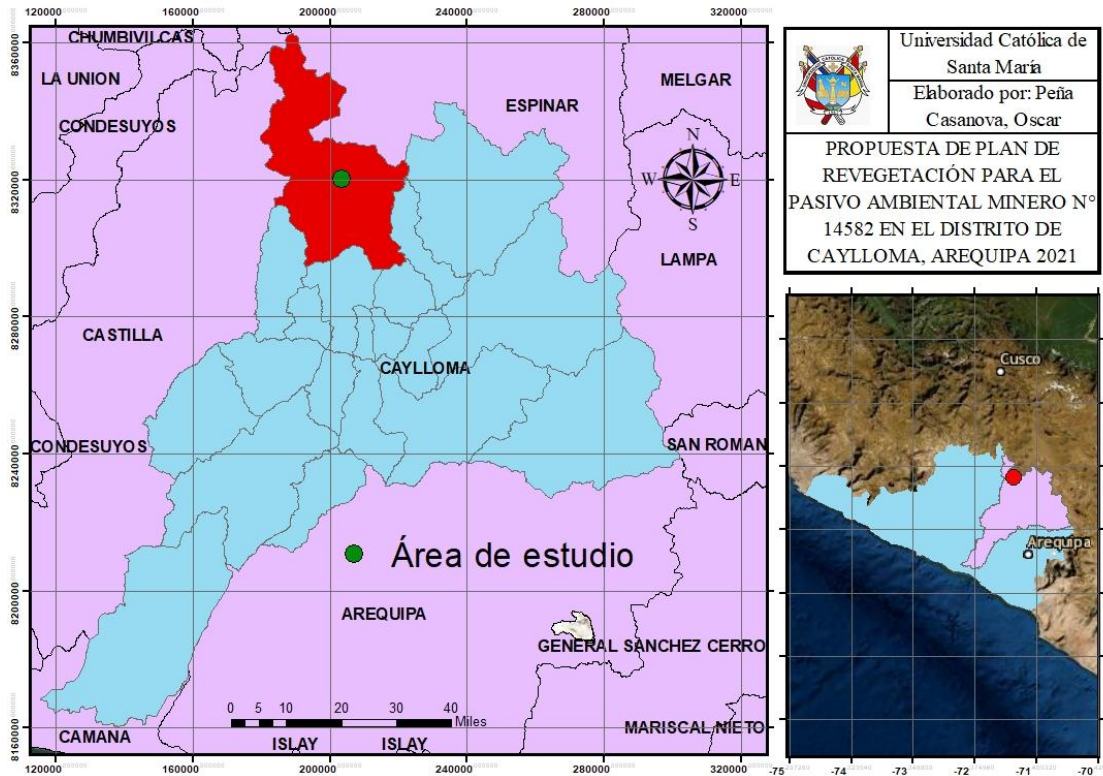
➤ **Ley N° 27972: “Ley Orgánica de Municipalidades”:**

Involucra a las municipalidades provinciales, en este caso la Municipalidad Provincial de Caylloma, que dentro de sus funciones establecidas se encuentra la de generar las condiciones que se enmarquen dentro del contexto de mejorar la calidad de vida del ciudadano.

1.2 Ubicación

EL PAM se encuentra ubicado políticamente en el distrito y provincia de Caylloma, región de Arequipa. Geográficamente se localiza en la parte noreste del centro poblado “Caylloma”, a una distancia de 1.13 km, en la parte baja del cerro Chonta, a una altitud comprendida entre 4200 y 4300 m.s.n.m.

Se accede vía terrestre, desde la ciudad de Arequipa, por la carretera hacia Chivay, pasando por el distrito de Sibayo, hasta el distrito de Caylloma.

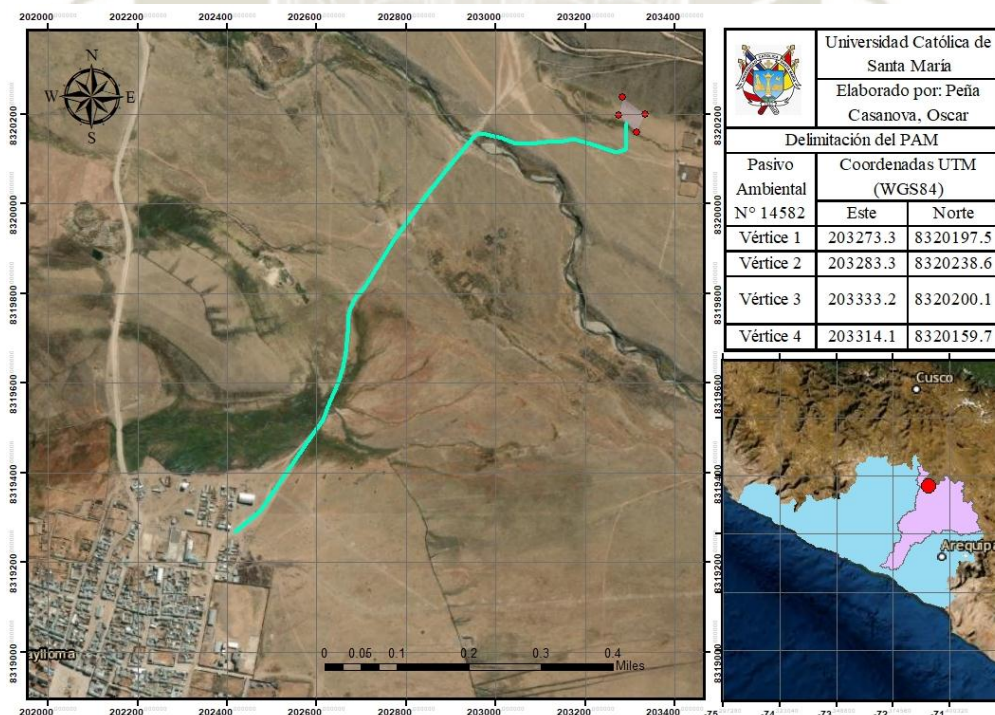


Universidad Católica de Santa María
Elaborado por: Peña Casanova, Oscar

PROPUESTA DE PLAN DE REVEGETACIÓN PARA EL PASIVO AMBIENTAL MINERO N° 14582 EN EL DISTRITO DE CAYLLOMA, AREQUIPA 2021

Fuente: Propia

Se presenta la ruta desde el centro poblado “Caylloma” hasta la zona del relave.

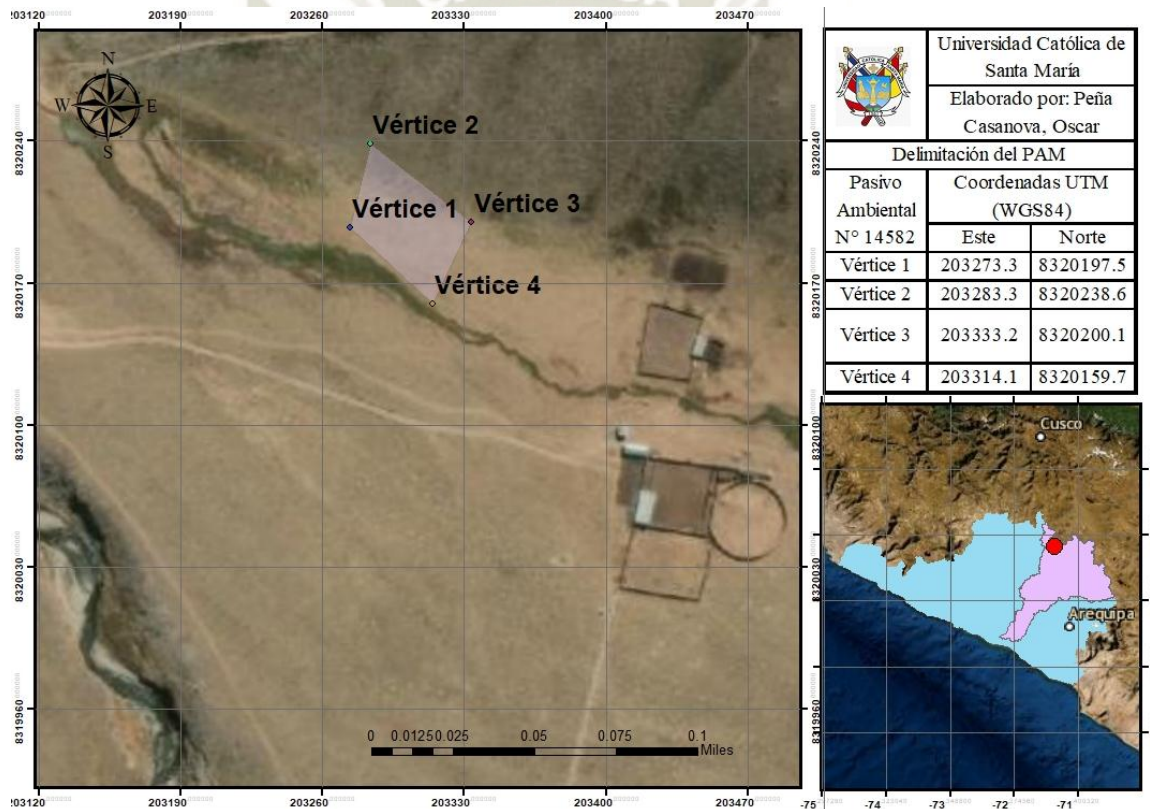


Fuente: Propia

La zona del relave, consta de un área total de 3175 m², y se encuentra a una distancia de 1134.54 m desde el punto más cercano al pueblo. En la siguiente tabla, se presentan las coordenadas UTM (WGS84) del PAM:

Pasivo Ambiental N° 14582	Coordenadas UTM (WGS84)	
	Este	Norte
Vértice 1	203273.3	8320197.5
Vértice 2	203283.3	8320238.6
Vértice 3	203333.2	8320200.1
Vértice 4	203314.1	8320159.7

Fuente: Propia



Fuente: Propia

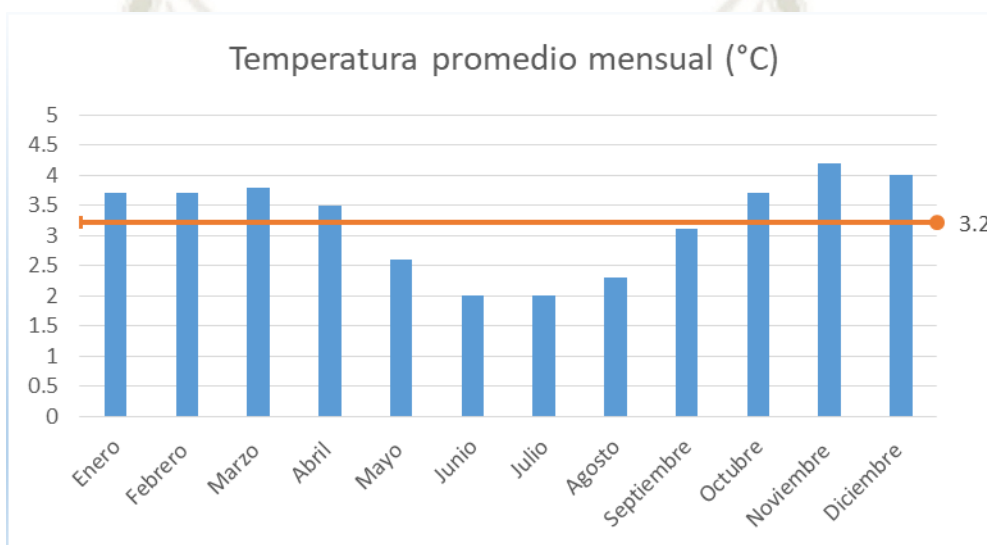
1.3 Caracterización del ambiente

Se detalla en este punto, la línea base ambiental de la zona del pasivo, como también los parámetros más importantes para el proceso de revegetación.

1.3.1 Información climatológica

Temperatura

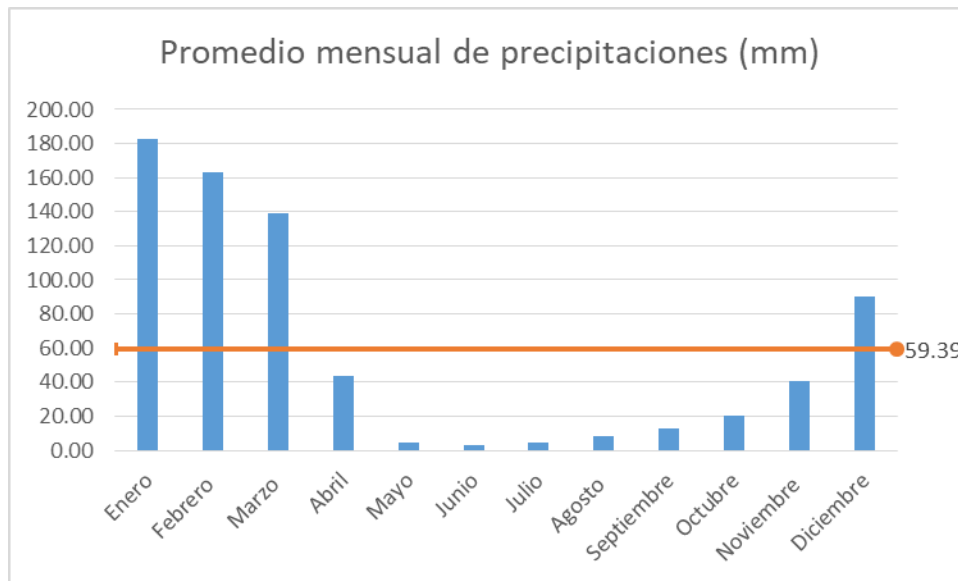
El distrito de Caylloma se encuentra aproximadamente a una altitud de 4320 m.s.n.m. el clima presente es de Tundra, por lo que significa que las temperaturas son muy bajas a lo largo del año, de acuerdo con Köppen y Geiger, se clasifica como ET (Frío de Tundra: la temperatura media del mes más cálido oscila entre 0°C y 10°C)



Fuente: Propia

Precipitación:

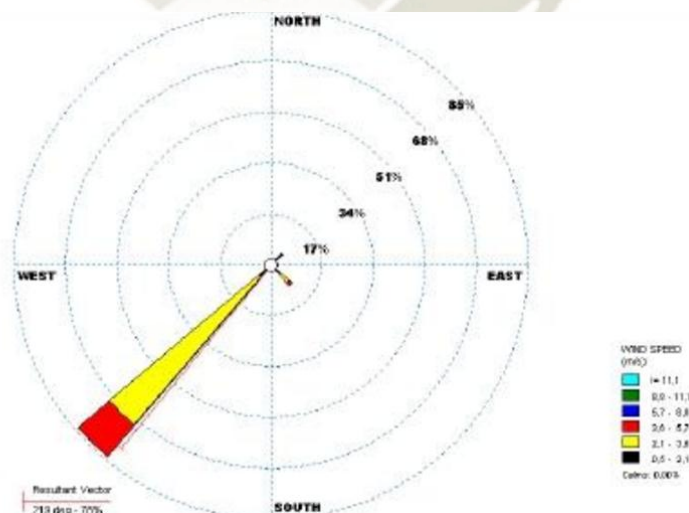
En cuanto a la precipitación, los meses de estiaje se presentan desde mayo hasta los finales de octubre, siendo la época más húmeda del año, hasta finales del mes de abril.



Fuente: Propia

Dirección y velocidad del viento:

Con los datos obtenidos se concluyó que el viento tiene una dirección predominante que va desde suroeste a noroeste, y se encuentra entre los intervalos comprendidos entre 2.1 m/s hasta 5.7 m/s, con una velocidad promedio de 10.12 km/h.



Fuente: Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1013 TDM a 1500 TDM aprobado con el R.D 173-2011 MEM-AMM, 2011

En cuando a la calidad de aire presente, éste se encuentra en el rango de: Bueno (40): La calidad de aire se encuentra satisfactoria y la contaminación atmosférica representa un riesgo escaso o nulo, de acuerdo al estudio climatológico recopilado por el Servicio de Vigilancia Atmosférica de Copernicus (2020).

Seguido se detallan los contaminantes presentes.

Contaminantes del aire	Cantidad	Conclusión
Ozono (O ₃)	45.46 µg/m ³	Bueno
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	1 µg/m ³	Bueno
Dióxido de azufre (SO ₂)	1.84 µg/m ³	Bueno
Partículas en suspensión menores a 2.5 µ	3.94 µg/m ³	Bueno
Partículas en suspensión menores a 10 µ	7.92 µg/m ³	Bueno
Monóxido de carbono (CO)	100 µg/m ³	Bueno

Fuente: Servicio de Vigilancia Atmosférica de Copernicus, 2020

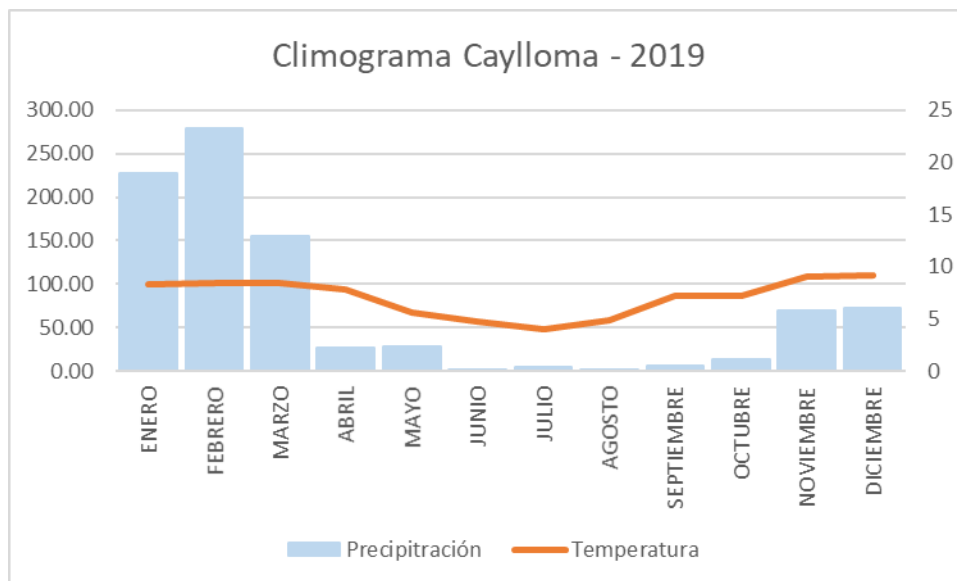
1.3.1.1 Climograma del distrito de Caylloma

Se presenta una recopilación del año 2019, tomada de la estación meteorológica “Caylloma”, ubicada a una altitud de 4327 m.s.n.m.

Mes	Temperatura (°C)		Humedad relativa (%)	Precipitación (mm/día)
	Max	Min		Total
Enero	15.67	1.06	83.38	7.48
Febrero	14.62	2.33	89.01	9.16
Marzo	14.41	2.52	88.6	5.11
Abril	14.47	1.15	88.15	0.89
Mayo	14.7	-3.46	83.35	0.95
Junio	15.19	-5.62	79.68	0.06
Julio	14.48	-6.34	76.08	0.14
Agosto	16.16	-6.31	76.3	0.03
Septiembre	16.92	-2.57	83.9	0.19
Octubre	17.17	-2.63	83.14	0.43
Noviembre	17.22	0.79	83.79	2.31
Diciembre	17.54	0.86	85.5	2.38

Fuente: SENAMHI, 2019

Teniendo estos datos, se realizó el climograma correspondiente para tener una mayor idea de la relación de la precipitación con la temperatura en el distrito de Caylloma.



Fuente: Propia

1.3.2 Información sobre el recurso suelo

El suelo de la zona contaminado por el relave, está calificado como terreno con vegetación esporádica, los pobladores del centro poblado, no poseen conocimiento acerca del relave, por lo que es común observar ganado auquénido y ovino pastando en las periferias del PAM, y también dentro de éste, lo que podría generar biomagnificación por parte de los animales.

Estudios previos realizados por la zona, revelan la contaminación por relaves en todo el distrito, se muestran los resultados obtenidos luego de los muestreos de suelos.

Resultados del muestreo	
pH	6.30
Cantidad (mg/kg)	
Arsénico (As)	323.6
Mercurio (Hg)	1.09

Fuente: Farfán, 2018

1.3.3 Información sobre la vegetación

Se presentan diversas comunidades de vegetación, las cuales se detallan a continuación:

Bofedales:

Se encuentran en la zona sur del relave, por la cercanía del río Chonta, a una distancia aproximada de 252.6 m.



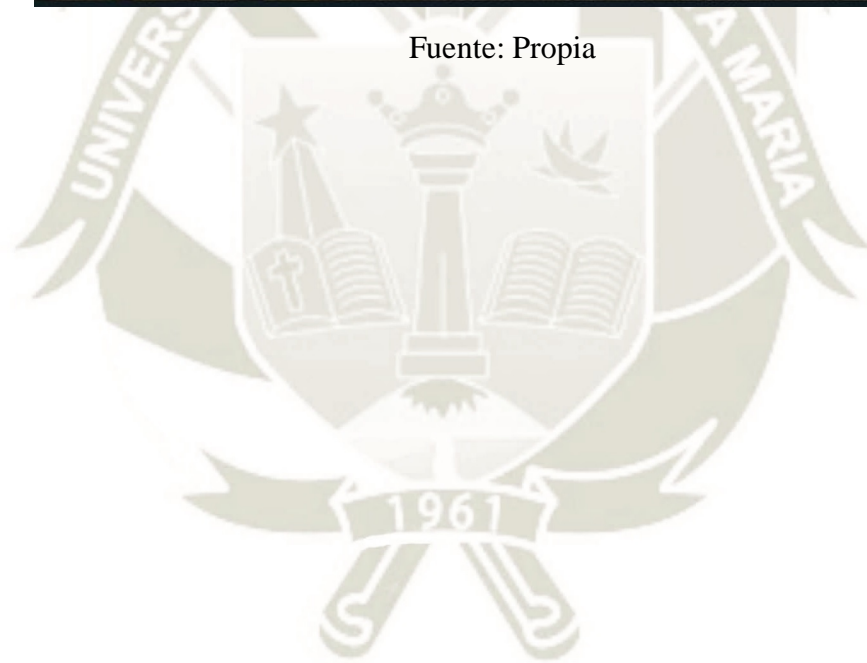
Fuente: Minera Bateas SAC, 2011

Pajonal de Puna:

Se encuentra en las periferias de la zona impactada, con presencia muy escasa en el relave, ya que el suelo es totalmente eriazo en algunas partes del PAM.



Fuente: Propia



Capítulo 2: Formulación del Plan

2.1. Objetivo

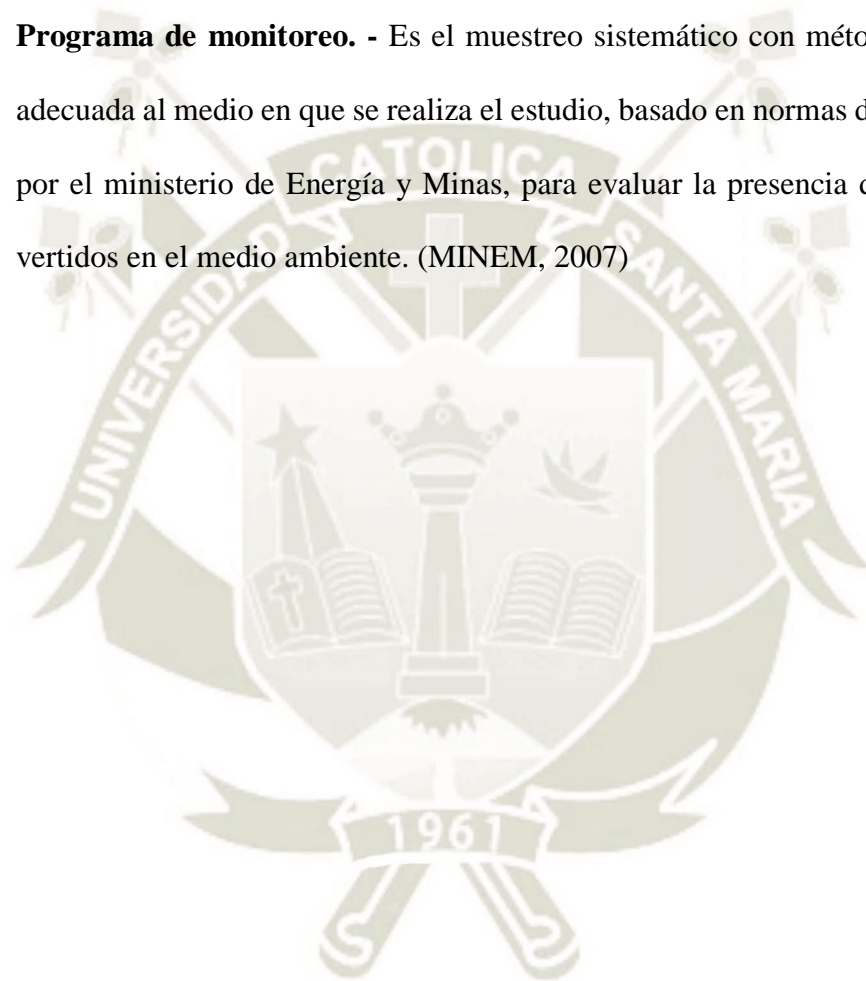
Revegetar el Pasivo Ambiental Minero N° 14582, ubicado en el distrito de Caylloma.

2.2. Definiciones

Para los efectos de este plan, se define lo siguiente:

- **Contaminante Ambiental.** - Toda Materia o energía que al incorporarse y/o actuar en el medio ambiente, degrada su calidad original, a un nivel que afecta la salud, el bienestar humano y pone en peligro los ecosistemas. (MINAM, 2015)
- **Guías de manejo ambiental.** - Documentos expedidos por la Autoridad Competente (MINEM), sobre lineamientos aceptables a nivel nacional en la actividad minero-metalúrgica para llegar a un desarrollo sostenible. (MINEM, 2007)
- **Ley.** - Texto único Ordenado de la Constitución Política del Perú (MINEM, 2007)
- **Nivel Máximo Permisible.** - Nivel de concentración de uno o más contaminantes, por debajo del cual no se prevé riesgo para la salud, el bienestar humano y los ecosistemas. (MINAM, 2018)
- **Plan de Cierre.** - Medidas que debe adoptar el titular de la actividad minera, antes del cese de operaciones, para evitar efectos adversos al medio ambiente, producidos por los residuos, sólidos, líquidos o gaseosos que puedan existir o puedan aflorar en el corto, mediano o largo plazo. (MINEM, 2007)

- **Protección ambiental.** - Conjunto de acciones de orden científico, tecnológico, legal, humano, social y económico que tiene por objetivo proteger el entorno natural, donde se desarrollan las actividades minero-metalúrgicas, y sus áreas de influencia, evitando su degradación a un nivel perjudicial que afecte la salud, el bienestar humano, la flora, la fauna o los ecosistemas. (MINAM, 2018)
- **Programa de monitoreo.** - Es el muestreo sistemático con métodos y tecnología adecuada al medio en que se realiza el estudio, basado en normas de guías definidas por el ministerio de Energía y Minas, para evaluar la presencia de contaminantes vertidos en el medio ambiente. (MINEM, 2007)



Capítulo 3: Implementación del plan

3.1. Atribución de responsabilidades del PAM

Como lo estipula la Ley N° 28526, en el “Artículo 5°. - Atribución de responsabilidades”, el estado deberá asumir la responsabilidad de gestión del PAM, al no poder identificarse a los responsables, ya que en la actualización del R.M N° 102-2015- EM (Inventario nacional de Pasivos Ambientales Mineros), no se establecen propietarios ni responsables.

3.2. Preparación del terreno

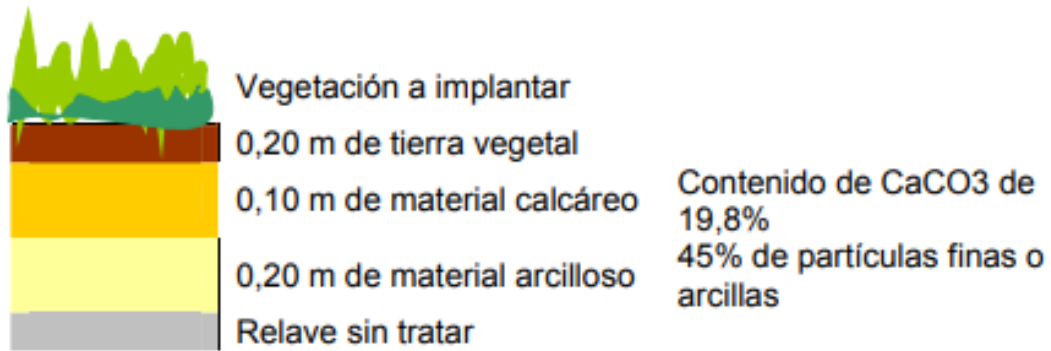
El uso futuro que tendrá el terreno revegetado, será silvopastoril, para no diferenciar en demasía al uso que se le da hoy en día, teniendo en cuenta esto primero se procederá a mejorar las condiciones actuales del terreno, el bajo nivel de pH y mitigar los metales presentes en él.

3.2.1. Cobertura técnica

Se procederá a implementar la cobertura técnica (Ward, Brussière & Guerrero, 2007), que constará de 3 capas compactadas por encima del suelo, para un mejor desarrollo de las especies vegetales a plantar. La primera capa constará de 20 cm de material arcilloso, por encima de ésta una capa de 10 cm de material calcáreo, para posteriormente último estrato de tierra vegetal en la que procederá a plantar las especies vegetales. .

Estrato	Área total del relave	Espesor (compactado)	Cantidad requerida
Material arcilloso	3175.85 m ²	0.2 m	1257.64 tn
Material calcáreo	3175.85 m ²	0.1 m	349.35 tn
Tierra vegetal	3175.85 m ²	0.2 m	1651.44 tn

Fuente: Propia



Fuente: Wilson, Bruissière & Guerrero, 2007

3.3. Siembra y trasplante de plantones

Las especies vegetales más idóneas para el proceso de revegetación de este PAM son los pastos altoandinos ya que tienen una alta adaptación a las condiciones climáticas, del terreno y la capacidad hipertolerante frente a metales pesados. Las especies sugeridas son:

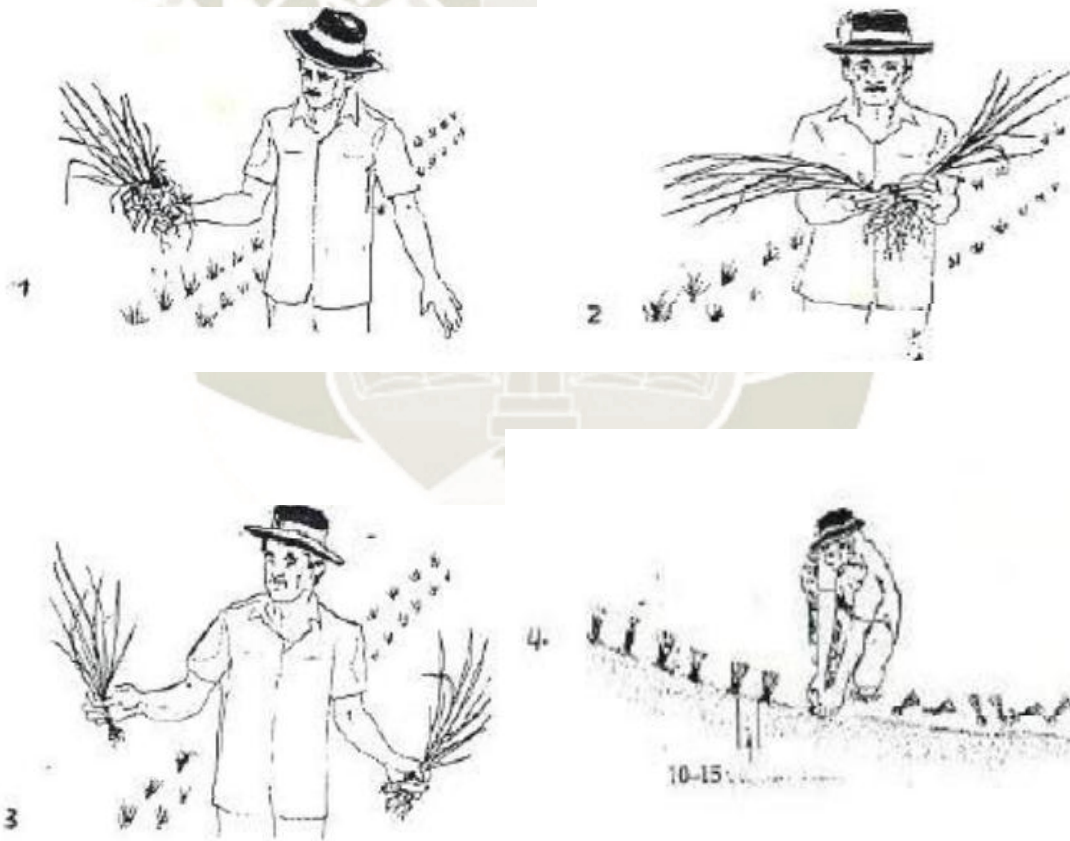
Especies encontradas en la zona	Metales pesados							Clima			Uso de Suelo				
	Antimonio (Sb)	Arsénico (As)	Cadmio (Cd)	Cobre (Cu)	Plata (Ag)	Plomo (Pb)	Mercurio (Hg)	Suelo ácido	Frio extremo	Precipitación baja	Vientos moderados	Ganadería y pastoreo	Pendiente 14.96°	Profundidad media	Pedregosidad (40%)
Tola (<i>Parastrephia lepidophylla</i>) (Huanca, 2016)	X								X	X		X			X
Jara amarilla (<i>Baccharis salicifolia</i>) (Cepeda, 2018)		X					X			X					
Ichu (<i>Calamagrostis rigida</i>) (Jara, y otros, 2017)			X	X		X			X	X					
<i>Festuca glyceriantha</i> (Corpus, 2018)		X	X	X		X			X	X					
Festuca alta (<i>Festuca arundinacea</i>) (Méndez, 2020)			X			X	X		X	X		X		X	

Fuente: Propia

3.3.1. Obtención de los plántones para la revegetación

La obtención de plántones se hará de acuerdo a la técnica de la trasplante de plantas madres bien conformadas que tuvieron un crecimiento y óptimo desarrollo, se debe sacar estas plantas y separar la planta madre de los esquejes que tengan un buen enraizamiento, luego se debe seleccionar los esquejes o hijuelos enraizados, luego se debe cortar las hojas a la mitad ya que es necesario la disminución por pérdidas de agua del esqueje hasta que se establezca en el campo para comenzar a plantar.

Proceso de trasplantar pastos a través de esquejes o hijuelos



Fuente: Wilson, Brusièrè & Guerrero, 2007

3.4. Diseño y disposición espacial de los plantones

3.4.1. Apertura de hoyos

Luego de la marcación de terreno, se procederá a la apertura de hoyos en el suelo, deberán realizarse en los meses previos a la plantación, cuando se presenten las primeras lluvias (PRONAMACHS, 1998) ya que en los meses de lluvias se presentan inconveniencias, y estas se reflejan en la calidad de los hoyos.

La profundidad recomendada por (MINEM, 2008), es de .0.1 cm, por 0.2cm de ancho.

Se deberá marcar la tierra con la menor compactación posible, para un mejor asentamiento de las especies vegetales.

Apertura de hoyos		
Época adecuada	Profundidad	Ancho
Aproximadamente en las últimas semanas de diciembre	0.1 cm	0.1 cm

Fuente: Propia

Los esquejes deben de tener raíces que tengan contacto en tierra, para aumentar el nivel de asentamiento, con tallos de mínimo 10 cm para asegurar su supervivencia.

Se recomienda una distancia de aproximadamente 50 cm para un buen prendimiento de las raíces.

Para un mejor asentamiento, es necesario distribuir adecuadamente los plantones, separándolos por pequeñas comunidades, es imperioso no plantar las especies es una forma intercalada, de preferencia, por su rápido asentamiento, se recomienda que los Ichu se posicione en la pendiente, mientras que las otras especies, en el suelo más llano, con una ligera separación para evitar la competencia de nutrientes y agua.

Capítulo 4: Plan de monitoreo y protección de las plantaciones

4.1. Protección de las plantaciones

Dado que no se utilizarán especies arbustivas (cerco vivo), se procederá a cercar el perímetro con un alambre de púas, para evitar el ingreso de la fauna circundante (auquénidos y ovinos). Se recomienda el uso de postes de madera, para una mayor resistencia a los eventos climáticos, Para los trazos, se colocarán las estacas cada 5 m. En total será necesario un aproximado de 250 m de material. Por otro lado, también se hará uso de señalética que advierta a la población que la entrada estará restringida.

4.2. Riego

La precipitación anual en el distrito de Caylloma es muy escasa, superando por muy poco los 50 mm anuales (59.39 mm/año), por lo que es necesario asegurar el agua, cualquiera sea el tipo (mínimo de categoría 3 – subcategoría D1: Riego de cultivos de tallo alto y tallo bajo) (MINAM, 2015), antes de la plantación. Para el abastecimiento del camión cisterna, se debe considerar una cantidad mínima de 5000 m³ de agua, no considerar de ninguna manera el uso de agua potable para el regadío.

En el primer año, la frecuencia de riego debe ser mínimo 2 veces por semana, en épocas de estiaje (abril, noviembre) (PRONAMACHS, 1998).

Dada la ubicación del relave, la opción más viable es el alquiler de camiones cisterna para proporcionar el traslado del agua y riego, el sistema de riego propuesto es por inundación, desde la parte alta del pasivo, ya que cuenta con una pendiente de 14.96° de altura y éste debe hacerse inmediatamente después de la instalación de los plantones al campo definitivo.

El alquiler deberá contemplarse el camión cisterna y el abastecimiento de agua en el mismo, diversas empresas de transportes establecidas en la ciudad, ofrecen estos servicios, por lo que la cotización propuesta en el presente plan, podría ser menor.

4.3. Monitoreo de la zona revegetada

El manejo apropiado de la zona revegetada es crítico, ya que se busca tener una autosostenibilidad a largo plazo, se deben hacer observaciones de pérdida de suelo debido a la erosión eólica y/o hídrica.

Dado que la zona no presenta inundaciones a lo largo de su historia, la única causa de erosión de suelos es la eólica, si se presenta un elevado deterioro, se podría minimizar con la implementación de coberturas inertes para el control de la erosión (paja o heno) dando también una pequeña protección a los planchones contra los factores climáticos.

El objetivo principal de este proyecto, es la revegetación, no tanto la fitorremediación, es por ello los monitoreos estarán centrados en el forraje (tamaño, estructura), para asegurar el correcto crecimiento de los plántones y su establecimiento definitivo.

El monitoreo de ecología vegetal se detalla a continuación:

Se presentan los parámetros para medir la vegetación (Mostacedo & Fredericksen, 2000), considerando la densidad y las especies trasplantadas en la zona.

Parámetro	Descripción	Cálculo
Altura	La altura es uno de los principales parámetros que se miden en una vegetación o una especie. La altura se mide de acuerdo al interés que se tenga y puede ser forma cualitativa o cuantitativa. Una de las principales herramientas, es la regla telescópica, solo hasta los 8 m de altura.	<p>Para determinar la altura, se empleará el método del clinómetro.</p> <p>Para este método, el cálculo de la altura, se basa en el uso de la trigonometría para determinar el cateto opuesto. Tomando en cuenta el teorema de Pitágoras.</p> <p>El cateto adyacente sería la distancia que existe entre la altura de la cabeza del medidor (P), el ángulo (a) se obtiene al medir la elevación hasta el punto más alto del árbol.</p> <p>La fórmula es la siguiente:</p> $h = 15m * \text{Tan}\alpha + P$ <p>*el valor de (15 m) determina la distancia entre la base del árbol hasta el medidor, así que puede variar.</p>
Diámetro	El diámetro del tronco de un árbol es uno de los parámetros más estudiados de la ecología vegetal. Éste consiste en determinar la longitud de la recta en los puntos en que toca toda la circunferencia. Esta medida sirve, a su vez, para obtener el área basal y el volumen del tronco de los árboles.	<p>Para determinar el diámetro, se usará el método DPA (diámetro a la altura del pecho)</p> <p>Con la ayuda de una cinta métrica, a los 1.3 m de la base se medirá el perímetro (P) del tronco del árbol, teniendo este dato, se procederá a dividir con π (3.14159226).</p> $D = \frac{P}{\pi}$
Densidad	Es un parámetro que permite conocer la abundancia de una especie o una clase de plantas.	<p>Para determinar la densidad (D), se procederá a dividir el número de individuos (N) en una determinada área (A).</p> $D = N/A$
Frecuencia	Se define como la probabilidad de encontrar a una especie en una unidad muestral y se mide en porcentaje. En otras palabras, es la proporción de veces que se mide en las unidades muestrales.	<p>La frecuencia absoluta, se mide en el número total de registros de una especie en cada unidad muestral y la frecuencia relativa (FR) es la relación de los registros absolutos en una especie en cada unidad muestral. Para determinar la FR, se debe dividir el número de apariciones de una determinada especie (a), entre el número de apariciones de todas las especies (A)</p> $FR = (a/A) * 100$
Cobertura	Usada para medir la abundancia de especies cuando la estimación de la densidad es compleja de obtener.	<p>Para determinar la cobertura relativa (Cr), se dividirá el número de registros de especies únicas de plantas (Ni), sobre el número total de registros de todas las especies (Nt) y multiplicarlo *100.</p> $Cr = (Ni/Nt) \times 100$

<p>Área basal</p>	<p>Medida que sirve para estimar el volumen de especies arbóreas. Se puede definir como la superficie de una sección transversal del tallo o tronco de un árbol a una determinada altura del suelo.</p>	<p>Específicamente en árboles, este parámetro se mide obteniendo el DAP, y en especies arbustivas, el diámetro (D) se determina desde la base a la altura del suelo.</p> <p style="text-align: right;">$\text{Área basal} = \pi(D^2/4)$</p>
-------------------	---	--

Fuente: Mostacedo & Fredericksen, 2000

4.3.1 Tipo de muestreo

Se utilizará el modelo del muestreo por cuadrantes (Miñano, 2019) que se utilizó en el distrito de Tisco en Caylloma a una altitud comprendida entre 4443 a 4448 m.s.n.m., este método es una de las formas más generalizadas para hacer muestreos más homogéneos. Se trabajó con esta metodología por su facilidad de determinar la cobertura de las especies forrajeras y pastos.

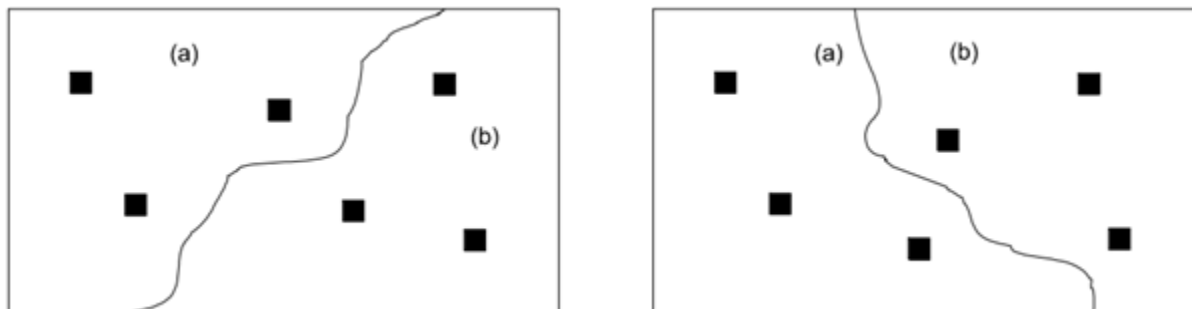
Consiste en colocar un cuadrado sobre la vegetación, para determinar la densidad, cobertura y frecuencia, el tamaño de cuadrado, dado que las especies vegetales son pastos altoandinos, será de 1 m x 1 m.



Fuente: Miñano, 2019

4.3.2 Diseño de muestreo

Se utilizará el modelo del muestreo aleatorio estratificado (Mostacedo & Fredericksen, 2000). Se escogió esta metodología porque a diferencia de otras, trabaja con estratos que tienen cierta homogeneidad y requiere conocimientos previos de información para la correcta división de estratos. Éste consiste en la separar en subgrupos la población del estudio

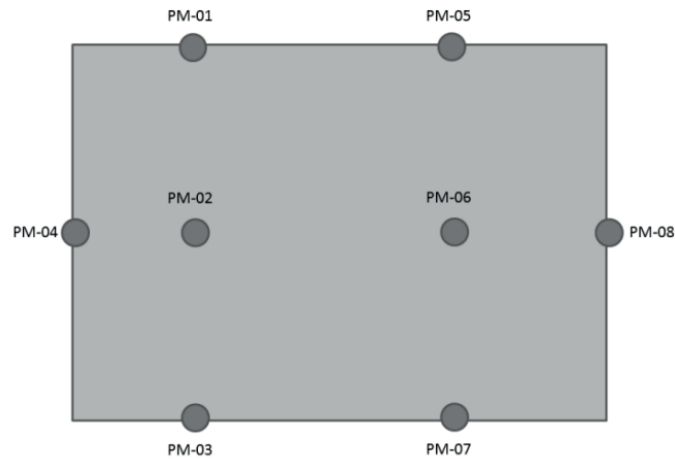


Fuente: Mostacedo & Fredericksen, 2000

*las letras (a) y (b), indican el tipo de estrato (tipo de suelo, pendiente), en los que se puede separar las muestras aleatoriamente.

4.3.1. Número adecuado de muestreos

Dada la forma cuadrilátera del PAM, se sugiere el número de muestras proporcionado por la “Guía para el muestreo de suelos” (MINAM, 2014), en el apartado de Muestreo de Comprobación de Remediación, se tomará el muestreo para áreas de forma rectangular $<1000\text{m}^2$ que localiza las muestras distribuidas en el perímetro, dividiendo 2 muestreos en la pared larga (lados de mayor longitud), 1 muestreo en la pared corta (lados de menor longitud) y 2 en el fondo (centro del área).



Fuente: Guía para el muestreo de suelos (MINAM, 2014)

Se recomienda monitoreos mensuales, por al menos el primer año de la revegetación, y posteriormente trimestrales hasta pasados 5 años, si se registran especies no deseadas (maleza), estas deberán ser retiradas de forma manual a fin de evitar su propagación, ya que podrían resultar perjudiciales para el establecimiento y desarrollo futuro de los plántones.

Capítulo 5: Cronograma

Se presenta el cronograma estimado para el primer año del proyecto, en las 5 etapas.

*luego de noviembre, empezarán las épocas de precipitaciones, por lo que el riego culminará en este mes

*los monitoreos se deberán realizarse mensualmente hasta pasado el primer año de la plantación (marzo del año siguiente). Luego de ese periodo los monitoreos serán trimestrales hasta cumplir los 5 años del inicio del proyecto.



Meses	Semanas	Actividades							
		Fase I: Requerimiento/obtebción de plantones	Fase II: Enmiendas de suelo		Fase III: Plantación de especies			Fase IV: Riego	Fase V: Monitoreos
		Esquejes	Cobertura técnica	Apertura de hileras	Implementación de señalética	Cercado del perímetro	Plantación de esquejes	Riego por camión cisterna	Monitoreos
Setiembre (año 1)	1								
	2								
	3								
	4								
Diciembre (año 1)	1								
	2								
	3								
	4								
Marzo (año 2)	1								
	2								
	3								
	4								
Abril (año 2)	1								
	2								
	3								
	4								

Orange	2									
	3									
	4									Dark Blue

Fuente: Propia

*los valores pueden cambiar de acuerdo a la evolución y asentamiento de las especies vegetales.



Capítulo 6: Presupuesto

Se presenta la siguiente tabla, la cual detalla el presupuesto total aproximado para el proyecto, incluyendo los trabajos que serán realizados por terceras personas, costos administrativos y tributos correspondientes.

Presupuesto (Pen)			
Ítem	Precio unitario	Cantidad	Precio total
Material arcilloso	3	1257.64	3772.92
Material calcáreo	11.83	349.35	4132.8105
Tierra vegetal	5	1651.44	8257.2
Estacas	5	54	270
Sogas	15.9	1	15.9
Mano de obra (pre-plantación)	80	3	240
Mano de obra (pre plantación)	80	3	240
Mano de obra (pre plantación)	80	3	240
Mano de obra (plantación)	80	3	240
Mano de obra (plantación)	80	3	240
Mano de obra (plantación)	80	3	240
Mano de obra (plantación)	80	3	240
Transporte de personal	1000	6	6000
Señalética de advertencia	20	3	60
Alambre	254.9	1	254.9
Alquiler de cisterna para riego	3500	22	77000
Monitoreos	200	24	4800
Transporte de materiales	15000	2	30000
Transporte de insumos	2000	5	10000
Sub total			146003.731
Total (+/- 5%)			153303.91
Total USD			38040.67

Fuente: Propia

*lo precios pueden variar de acuerdo a la oferta y demanda local, es por ello que se adicionará el 5% del presupuesto total ante cualquier eventualidad.

*El presupuesto está estimado para 5 años.

Se considera en la tabla el presupuesto post cierre, como también un nivel de precisión superior al 5% del presupuesto total, como lo establece la “Guía para la Elaboración de Planes de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros” (MINEM, 2009).

Según la ley N° 28271: “Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera”, los pasivos ambientales mineros deben estar debidamente identificados e inventariados en el R.M N° 290-2006-MEM-DM (Aprueban Inventarios iniciales de Pasivos Ambientales Mineros). En el artículo 5 se menciona la atribución de responsables, los cuales son los titulares mineros, estos deben del plan de cierre de pasivos ambientales (artículo 6), los cuales tienen un plazo máximo de un año para poder remediarlo (artículo 7). En caso no cumplan con la remediación en el plazo establecido, se llevará a cabo la sanción que equivale a 600 Unidades Impositivas Tributarias (UIT) (artículo 8).

En caso los interesados y/o responsables no presenten suficiente solvencia económica para solventar los gastos de la implementación del plan, el estado, por medio del Fondo Nacional del Ambiente, (FONAM), que es la entidad encargada de captar la operación financiera internacional, donaciones, canje de deuda y otros recursos destinados a financiar la remediación de pasivos ambientales que es Estado asuma según el artículo 5.

Referencias

BOLFOR; Mostacedo, Bonifacio; Fredericksen, Todd S. 2000. *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Santa Cruz, Bolivia.

Farfán Paredes, G. (2018). *Identificación de suelos contaminados por minería en Caylloma, Arequipa referente a estudios geoquímicos y estándares de calidad ambiental*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina,

MINAM (2041) Resolución Ministerial N° 085-2014 “Aprobar la Guía para el Muestreo de Suelos y la Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos”

MINAM (2016) *Nuestras Áreas: Pasivos Ambientales*. FONAM. Disponible en: <http://fonamperu.org/web/tipos-de-pasivos-ambientales-mineros/>

MINEM (2009). “*Guía para la elaboración de planes de cierre de pasivos ambientales mineros*” – Disponible en: http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/legislacion/guia_pasivos_Mineros_2010_ago_20.pdf

MINEM (2015) “*Guía para la remediación de Pasivos Ambientales Mineros en el Perú*”. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/12/PRESENTACION-3-MINEM-PERU.pdf>

Minera Bateas S.A.C. (2011) *Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1013 TDM a 1500 TDM*, aprobado con el R.D 173-2011 MEM-AMM

Miñano, W. (2019). *Índice de diversidad de flora silvestre y concentración de metales pesados en el suelo asociado a los geiseres de la micro cuenca de Calientes, provincia de Candray Tacna*. Tesis Doctoral, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman, Tacna-Perú.

PRONAMACHS, (1998). *Manual de plantaciones forestales para la sierra peruana, proyecto forestería en microcuencas altoandinas-femap*- Lima Peru

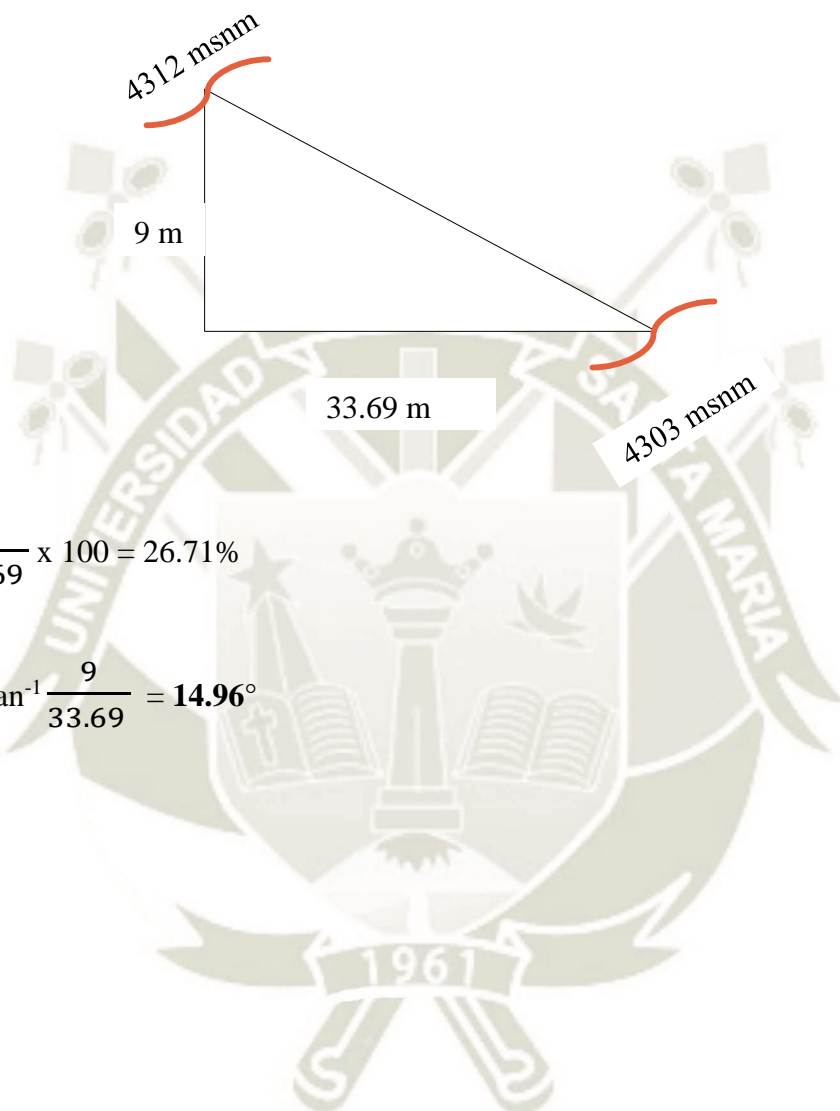
Pronóstico de calidad del aire para Caylloma, Arequipa, Perú - The Weather Channel | weather.com. (2020). Obtenido de <https://weather.com/es-SV/forecast/air-quality/1/884349f58d3351d0870dcc8f5ade9c5fd08d1022c4fabce82786a5427c6db36e>

Wilson, W; Brussière, B; Guerrero Barrantes, J. A. (2007). “*Guía para el diseño de depósitos de residuos mineros*”. MINEM (Ministerio de Energía y Minas); PERCAN (Programa de cooperación Perú – Canadá). Volumen XXIII. Lima, Perú. 202 p. Disponible en: http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/guias/xxii_coberturas.pdf



ANEXOS

Anexo 1: Cálculos para la obtención de la pendiente del PAM.



$$P = \frac{9}{33.69} \times 100 = 26.71\%$$

$$P = \arctan^{-1} \frac{9}{33.69} = 14.96^\circ$$

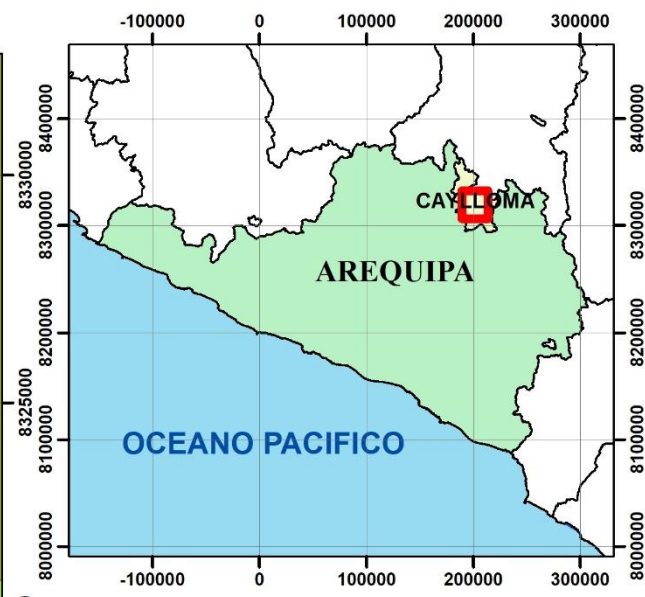
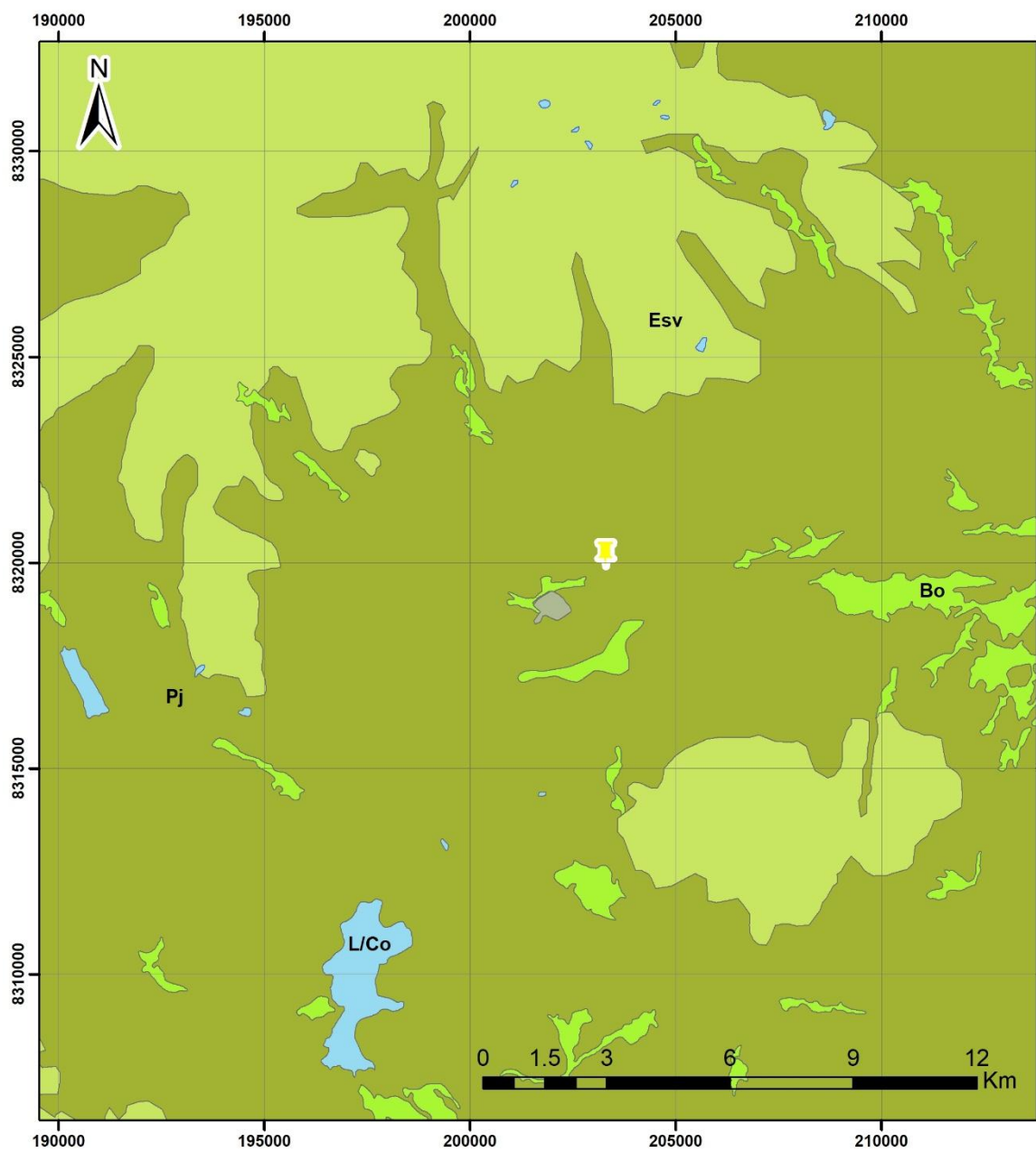
Anexo 2 Matrices de valorización para remediación del PAM.

PAM 003		RESIDUOS MINEROS				M ²	
EN UNIDAD MINERA		INSPECTOR		COORDINADOR			
Tipo de residuos mineros	Material de desechos	Residuos de arena	Escorias	Pie de lavatorio			
	Residuos	Residuos de carbón	Lodos de concentración	Suelo orgánico			
Otros (especificar):							
Ubicación del componente (ordenadas (7M))	Surco	Este	Este	Este			
	Otros (especificar):						
Ubicación del componente (describiendo)	Otros (especificar):						
	Otros (especificar):						
Forma del componente	Área superficial (m ²)		Altura (m)	Volumen (m ³)			
	Otros (especificar):						
Características del residuo	Forma de partículas	Grueso	Medio	Fino			
	Humedad	Seco	Humedo	Saturado			
	Tipo de contaminación	Autocontaminado	Puro	Degradado			
	Coloración	Natural	Oscura	Blanca			
Otros características (describiendo):							
Sustos (detallados (describiendo))							
Otros de características (describiendo)							
Importancia ambiental	Accesibilidad	0= Bajo, restringido, acceso	1= Accesos fáciles en vehículo o a pie en día no lluvioso	2= En vehículo, acceso de distancia corta o por (pólis m)	3= Aljamas o áreas urbanas, corta distancia en vehículo o corto distancia a pie		
	Potencial de escape (capacidad de absorción a corto y largo plazo)	0= Ninguno	1= No hay lechadas expuestas	2= Lechadas expuestas (pólis m)	3= Lechadas expuestas (más m)		
	Condiciones de viento	0= Cobertura en buena condición o no expuesta	1= Cobertura en poco deteriorada o mal mantenida/estructurada	2= Cobertura seriamente dañada o mal mantenida parcialmente expuesta	3= Pasillos totalmente expuestos		
	Presencia de canales y cauces para limpiar aguas	0= Sin adecuadamente protegido con coros y coladas	1= Sin colado con losa de concreto	2= Sin colado, flujo de cauce dentro (ajo o moderado)	3= Sin colado con losa de concreto		
	Potencial de fundimiento	0= Ninguno	1= Existencia de fundimientos normales	2= Existencia de fundimientos moderados	3= Existencia de fundimientos condiciones peligrosas		
	Potencial de daño físico relacionado con el residuo (considerando corto y largo plazo)	0= Ninguno (estructura estable y firme)	1= Bajo potencial, requiere intervención futura inmediata	2= Potencial moderado, estructura física a estabilidad (poco) causa daño a moderado	3= Alto potencial, estructura física a estabilidad con alto riesgo de causar daño a moderado		
	Presencia de escombros, rocas, metales, etc. en la pile	0= Ninguno	1= Presencia menor de escombros o escombros naturales estables	2= Presencia de escombros naturales y no naturales que representan un riesgo significativo para las transacciones	3= Debido presencia de escombros naturales y no naturales que representan un riesgo significativo para las transacciones		
	Otros riesgos para la seguridad						

Estado físico y ambiental	Evidencia de erosión hídrica o eólica	0= Ninguna	1= Mínima	2= Moderada	3= Severa	
	Evidencia de inundaciones, descargas, drenajes o descargas previas (relacionada a la actividad minera)	0= No hay evidencia y las condiciones generales que se reportan	1= Existencia de eventos mínimos	2= Existencia de eventos mínimos a moderados	3= Existencia de eventos moderados a severos	
	Potencial de drenaje ácido (según inspección visual)	0= Ninguno	1= Menos de precipitado	2= Pequeño flujo de drenaje ácido reportado o que podría fluir	3= Grandes cantidades de drenaje ácido reportado o que podría fluir	
	Evidencia de contaminantes físicos (plomo, arsénico, etc.)	0= Ninguno	1= Mínimo, muestra de eventos o evidencias físicas y químicas en el sitio	2= Mínimo a moderado (p.ej. contaminación de metales detectados en el sitio)	3= Moderado a severo, en conflicto y requiere toma acciones inmediatas	
Otros riesgos a la salud humana y ambiental (describiendo)						
Estado físico y ambiental	Accesibilidad y escape para la fauna silvestre	0= No hay acceso (señal cerrada o sellada)	1= Accesos para fácil de escape	2= Accesos y señal de escape	3= Fácil acceso sin posibilidades de escape	
	Atracción de fauna silvestre	0= Ninguna atracción aparente	1= Menor, debido a vegetación/vegetal	2= Atracción moderada entre a atractivos y vegetal	3= Muy atractivos debido a atractivos y vegetal	
	Vegetación en el sitio y alrededores	0= Sin y alrededores cubiertos con vegetación consistente con el sitio	1= Cobertura vegetal (baja) al sitio y alrededores	2= Existencia de vegetación afectada en el sitio y periferia	3= Ninguna vegetación (representativa por (describiendo))	
	Proximidad a áreas protegidas	0= 100 m de un área protegida	1= 50 m de un área protegida	2= 25 m de un área protegida	3= Dentro de un área protegida	
	Sensibilidad del área (uso tradicional del suelo, control de fauna)	0= Ningún uso sensible del suelo	1= 10 m de un área sensible	2= 5 m de un área sensible	3= Dentro de un área sensible	
	Drenaje e infiltración hacia cuerpos de agua	0= Ninguno	1= Potencial de contaminar cuerpos de agua durante temporada de lluvias	2= Potencial de contaminar cuerpos de agua en cualquier momento	3= Drenaje de aguas contaminadas hacia cuerpos de agua	
	Otros problemas ambientales (describiendo)					
	Mediciones de campo					
	pH					
	Conductividad (µS/cm)					
Costal (L/h)						
Temperatura (°C)						
Fotos y diagramas (con hojas adicionales si es necesario)						
Comentarios						



Anexo 3: Mapa de cobertura vegetal.



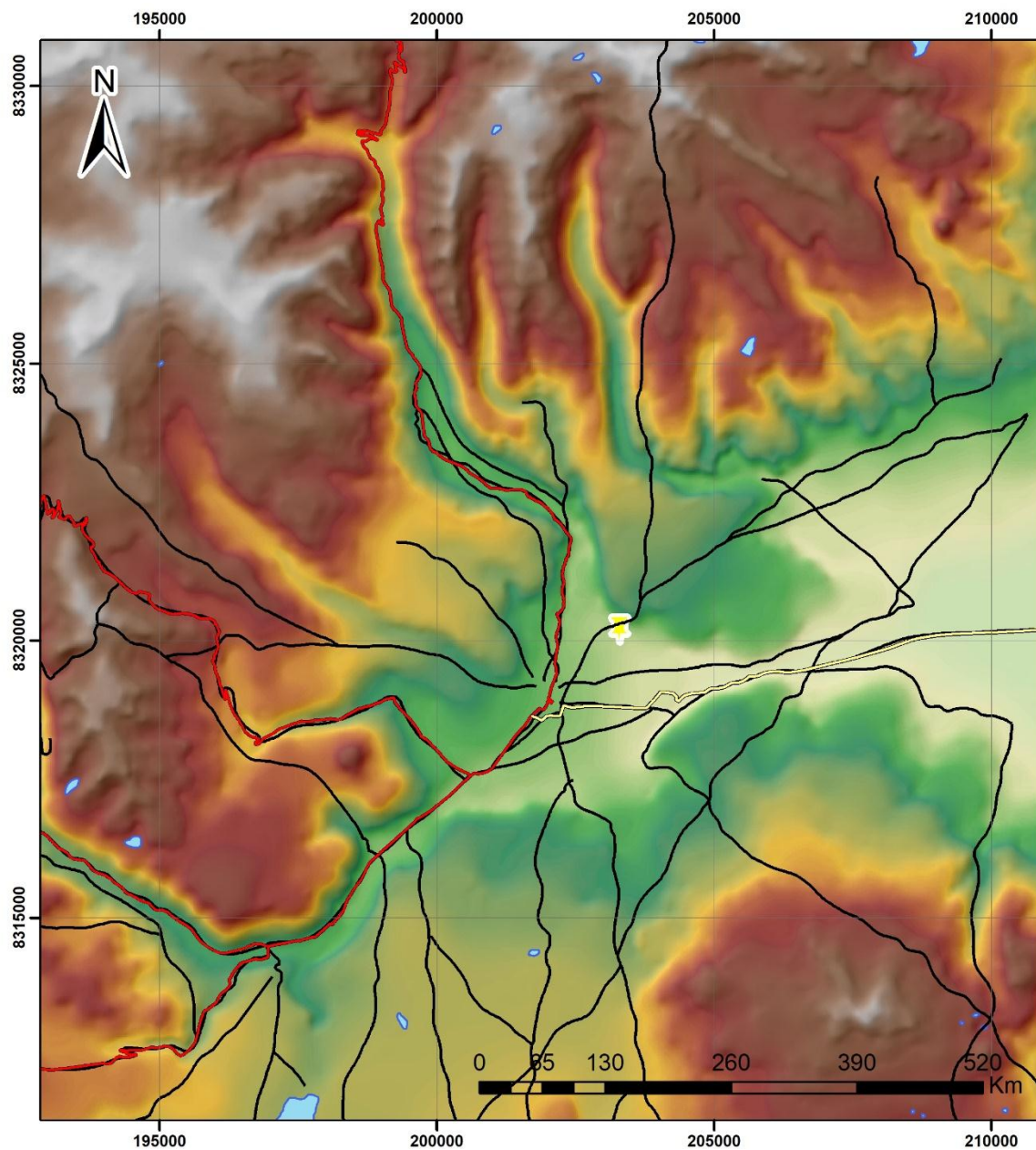
OPC

COBERTURA VEGETAL AREA CERCANA AL PAM

ESCALA

1:134,618

Anexo 4: Mapa de accesibilidad a la zona.



Leyenda

-  Red Vial Departamental
-  Red Vial Vecinal
-  Vías de Acceso
-  Lagos
-  PAM

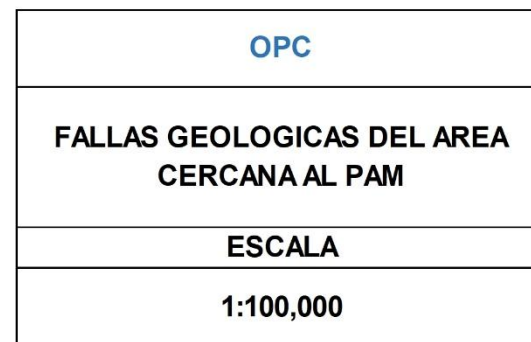
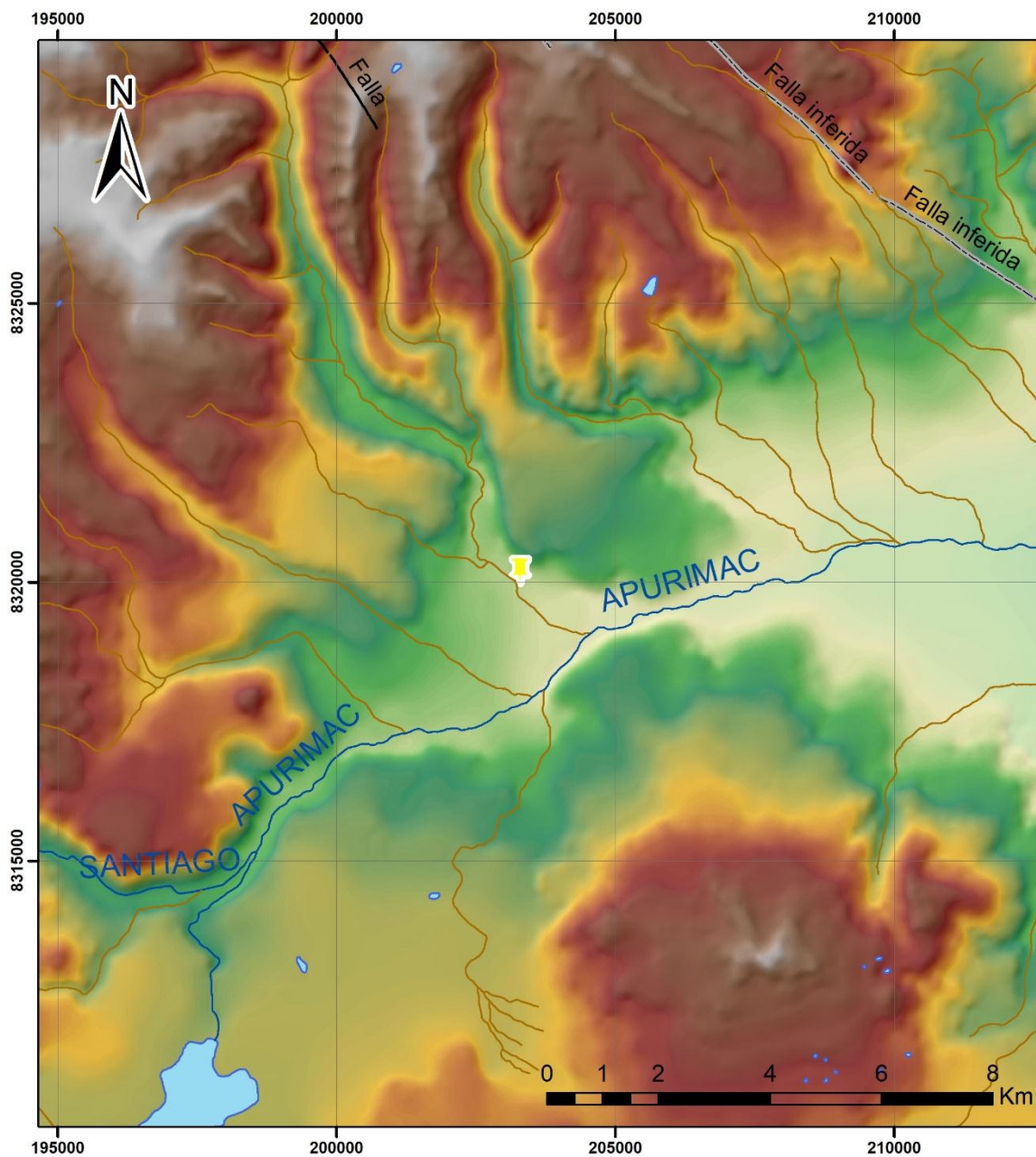
OPC

ACCESIBILIDAD AREA CERCANA AL PAM

ESCALA

1:100,000

Anexo 5: Mapa de fallas geológicas.



Anexo 6: Mapa de pendientes.

