



**FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“CIERRE DE UNA PRESA DE RELAVES MINEROS POR LA METODOLOGÍA  
DE ENCAPSULAMIENTO DEL MATERIAL CONTAMINANTE EN LA  
PROVINCIA DE ESPINAR, 2019”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

**YIMMY DANY ZEVALLOS LIZÁRRAGA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**Arequipa, Mayo 2019**

**Dedicatoria**

A mi madre y padre por ser el pilar más importante, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo, valentía y perseverancia.

### **Agradecimiento**

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre a mi lado.

Mi profundo agradecimiento a la Universidad Alas Peruanas, a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, a los docentes quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Agradezco a mis amigos, compañeros y familiares, por ser buena compañía en el camino de la vida.

## Resumen

La presente tesis ha sido desarrollada con la finalidad de proponer criterios para una solución innovadora, sostenible y sustentable al problema de los pasivos ambientales mineros.

El objetivo principal es evaluar los materiales para el encapsulamiento de los materiales contaminantes en la presa de relave Ccamacmayo, en la provincia de Espinar; y su posterior reforestación con especies vegetales de la zona donde se encuentra ubicada la presa de relaves Ccamacmayo.

El desarrollo de la actividad minera involucra la ocupación del territorio para zonas de explotación, ubicación de instalaciones industriales anexas, almacenamiento temporal o definitivo de los estériles mineros, etc. Por estas razones, la ocupación del territorio debe realizarse bajo un criterio de ordenamiento atendiendo los condicionantes de buen uso y gestión de suelos.

La minería moderna contempla la ejecución de planes de cierre con criterios para controlar la contaminación ambiental una vez cerrada la operación minera pero no contempla la posibilidad de utilizar el espacio ocupado por la mina en uno dedicado a actividades sostenibles en el tiempo.

En conclusión, se realizó el encapsulamiento del relave con una cobertura de geomembrana, geotextil, arcilla 0.20m y tierra de cultivo 0.30m (Top Soil); la reforestación con especies nativas de la zona como son: las cinco opciones planteadas la gramínea perenne Festuca orthophylla y bianual Bromus unioloides obtuvieron una valoración de 60 y 47 puntos, en forma respectiva; éstas especies, son las utilizadas en la revegetación, en cuanto son altamente recomendables por sus ventajas ecológicas y geomorfológicas.

## Abstrac

This thesis has been developed with the purpose of proposing criteria for an innovative, sustainable and sustainable solution to the problem of mining environmental liabilities.

The main objective is to evaluate the materials for the encapsulation of the contaminating materials in the Ccamacmayo tailings dam, in the province of Espinar; and its subsequent reforestation with endemic species from the area where the dam is located.

The development of the mining activity involves the occupation of the territory for zones of exploitation, location of annexed industrial facilities, temporary storage or

definitive of the sterile miners, etc. For these reasons, the occupation of the territory must be carried out under a criterion of order, taking into account the conditions of good use and soil management.

Modern mining contemplates the execution of closure plans with criteria for control environmental pollution once the mining operation is closed but does not contemplate the possibility of using the space occupied by the mine in one dedicated to activities sustainable in time.

In conclusion, the encapsulation of the tailings was performed with a cover of geomembrane, geotextile, clay 0.20m and soil 0.30m (Top Soil); the reforestation with native species of the zone such as: the five options proposed the perennial grass *Festuca ortophylla* and biannual *Bromus unioloides* obtained an assessment of 60 and 47 points, respectively; these species are those used in revegetation, as they are highly recommended for their ecological and geomorphological advantages

## **Introducción**

Las operaciones mineras están relacionadas al cateo, prospección, exploración, desarrollo, extracción y concentración de minerales; son potenciales de contaminación en las áreas circundantes. En tal sentido hemos considerado importante estudiar los problemas ambientales y drenajes ácidos que se producen como consecuencia de la exposición al medio ambiente tanto de los desmontes abandonados, y relaves antiguos.

El estudio comprende 4 capítulos:

El CAPÍTULO I, abarca el Planteamiento del Problema, el marco global en el que se desarrolla, el contacto con la realidad, la identificación y determinación del problema, la formulación del mismo. En él se consignan los objetivos, la justificación, los alcances y las limitaciones.

El CAPÍTULO II, contiene el Marco Teórico con los antecedentes internacionales, nacionales y locales; así también, con teorías generales sobre el impacto ambiental de la minería; sustento jurídico de la protección del medio ambiente. Las bases teóricas especializadas acerca de la contaminación de relaves en el Perú.

El CAPÍTULO III, enfoca la Metodología de la Investigación: el tipo, el nivel, los métodos, el diseño de investigación, los procedimientos de recolección de datos, las técnicas de procesamiento de datos.

El CAPÍTULO IV, comprende los Resultados y Discusión. Se presentarán los datos generales, los análisis e interpretación.

Finalmente, se abarca las Conclusiones, Recomendaciones y Referencias Bibliográficas que fueron objetiva y críticamente analizadas. En el acápite Anexos se presenta la propuesta para la recuperación de los relaves mineros, las fichas técnicas de los instrumentos utilizados y las imágenes.

## Índice

Dedicatoria.....	II
Agradecimiento.....	III
Resumen.....	IV
Abstrac.....	V
Introducción.....	VI
Índice.....	VII
Índice de Tablas.....	X
Índice de Mapas.....	XI
Índice de Figuras.....	XII
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.1.1 Caracterización de la realidad problemática.....	1
1.1.2 Definición del problema.....	2
1.1.3 Delimitación de la investigación.....	2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1 Problema general.....	2
1.2.2 Problema específico.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.4.1 Justificación teórica.....	3
1.4.2 Justificación metodológica.....	3
1.5 IMPORTANCIA.....	4
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	4
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>5</b>
<b>2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>5</b>
2.1 MARCO REFERENCIAL.....	5
2.1.1 Antecedentes de la investigación.....	5
2.2 MARCO LEGAL.....	8
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	9
2.3.1 Remediación:.....	9
2.3.2 Impacto ambiental negativo.....	9
2.3.3 Pasivo:.....	9
2.3.4 Plan de cierre:.....	9
2.4 MARCO TEORICO.....	9
2.4.1 Relaves mineros.....	9

2.4.2	Tipos y características de los relaves.....	10
2.4.3	Naturaleza de los efluentes líquidos de relaves .....	12
2.4.4	Clases de efluentes .....	12
2.4.5	Cierre de mina .....	14
2.4.6	Depósitos de relaves.....	14
2.4.7	Ubicación de un depósito de relaves .....	15
2.4.8	Restauración.....	15
2.4.9	Remediación.....	15
2.4.10	Aglomerantes utilizados en el tratamiento de relaves .....	16
CAPITULO III.....		17
3	PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
3.1	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	17
3.2	TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
3.2.1	Tipo de Investigación .....	17
3.2.2	Nivel de Investigación.....	17
3.3	MÉTODO.....	17
3.4	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	18
3.4.1	Hipótesis general.....	18
3.4.2	Hipótesis específicas .....	18
3.5	VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN .....	18
3.6	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	19
3.6.1	Área de estudio.....	19
3.6.2	Relleno de la presa de relaves .....	21
3.6.3	Revestimiento con Geoceldas .....	23
3.6.4	Revestimiento con Geomembrana.....	26
3.6.5	Diseño de revegetación .....	29
3.6.6	Limitaciones de la protección vegetal .....	29
3.6.7	Efectos de la selección de especies vegetales.....	30
3.7	CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LAS ESPECIES VEGETALES .....	30
3.7.1	Caracterización sin ecológica de las especies vegetales.....	30
3.8	DESCRIPCIÓN DE LAS CATEGORÍAS PROPUESTAS EN LA MATRIZ .....	31
3.8.1	Origen.....	31
CAPITULO IV.....		41
4	ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	41
4.1	COBERTURA PARA EL CIERRE PROGRESIVO.....	41
4.1.1	Conformación de Capa de Arcilla (0.30 m) .....	41
4.1.2	Conformación de la Capa de Tierra Vegetal (0.20 m).....	41
4.2	CARACTERIZACIÓN AUTOECOLÓGICA DE LAS ESPECIES VEGETALES.....	43
4.2.1	Autoecología de Festuca dolichophylla Presl. “Chilligua” .....	43
4.2.2	Autoecología de la especie Festuca rigida “Llama Ichu” .....	44



4.2.3 Autoecología de la especie <i>Festuca orthophylla</i> “Iru Ichu” .....	45
4.2.4 Autoecología de la especie <i>Stipa ichu</i> “Quisi Ichu” .....	46
4.2.5 Autoecología de la especie <i>Bromus unioloides</i> “K’achu” .....	46
4.2.6 Autoecología de la especie <i>Poa candamoana</i> “K’achu” .....	47
4.3 MATRIZ PARA LA SELECCIÓN DE ESPECIES VEGETALES .....	52
4.4 REQUERIMIENTO DE COBERTURAS PARA LA REVEGETACIÓN .....	54
4.5 COSTO DE LA COBERTURA .....	55
CONCLUSIONES .....	57
RECOMENDACIONES .....	58
BIBLIOGRAFÍA .....	59
ANEXOS .....	63

## Índice de tablas

Tabla 1: Características físicas de relaves.....	11
Tabla 2: Variables de la investigación .....	18
Tabla 3: Propiedades Mecánicas de las geoceldas.....	24
Tabla 4: Propiedades físicas de las geoceldas.....	24
Tabla 5: Tipo de pastizales naturales adyacentes al depósito de relave Ccamacmayo: carácter dominante y subordinados de la especies vegetales.....	33
Tabla 6: Matriz para la valoración y selección de especies vegetales. ....	38
Tabla 7: Requerimientos de suelos para las especies vegetales dominantes de los tipos de vegetación del entorno adyacente al depósito de relave Ccamacmayo.....	49
Tabla 8: Requerimientos de clima y fisiografía para las especies vegetales dominantes de los tipos de vegetación del entorno adyacente al depósito de relave Ccamacmayo.....	50
Tabla 9: Interpretación de la matriz. ....	52
Tabla 10: Costo del cubrimiento de la presa de relaves.....	56

### **Índice de mapas**

Mapa 1: Plano de ubicación de Manejo de Aguas .....	20
Mapa 2: Plano de sitio de Manejo de aguas .....	22

**Índice de figuras**

Figura 1: Esquema de un presa de relaves. ....	14
Figura 2: Forma de unir las geomembranas. ....	27
Figura 3: Forma de soldar las geomembranas. ....	27
Figura 4: Soldadura por extrusión. ....	27
Figura 5: Prueba de soldadura. ....	28
Figura 6: Revegetación de un depósito de relaves. ....	42
Figura 7: Esquema de la configuración de la cobertura tipo A. ....	55

## CAPITULO I

### 1 Planteamiento del Problema

#### 1.1 Descripción de la realidad problemática.

##### *1.1.1 Caracterización de la realidad problemática*

Actualmente, el impacto de la minería es uno de los problemas que afecta al medio ambiente mundial, el Perú no se encuentra libre de dicho problema, ya que es un país minero con grandes yacimientos mineros. De la misma manera se sabe que la minería trae grandes beneficios económicos.

La minería es una actividad extractiva que consiste en la obtención selectiva de minerales obtenidos de la corteza terrestre, existe una gran variedad de metales explotados a lo largo del territorio por ejemplo el oro, plata, cobre, hierro, etc.; tales actividades comprenden una serie de procesos o etapas, los residuos generados en el proceso de concentración son conocidos como relaves.

Los relaves son desechos tóxicos subproductos de procesos mineros y concentración de minerales, usualmente una mezcla de la tierra, minerales, agua y rocas.

Los relaves son transportados y depositados en áreas adyacentes a la unidad minera debidamente acondicionadas, conocidas como cancha de relave, dichas canchas deben contar con algunos aspectos: la capacidad de almacenamiento de relaves requerida para el tiempo de vida de la mina, así como sus posibles ampliaciones, estudios geotécnicos del sitio seleccionado analizado la actividad sísmica, estudios de topografía, climatología, hidrológica y edafológica. (Cruzado y Bravo, 2010)

### ***1.1.2 Definición del problema***

La empresa minera Antapaccay S.A. ubicada en el distrito de Yauri provincia de Espinar y departamento de Cuzco, tiene como problema ambiental la disposición final de sus relaves de su Unidad Minera de Tintaya, bajo la normativa vigente y su compromiso ambientales estipulados en su estudio ambiental de cierre de mina.

### ***1.1.3 Delimitación de la investigación***

Esta investigación se encuentra ubicado en el distrito de Yauri, provincia de Espinar, departamento de Espinar, en el ámbito funcional de la Unidad Minera Tintaya, en la presa de relave Ccamacmayo, el presente trabajo se realizó con el fin de cumplir con las disposiciones legales y los compromisos ambientales registrados en su estudio ambiental de cierre de mina.

## **1.2 Formulación del problema**

### ***1.2.1 Problema general***

¿Cómo evaluamos el encapsulamiento del material contaminante en una presa de relaves en la provincia de Espinar?

### ***1.2.2 Problema específico***

1. ¿Qué tipo de material se utilizará para el encapsulamiento de los relaves mineros?
2. ¿Cuáles son las especies vegetales utilizadas para la reforestación de las áreas impactadas de la presa de relaves enmarcado en la legislación ambiental peruana?
3. ¿Cuáles es el comportamiento de las especies vegetales utilizadas en la reforestación del área superficial de la presa de relaves mineros?

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

- Evaluar el encapsulamiento del material contaminante en una presa de relaves mineros en la provincia de espinar.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Determinar el tipo de material a utilizar para el encapsulamiento de los relaves mineros.
- Determinar las especies a utilizar para la reforestación de las áreas impactadas de la presa de relaves de acuerdo a la legislación peruana.
- Evaluar la reforestación del área superficial de la presa de relaves mineros.

### **1.4 Justificación de la investigación**

La presente investigación presenta un tema de actualidad que ha merecido el interés de los organismos estatales, la comunidad y sector minero privado.

#### ***1.4.1 Justificación teórica***

Teniendo conocimiento de la composición de los relaves y su toxicidad hacia el medio ambiente, la mediana y gran minería, vienen invirtiendo en tecnología de punta, modernizando sus instalaciones e implementando nuevos sistemas de operaciones, y hacer de sus operaciones amigables con el medio ambiente.

#### ***1.4.2 Justificación metodológica***

El presente trabajo de investigación como fuente de información y consulta para posteriores trabajos referidos en el tema de cierre de mina, en especial en el encapsulamiento de los relaves mineros, en dicho trabajo se redactará la metodología del encapsulamiento, y las especies vegetales utilizados en la reforestación de una presa de relaves.

### **1.5 Importancia**

La importancia del trabajo se sustenta principalmente en el encapsulamiento de los contaminantes presente en los relaves mineros en la provincia de espinar en el proyecto minero Tintaya, y su posterior reforestación del área.

### **1.6 Alcances y limitaciones**

- Se limita al área de estudio, proyecto minero Tintaya en el distrito de Yauri provincia de Espinar.
- La ejecución del proyecto demanda mano de obra calificada.



## CAPITULO II

### 2 Fundamentos Teóricos de la investigación

#### 2.1 Marco referencial

##### 2.1.1 *Antecedentes de la investigación*

A nivel internacional encontramos el trabajo realizado Laura Nereyda Moreno Morales (2016), con la tesis: “comportamiento ambiental de residuos mineros”, el trabajo consistió en la caracterización geoquímica y mineralógica de los residuos del distrito minero de San Eulalia, ubicado en el municipio de Aquiles Serdán, Chihuahua, con el fin de evaluar el potencial de liberación de EPT hacia los recursos hídricos.

Los resultados de la caracterización realizada identifican a los sedimentos impactados con residuos (Identificados como APJ en el escrito) como los materiales con las mayores concentraciones de elementos como Pb, Zn y As, así como con el mayor potencial de liberación de EPT al contacto con soluciones acuosas, lo que señala la importancia que tienen los procesos de transporte e intemperización para la estabilidad química de los materiales. Estos sedimentos presentan pH bajo y potencial de generación de drenaje ácido. El elemento con mayor movilidad al contacto con agua meteórica simulada en este grupo de muestras es el zinc, mostrando concentraciones de hasta 202 mg/L en la solución. La caracterización mediante Difracción de Rayos X (DRX) permitió identificar especies secundarias mayoritarias como: jarosita, óxidos de hierro y azufre elemental; mediante Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) se encontraron especies secundarias minoritarias con capacidad de fijación de EPT como beudantita, goethita y plumbojarosita que funcionan como fijadores mediante mecanismos como adsorción y coprecipitación, reteniendo temporalmente los elementos antes señalados.

El comportamiento observado mediante las técnicas de extracción secuencial, además de apoyar las observaciones arriba señaladas, muestra la incapacidad de los sedimentos APJ para

ofrecer lugares para la fijación permanente de los EPT, ya que más del 50% del total de zinc se encontró dentro de la fracción geodisponible (porción del contenido total que es liberado de las fases sólidas mediante procesos mecánicos, químicos o biológicos), esto implica que más de 5 500 mg/kg están en potencial de ser liberados hacia los recursos hídricos del sitio.

Además de estos sedimentos APJ el otro grupo de muestras que presenta potencial de liberación de EPT debido a las altas concentraciones de EPT, potencial de generación de acidez y movilidad de zinc en agua meteórica simulada es el grupo de muestras tomadas en la presa de Jales Antigua.

En Chile, en el año 2008, Claudia Ortiz *et.al.*, realizaron el trabajo de investigación titulado: “Distribución de cobre en hojas y raíces de plantas que crecen sobre relaves mineros del cobre en el norte de Chile” En un tanque de relaves previamente forestado, se realizó una caracterización fisicoquímica del sustrato en sectores vegetados y no vegetados. Se estudió la acumulación de cobre en raíces y hojas de las especies presentes en el sitio de trabajo, con el objeto de evaluar su potencial fitoextractor y fitoestabilizador. El sustrato del sector no vegetado presentó un pH 7,4; altos contenidos de sales y 5,0 % de materia orgánica, además de un alto contenido de metales pesados, principalmente cobre ( $> 2,5 \text{ g kg}^{-1}$ ). Los sectores vegetados del tranque de relaves presentaron características similares en cuanto a pH, sales y contenido de materia orgánica, pero tenían concentraciones de cobre menores a las determinadas en los sectores no vegetados. Nueve especies presentes en el sitio fueron analizadas para determinar la acumulación de cobre en raíces y en hojas, y se sugirió la capacidad fitoextractora o fitoestabilizadora de cada especie. Las especies endémicas *Schinus polygamus* y *Atriplex deserticola* acumularon sobre  $1,2 \text{ g kg}^{-1}$  de cobre en sus hojas, presentando características de pseudomelalófilas para el metal. Cinco de las nueve especies estudiadas fueron consideradas adecuadas para procedimientos de fitoextracción de cobre, y cuatro especies mostraron capacidad para fitoestabilizar suelos contaminados con cobre.

Mediante la identificación de especies que crecen sobre un sitio contaminado con cobre, fue posible seleccionar plantas adaptadas a ambientes semiáridos y adecuadas para ser utilizadas en programas de remediación de tranques de relaves.

A nivel nacional tenemos la tesis presentada por Amanda Luz Romero Rey, titulado: “Tratamientos de relaves mineros contaminados con plantaciones de Gramíneas (kikuyo) para convertirlos en áreas verdes en la mina de la región central del Perú”, con el presente trabajo de investigación se demuestra las bases científico-ecológicas y construcción de orientaciones tecnológicas para el sembrío y conservación del Kikuyo. Con el estudio se contribuye al tratamiento efectivo de canchas de relaves de la zona afectada, a través de la fitoestabilización lo cual conlleva al restablecimiento del ecosistema, belleza paisajística, aumento de áreas verdes, mejoramiento del hábitat de flora y fauna, mejoramiento de las condiciones de la zona de influencia, mayor captura de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), recuperación de la cobertura vegetal, posibilita el pastoreo de los animales, retorno de aves, mamíferos e insectos de la fauna autóctona y la protección de las áreas afectadas con revegetación natural.

También encontramos el trabajo de tesis elaborado por Anthony Cosavalente y Winny Medina, titulado (2017): “Concentración de metales pesados en especies vegetales utilizados para la remediación de relaves en compañía minera Colquirrumi”. Esta tesis tuvo como objetivo general: evaluar el grado de concentración de metales pesados en especies vegetales (Ray Grass y Trébol Rojo) que fueron cultivadas en el cierre de los depósitos de relave y las especies vegetales que crecieron en zonas aledañas a los depósitos de relave pero que no fueron expuestos a la intervención minera.

Para ello identificamos las zonas de relaves mineros remediados y las zonas no afectadas por la actividad minera CMC, determinamos la concentración de metales pesados (Cobre, Plomo y Zinc) en plantas crecientes en relaveras y en suelos naturales y determinamos el coeficiente de translocación entre la parte aérea de la planta y las raíces.

Los resultados mostraron que el Plomo y el Zinc reportados en las especies que crecieron en las relaveras tuvieron menor concentración de metales que aquellas especies que crecieron en suelos naturales, este implicaría un buen indicador del tipo de cierre realizado en la unidad minera. Los resultados de cobre mostraron que existe mayor concentración en las especies que crecieron en las relaveras (180 ppm) sin embargo, esta concentración no sobrepasa los límites máximos permisibles establecidos en ley australiana o en la canadiense.

## **2.2 Marco legal**

Ley que regulan las actividades de remediación en minería son:

- Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera (ley n° 28271, de julio del 2004), y sus modificatorias (ley n° 28526, de mayo del 2005; y D.L. N° 1042, de junio del 2008).
- El reglamento de pasivos ambientales de la actividad minera (D.S. N° 059-2005-EM, de diciembre del 2005) y su modificatoria (D.S. N° 003-2009-EM, de enero del 2009). en adelante llamado el reglamento.
- El Decreto Legislativo n° 1042 modificó y adicionó diversos artículos a la ley N° 28271, con el fin de posibilitar una mayor variedad de modalidades de participación de terceros en la remediación de pasivos ambientales, establecer incentivos para su identificación y remediación, y permitir su reutilización, reaprovechamiento y, uso alternativo o turístico.
- El D.S. N° 003-2009-em modificó el reglamento de pasivos ambientales de la actividad minera, adecuando, incorporando y desarrollando en su regulación las disposiciones del Decreto Legislativo n° 1042.
- La ley que regula el cierre de minas (Ley N° 28090) y sus modificatorias (Ley N° 28234 y Ley N° 28507).

- El reglamento de cierre de minas (D.S. N° 033-2005-EM) y sus modificatorias (D.S. N° 035-2006-EM y D.S. N° 045-2006-EM).

## **2.3 Marco conceptual**

### **2.3.1 *Remediación:***

El conjunto de acciones y medidas adecuadas para el control, reducción o eliminación del riesgo, para la vida o salud de las personas o para el medio ambiente, de un pasivo ambiental minero, hasta un grado tal que el riesgo se reduce a un nivel aceptable y no significativo).

### **2.3.2 *Impacto ambiental negativo***

Es el impacto ambiental cuyo efecto se traduce en pérdida de valor naturalísimo, estético-cultural, paisajístico, de productividad ecológica o en aumento de los perjuicios derivados de la contaminación, de la erosión y demás riesgos ambientales.

### **2.3.3 *Pasivo:***

El pasivo consiste en las deudas que la empresa posee, recogidas en el balance de situación, y comprende las obligaciones actuales de la compañía que tienen origen en lo pasado.

### **2.3.4 *Plan de cierre:***

es un instrumento de gestión ambiental que comprende todas las acciones técnicas y legales requeridas para garantizar el logro de los objetivos de remediación de alguna área con pasivos ambientales mineros.

## **2.4 MARCO TEORICO**

### **2.4.1 *Relaves mineros***

En una planta de concentración, una cantidad superior al 95% del mineral procesado pasa a constituir el relave, que es la parte del mineral que se descarta por no tener valor económico.

Éste se descarta en forma de pulpa, que es una suspensión de sólido y agua, en la que el sólido se presenta molido a un tamaño muy fino, inferior a 0,5mm. (SERNAGEOMIN, 2014, p.11)

Según Rojas (2007) indica que dentro de los principales problemas que generan los relaves están:

- Sólidos en suspensión y metales disueltos
- Reactivos que provienen de planta concentradora.
- Generación de aguas ácidas y lixiviación de metales a largo plazo.
- Requerimiento de grandes áreas de superficie para su almacenamiento.

#### **2.4.2 Tipos y características de los relaves**

Los relaves son generalmente los desechos provenientes del tratamiento metalúrgico y estos pueden ser (los minerales) con contenido de metales preciosos como Au, Ag. Y metales básicos como Cu, Pb, Zn entre otros, ya que son estos lo que predominan en el sector minero peruano.

Los relaves generalmente son producto de:

- Flotación,
- Cianuración,
- Carbón de pulpa,
- Desmonte de mina,
- Residuos de pilas de lixiviación,
- Escorias,
- Placeres o lavaderos de oro.

La naturaleza de los relaves varía de acuerdo con el mineral tratado en planta y las operaciones de procesamiento de las partículas, en este caso particular tenemos que tratar

mayormente relaves de cobre, estos se encuentran asociados y con frecuencia son extraídos conjuntamente algunas veces en combinación con la Plata. (Villegas, 2011)

Los tipos de relaves cubren una variedad ancha de características físicas de manera que su generalización es difícil. Dicha situación se complica si se considera que los relaves de cualquier tipo de mineral pueden diferir sustancialmente, de acuerdo con el proceso de la planta y la naturaleza de la roca mineralizada, sin embargo, trataremos de efectuar algunas generalizaciones para prever un resumen útil. (Rojas 2007)

La siguiente tabla 1 divide varios tipos de relaves en cuatro categorías generales de acuerdo con la granulometría y la plasticidad.

Tabla 1: *Características físicas de relaves.*

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICA GENERAL
<b>Relave de roca blanda</b>	
- Desecho de carbón fino. - Potasa.	Contiene fracciones de arena y lama, pero las lamas pueden dominar todas las propiedades por la presencia de arcilla.
<b>Relave de roca dura</b>	
- Plomo. - Cobre. - Oro y plata. - Molibdeno. - Níquel.	Puede contener fracciones de arena y lama, pero las lamas son usualmente de baja plasticidad. Las arenas usualmente controlan las propiedades totales para propósitos de ingeniería.
<b>Relaves finos</b>	
- Arcillas fosfáticas.	

- 
- Limos rojos de bauxita. La fracción de arena es pequeña o nula. la respuesta del
  - Taconita fina. material, particularmente las características de sedimentación
  - Lamas de arena. – consolidación son dominadas por las partículas de tamaño de limo o arcilla y pueden dar problemas de volumen de disposición.

### **Relaves gruesos**

- Arenas alquitranosas. Contienen principalmente partículas de arenas o tamaños de
- Relaves de uranio. limos no plásticos, exhibiendo comportamientos como la arena
- Relaves de taconita gsa. y generalmente características favorables de ingeniería.
- Arenas fosfatadas.

---

Fuente: Rojas, 2017.

#### **2.4.3 Naturaleza de los efluentes líquidos de relaves**

La naturaleza líquida de los relaves no puede ser considerada separadamente de las características químicas del efluente líquido asociado a la planta. El diseño de los depósitos de relave no solamente es influenciado por la naturaleza de los sólidos, sino también de los efluentes; dado que el grado de conservadorismo empleado en el diseño de los depósitos de relaves, depende del riesgo que significa la deposición de los materiales, se requiere un conocimiento general de los constituyentes químicos del efluente de la planta.

#### **2.4.4 Clases de efluentes**

Como se indica líneas arriba, los procesos en la planta concentradora involucran alteraciones químicas del mineral que incluyen flotación. Durante la flotación puede ser agregado una variedad de químicos orgánicos que pocas veces son de mayor preocupación en el efluente de



la planta, porque generalmente tienen bajas concentraciones y comparativamente baja toxicidad, mediante el manejo eficiente de un proceso en la concentradora, sin embargo el ajuste del pH durante la flotación puede tener efectos significativos sobre los constituyentes inorgánicos del efluente de la planta, y su efecto es acentuado si se utiliza una lechada alcalina o ácida. Los constituyentes químicos mineralógicos presentes en la roca mineralizada son los factores más importantes en la determinación de la naturaleza química del efluente de la planta, y el ajuste del pH durante el tratamiento puede liberar un número de esos constituyentes de la roca madre. Como resultado, el pH es con frecuencia un indicador útil de los tipos generales de constituyentes en el efluente de la planta. En tal sentido pueden ser definidas varias categorías de efluentes sobre dicha base. (Espinoza, 2012)

#### *2.4.4.1 Neutral*

Esta condición es producida por operaciones de simple lavado o separación por gravedad, donde el pH no es sustancialmente alterado. Los constituyentes químicos en el efluente serán primariamente limitados a aquellos en la roca madre que son solubles en un pH neutral. Los niveles de sulfatos, cloros, sodio y calcio pueden ser algo elevados para efluentes de esta clase.

#### *2.4.4.2 Alcalina*

Incrementando el pH del efluente puede traer como resultado en concentraciones elevadas de constituyentes tales como sulfatos, cloruros, sodio y calcio entre otros.

#### *2.4.4.3 Ácida*

Disminuyendo el pH se levantan los niveles de equilibrio de muchos contaminantes metálicos y los efluentes ácidos pueden mostrar niveles altos de constituyentes catiónicos como hierro, manganeso, cadmio, selenio, cobre, plomo, zinc y mercurio, si está presente en la roca madre. Los efluentes ácidos también exhiben concentraciones elevadas de tales aniones como

sulfatos y/o cloruros. Los efluentes de bajo pH son los que ocasionan los mayores problemas de los desechos líquidos de planta. (Jamieson, 2011)

#### 2.4.5 Cierre de mina

El cierre de mina puede definirse como el conjunto de actividades a ser implementadas a lo largo del ciclo de vida de la mina a fin de cumplir con los criterios ambientales específicos y alcanzar los objetivos sociales deseados después de la etapa del proyecto con el diseño conceptual y termina solo cuando se ha alcanzado de manera permanente los objetivos de cierre. (MEM, 2006, p. 12)

#### 2.4.6 Depósitos de relaves

Los depósitos de relaves con aquellos que utilizan la parte gruesa de los relaves (arenas) para la construcción del muro perimetral. En tanto, la parte fina (lamas) se descarga en el interior de la obra. (SERNAGEOMIN, 2014)

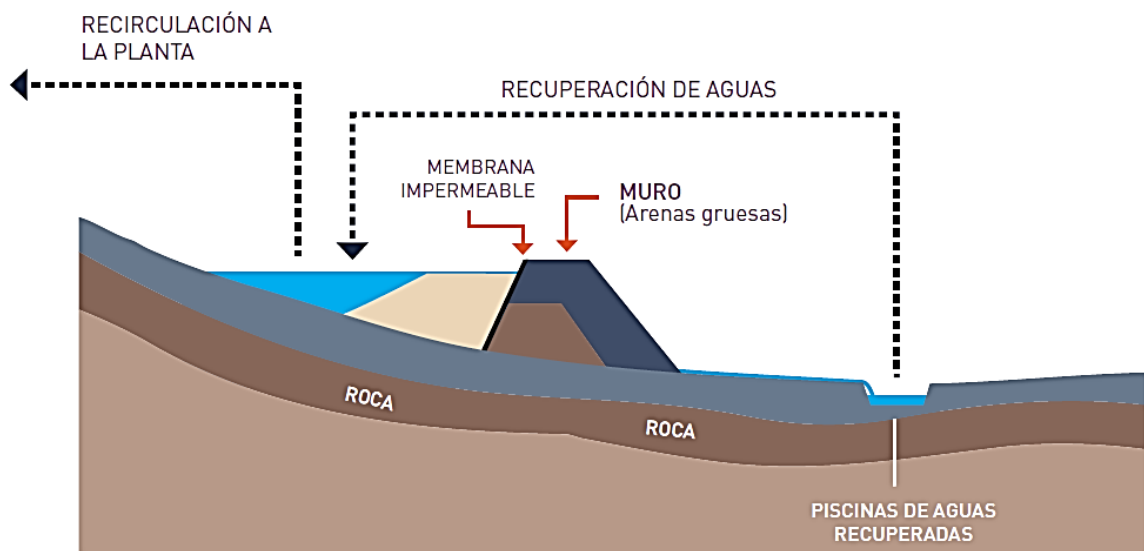


Figura 1: Esquema de un presa de relaves. SERNAGOMIN, 2013

#### **2.4.7      *Ubicación de un depósito de relaves***

Según Smith (2007), las mejores condiciones son:

- Las características topográficas permiten construir el muro de contención con una menor cantidad de arena, quedando los relaves soportados principalmente por muros naturales.
- El suelo es resistente y con buenas características de impermeabilidad.
- No hay viviendas o centros poblados aguas abajo del sitio.
- El sitio está alejado de caminos u otras obras públicas, cursos de agua permanentes o esporádicos o cuerpos de agua subterránea.

#### **2.4.8      *Restauración***

La restauración de un terreno afectado por la minería consiste en devolverle en lo posible su aspecto original, previo a la realización de las labores de extracción minera. Todo esto de acuerdo con un Proyecto inicial de restauración, presentado al solicitar el correspondiente permiso de explotación, y con el visto bueno de la autoridad correspondiente.

#### **2.4.9      *Remediación***

La remediación de los problemas ecológico mineros, debe basarse en un conocimiento lo más completo posible de cada caso, desde un enfoque multidisciplinario, que incluye las causas u origen del problema, las consecuencias en la naturaleza y sociedad y las alternativas de solución para impedir, minimizar o resolver cada problema.

Remediación y restauración a menudo se desarrollan conjuntamente. No basta con “ocultar” o “embellecer” una escombrera, además se debe “inertizarla”.

En labores mineras se debe considerar los siguientes pasos de remediación:

- Auditoria previa: estudio de la línea base.

- Diseño y análisis de costos.
- Preparación del sitio.
- Restauración y/o remediación de los suelos.
- Introducción de plantas.
- Monitoreo/mantenimiento

#### **2.4.10      *Aglomerantes utilizados en el tratamiento de relaves***

En el compendio de minerales y rocas industriales usados para la protección ambiental se hace referencia que cualquier tipo de procedimiento debe ir dirigido a una característica propia, y cada una de ellas ayudara al control, eliminación o encapsulación de los contaminantes.

Entre los aglomerantes más utilizados se encontrará al protagonismo de las arcillas sobre el ambiente, y son estas arcillas que deben tener alta superficie específica, capacidad de cambio catiónico, plasticidad, capacidad de neutralización y resistencia mecánica, no obstante, también debería cumplir con tener baja permeabilidad. con algunas variaciones todas las arcillas cumplen con las características, pero son las esmectitas, la palygorskita y la sepiolita las que mejores características presentan.

Además de la arcilla los aglomerantes inorgánicos más utilizados son el cemento, aglomerantes puzolánicos, cal, cenizas volantes, yeso, hidróxido cálcico, silicato de sodio, escorias de combustión de carbón. Entre todos los elementos mencionados el cemento, la cal y las puzolanas son las que mayor aceptación y utilidad han tenido. Para el tratamiento del relave minero con cemento este se inicia cuando entra en contacto con el agua. en este proceso denominado cementación aumenta el pH. Alterando así las propiedades químicas del residuo, aumenta la resistencia. La utilización y adición del yeso al cemento ayudara al control del fraguado.

## CAPITULO III

### **3 Planteamiento metodológico de la investigación**

#### **3.1 Diseño de la investigación**

La presente investigación es de carácter observacional y longitudinal, es observacional porque evaluaremos el proceso de encapsulamiento y reforestación de la presa de relaves y longitudinal ya que se realiza más de una medición.

#### **3.2 Tipo y nivel de la investigación**

##### **3.2.1 *Tipo de Investigación***

La investigación planeada es del tipo exploratoria, con este tipo de investigación nos permitirá evaluar la remediación del área de la presa de relaves mineros

##### **3.2.2 *Nivel de Investigación***

De acuerdo a la naturaleza del estudio el nivel de investigación es descriptivo y explicativo, ya que se quiere indagar la incidencia de la remediación y los valores en las que se manifiestan las variables, para luego explicarlo.

#### **3.3 Método**

La presente investigación tiene un método inductivo, describiremos los procedimientos para el encapsulamiento de los relaves y observar la reforestación de la presa de relaves Ccamacmayo.

### 3.4 Hipótesis de la investigación

#### 3.4.1 *Hipótesis general*

Con la incorporación de arcilla y suelo (top soil) y flora de especies nativas de la zona podríamos remediar y estabilizar los suelos de la presa de relaves Ccamacmayo, de la unidad minera Tintaya,

#### 3.4.2 *Hipótesis específicas*

- La Determinación de los materiales para el encapsulamiento de relaves permitirían contener la contaminación de los alrededores de la presa
- Las determinaciones de las especies vegetales para la reforestación nos permitirán remediar y estabilizar los suelos de la presa de relaves.
- Las evaluaciones de las áreas reforestadas nos permitirán conocer el comportamiento de las especies vegetales utilizadas.

### 3.5 Variables de la investigación

Tabla 2: *Variables de la investigación*

<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>Incorporación de arcilla y suelo</b>	Arcilla	Metro	M
	Suelo	metro	M
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>Reforestación y estabilización de contaminante</b>	Flora	Porcentaje	% especie/ha

Fuente: Elaboración propia.

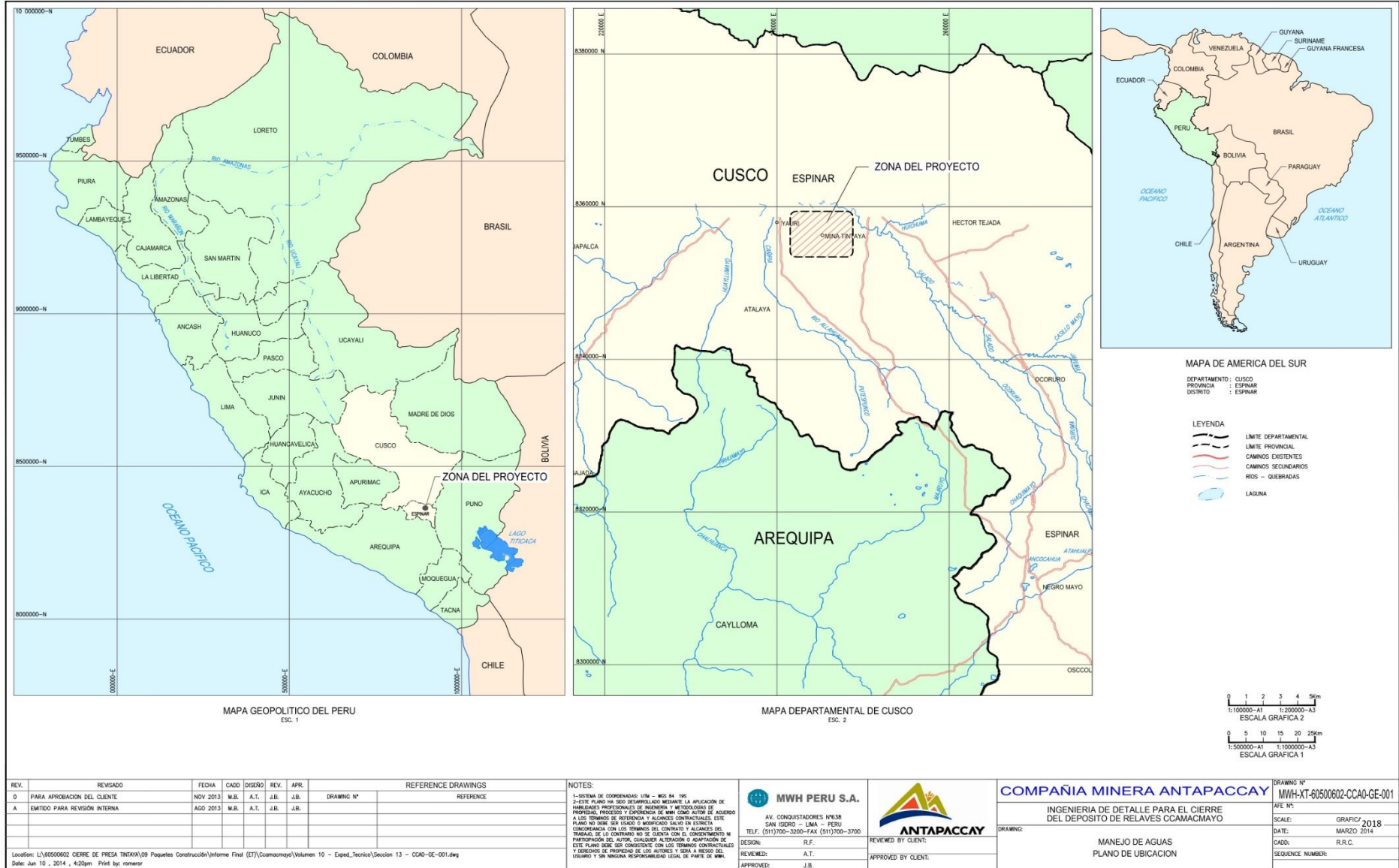
### **3.6 Técnicas e instrumentos de la investigación**

#### **3.6.1 *Área de estudio***

La unidad minera Antapaccay se encuentra ubicada en la Provincia de Espinar en la Región Cusco, al sur del Perú aproximadamente a 15 km del poblado de Yauri. Las ciudades de Cusco y Arequipa se encuentran a 256 km (por carretera) al Sudeste y 255 km (por carretera) al Noreste, respectivamente. (Ver mapa 01)

Antapaccay es una compañía dedicada a la producción y comercialización de concentrado de cobre. El desarrollo de las operaciones de Antapaccay se realiza actualmente por el método de explotación a tajo abierto, y cuenta con un yacimiento tipo pórfido del cual se extrae sulfuros de cobre.

Mapa 1: Plano de ubicación de Manejo de Aguas





La presa Ccamacmayo ha sido construida por el método de eje central hasta la cota 3,990 msnm y por el método de aguas arriba entre las cotas 3,990 y 4,005 msnm. El embalse presenta dos diques de contención, denominados Presa Principal y Presa Auxiliar, construidos con material seleccionado de estériles provenientes de la mina. La presa principal tiene su coronación en la cota 4,005 msnm y presenta una extensión de baja altura hacia el estribo este. La máxima altura de los diques, hasta la elevación 4,005, es de 81 m para la presa principal y 41 m para la presa auxiliar. La extensión de la presa principal en su corona es de 1,350 m. Los diques están construidos con un talud aguas abajo de 3H:1V, con bermas intermedias con taludes 1.5H:1V y ancho promedio de 10.5 m y altura variable entre 5 y 7 m. El ancho de la coronación en la cota 4,005 msnm es de 10 m aproximadamente. En el año 2000 se construyó una berma de refuerzo aguas abajo del pie de las presas principal y auxiliar, para mejorar la condición de estabilidad de los diques ante las características de baja resistencia al corte de los suelos de cimentación. (Ver mapa 02)

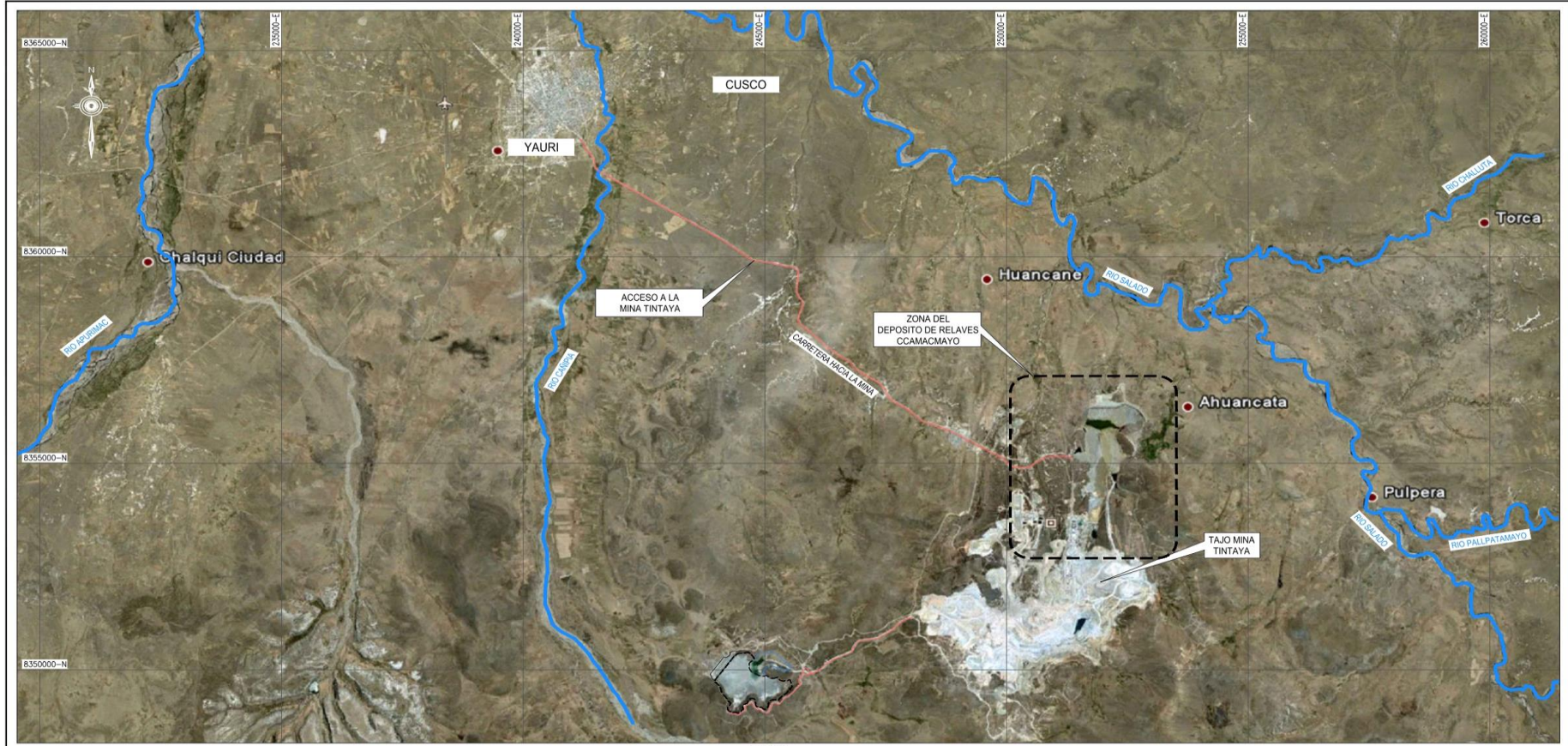
Los relaves fueron distribuidos principalmente desde el extremo sur del embalse, cerca de la planta, y desde las presas mediante tuberías. Esta distribución originó la aparición de playas cerca de las presas y una laguna de aguas claras en el sector oeste del embalse. Las aguas de la laguna eran bombeadas de regreso al proceso, y actualmente son bombeadas hacia el tajo Tintaya. La cara aguas arriba de la presa hasta la cota 4,005 msnm incluye un geotextil, para reforzar la cimentación del relleno del dique ubicado sobre los relaves, y un filtro vertical, para impedir la migración de los relaves por el relleno grueso del dique.

### **3.6.2 *Relleno de la presa de relaves***

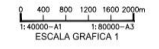
#### **3.6.2.1 *Trabajos Topográficos***

Se efectuará el replanteo topográfico delimitando las áreas a emplear según los planos aprobados.

Mapa 2: Plano de sitio de Manejo de aguas



PLANTA  
ESC. 1



REV.	REVISADO	FECHA	CADD	DISEÑO	REV.	APR.	REFERENCE DRAWINGS	NOTES	MWH PERU S.A.		COMPANIA MINERA ANTAPACCAY		DRAWING N°	
0	PARA APROBACION DEL CLIENTE	NOV 2013	M.M.	R.F.	J.B.	J.B.	DRAWING N°	1- SISTEMA DE COORDENADO: UTM - WGS 84 19S 2- ESTE PLANO HA SIDO DESARROLLADO MEDIANTE LA APLICACION DE HABILIDADES PROFESIONALES DE INGENIERIA Y METODOLOGIAS DE PROPIEDAD, PROCESO Y EXPERIENCIA DE MWH COMO AUTOR DE ACUERDO A LOS TERMINOS DE REFERENCIA Y ALCANZES CONTRACTUALES ESTE PLANO NO DEBE SER USADO O REPRODUCIDO SIN LA DEBIDA COORDINACION CON LOS TERMINOS DEL CONTRATO Y ALCANZES DEL TRABAJO. SE DE CONCORDAR NO SE CUENTA CON EL COMPROMISO NI PARTICIPACION DEL AUTOR, QUALQUIER ALTERACION O ADAPTACION DE ESTE PLANO DEBE SER CONSISTENTE CON LOS TERMINOS CONTRACTUALES Y DEBERON DE PROPIEDAD DE LOS AUTORES Y SERA A RIESGO DEL USUARIO Y DE NINGUN RESPONDERABLE LEGAL DE PARTE DE MWH.	AV. CONQUISTADORES Nº138 SAN ISIDRO - LIMA - PERU TELF. (011)700-3200-FAX (011)700-3700			INGENIERIA DE DETALLE PARA EL CIERRE DEL DEPOSITO DE RELAVES CCAMACMAYO		MWH-XT-60500602-CCA0-GE-002
A	EMITIDO PARA REVISION INTERNA	AGO 2013	M.M.	R.F.	J.B.	J.B.	REFERENCE		DESIGN:	R.F.	REVIEWED BY CLIENT:		SCALE:	GRAFICA
									REVIEWED:	J.B.	APPROVED BY CLIENT:		DATE:	MARZO 2018
									APPROVED:	J.B.			CADD:	M.M.
													SEQUENCE NUMBER:	

Location: L:\60500602 CERRIE DE PRESA TINTAYA\09 Paquetes Construcción\Informe Final (ET)\Ccamacmayo\Volumen 10 - Exped\_Tecnico\Seccion 13 - CCA0-GE-002.dwg  
Date: Jun 10 , 2014 , 4:21pm Plot by: romeror

### 3.6.2.2 *Relleno con Material de Préstamo y Propio*

Una vez realizado el replanteo respectivo, se inicia con la colocación del material sobre la zona a rellenar, posterior a ello se nivela y extiende el material de relleno con ayuda de un rastrillo.

Con la ayuda de una plancha vibratoria se procede a compactar la superficie por capas de 15 cm de espesor como máximo, logrando obtener el grado de compactación adecuada. Luego se realizarán las pruebas de compactación especificadas y con los resultados satisfactorios se procederá a colocar la siguiente capa hasta llegar al nivel deseado.

### 3.6.2.3 *Relleno Masivo con Material Rocoso*

Se realizará con el material rocoso de mina y según especificaciones, se transportará desde el Botadero 20 hacia la poza de recuperación, donde se descargará y se procederá a rellenar en capas de 0.60 m de espesor, hasta llegar al nivel correspondiente. La compactación se realizará de forma natural, es decir con el peso propio del material de relleno.

### 3.6.2.4 *Equipos*

- Cargador Frontal
- Camiones Volquetes de cap. 15 m<sup>3</sup>.
- Compactadoras Tipo Plancha.

### 3.6.3 *Revestimiento con Geoceldas*

Geotextil No Tejido: Tela permeable y flexible de fibras sintéticas dispuestas aleatoriamente, ligadas mediante procesos mecánicos, térmicos o químicos con filamento continuo.

Geoceldas: Geoestructura tridimensional semirrígida en forma de panal de abeja que se rellena con tierra vegetal, grava, arena, suelo-cemento u concreto.

El sistema consiste en un revestimiento conformado por paneles de confinamiento celular (geoceldas) del tipo expandible de 100 mm de altura, rellenas de concreto. Los paneles serán fabricados con polietileno de alta densidad (HDPE) que se extenderá sobre el terreno, conformando una estructura tridimensional compuesta de celdas confinantes en forma de panel de abeja con paredes verticales perforadas y texturadas. Las celdas serán rellenas con concreto según se indica en los planos.

Las propiedades físicas y mecánicas de las geoceldas son presentadas en las siguientes tablas:

Tabla 3: *Propiedades Mecánicas de las geoceldas.*

Propiedades	Método	Unidad	Valor
<b>Densidad mínima del polímero</b>	ASTMD 1505	g/cm <sup>3</sup>	0.940
<b>Resistencia a la ruptura por esfuerzo ambiental</b>	ASTMD 1693	Hora	3400
<b>Contenido de carbón negro</b>	ASTMD 1603	% por peso	1.5% mínimo
<b>Espesor nominal de pared antes de texturado</b>	ASTMD 5199	mm	1.27 ± 5%
<b>Espesor nominal de pared después de texturado</b>	ASTMD 5199	mm	1.52 ± 5%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4: *Propiedades físicas de las geoceldas.*

Propiedades	Unidad	Valor típico
Tamaño nominal de la celda expandida (ancho y largo)	mm	320x287
Área nominal de la celda expandida	cm <sup>2</sup>	460
Tamaño nominal de la sección expandida (ancho x largo)	m	2.56 x 8.35
Área nominal de la sección expandida	m <sup>2</sup>	21.4
Peralte de celda	Mm (plg)	100 (4)
Resistencia de la junta al pelado (1)	N	1420
Resistencia de la junta por suspensión	---	La soldadura de unión de 102 mm soporta una carga 72.5kg por un mínimo de 30 días o la soldadura de unión de 102 mm soporta

---

una carga de 72.5kg por un mínimo de 7 días mientras varía la temperatura desde 23°C a 54°C en un ciclo de una hora de duración.

---

Fuente: Elaboración propia.

### *3.6.3.1 Preparación de la Superficie de Apoyo*

Previa a la colocación de la protección, se deberá preparar la superficie sobre la cual se colocará, que consiste en la limpieza, conformación, compactación y perfilado de la base, en el ancho de la superficie a proteger y de modo tal que, al colocar el material de protección, la superficie terminada no sobresalga con respecto a la rasante de las secciones anterior y posterior.

### *3.6.3.2 Colocación de Geotextil de 200 gr/m<sup>2</sup>*

El geotextil será no tejido y debe estar constituido por filamentos continuos de polímeros sintéticos unidos mecánicamente. La trama del geotextil deberá permitir la permeabilidad al agua en los sentidos normal y radial de la lámina.

### *3.6.3.3 Colocación de Geoceldas*

El hilo debe ser confeccionado en polietileno de alta densidad, y debe ser colocado en los extremos de las estacas. Sus brazos en forma de “T” con ganchos direccionados hacia abajo, tienen la función de asir los tendones en un amarre en forma de cruz como medio de restricción y transferencias de esfuerzos.

Las estacas serán elementos metálicos de fierro corrugado de ½” de diámetro, de 0.75 m de longitud. Las estacas tienen la función de conferir la suficiente resistencia y rigidez para penetrar, mediante hincado y clavado, al terreno sobre el que se asentarán y anclarán los paneles de geoceldas.

#### *3.6.3.4 Relleno de Geoceldas*

El material de relleno se colocará con un cargador frontal, y se esparcirá sobre la superficie de la geoceldas colocadas de forma manual con la ayuda de un rastrillo, tratando de alcanzar el mayor volumen posible a rellenar. Se nivelará la superficie de tal forma que el material quede 0.05 m sobre la geoceldas, para luego compactar con ayuda de una plancha vibratoria, hasta llegar al ras de las geoceldas.

### **3.6.4 Revestimiento con Geomembrana**

#### *3.6.4.1 Preparación de la Superficie de Apoyo*

Previa a la colocación de la protección, se deberá preparar la superficie sobre la cual se colocará, que consiste en la limpieza, conformación, compactación y perfilado de la base, en el ancho de la superficie a proteger y de modo tal que al colocar el material de protección, la superficie terminada no sobresalga con respecto a la rasante de las secciones anterior y posterior.

#### *3.6.4.2 Colocación de Geotextil de 200 gr/m<sup>2</sup>*

El geotextil será no tejido y debe estar constituido por filamentos continuos de polímeros sintéticos unidos mecánicamente. La trama del geotextil deberá permitir la permeabilidad al agua en los sentidos normal y radial de la lámina.

#### *3.6.4.3 Colocación de Geomembrana*

Dependiendo de la geometría del proyecto se procede con la colocación de la geomembrana sobre la base y taludes, bien conformados y compactados; utilizando una barra mecánica para agilizar el tendido, traslapando los lienzos adyacentes 5 pulgadas para su termofusión.

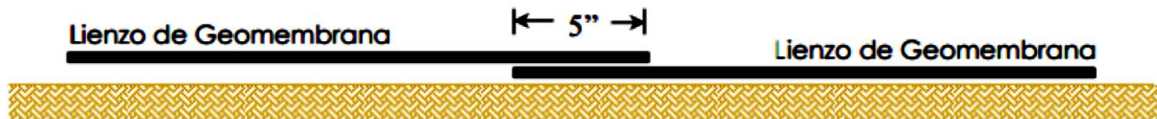


Figura 2: Forma de unir las geomembranas.

Luego ajuste de la máquina de soldar (o cuña caliente) para iniciar los trabajos de Termofusión (soldadura) entre los lienzos adyacentes.

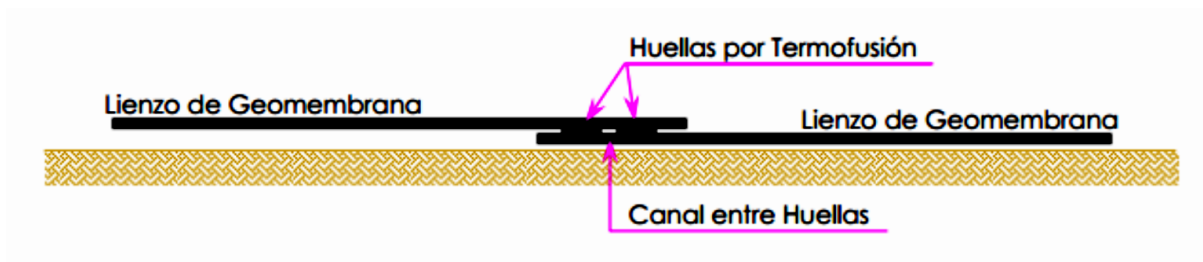


Figura 3: Forma de soldar las geomembranas.

Máquina de Soldar: se ajusta la maquina al calibre o espesor del material y se programa a una temperatura de 650° F aproximadamente, dependiendo de la temperatura ambiente. Así mismo se regula a una velocidad entre 3.0 y 4.0 metros lineales por minuto.

Luego ajuste de la máquina de extrusión para continuar los trabajos de reparación y/o detalles de soldadura.

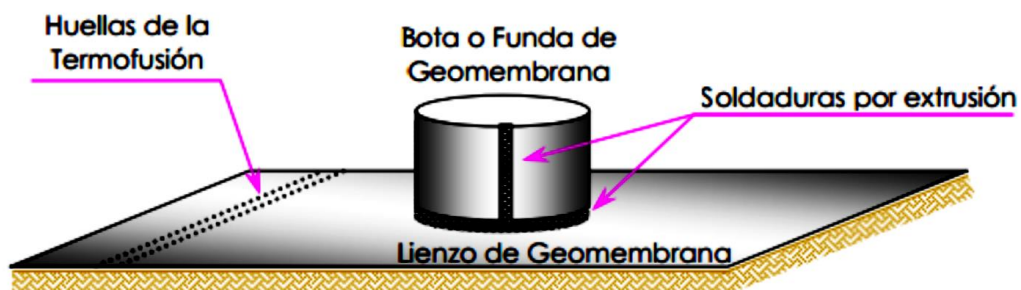


Figura 4: Soldadura por extrusión.



Máquina de extrusión: Se ajusta (dependiendo la marca) a una temperatura de 600° F aproximadamente y un precalentado a 450° F dependiendo de la temperatura del medio ambiente al momento de realizar las soldaduras. La soldadura por extrusión se utiliza para realizar reparaciones y detalles en cárcamos, salidas de tubería (fundas o botas), esquinas, soldaduras defectuosas en la termofusión, entre otras.

#### 3.6.4.4 Pruebas de Soldadura

Se introduce en el canal una presión de aire de 30 a 35 libras/pulgada<sup>2</sup> durante 5 minutos loqueando ambos lados del mismo con la misma soldadura, si esta presión llega a tener una caída del 10% (3 libras/pulgada<sup>2</sup> aproximadamente) se procede a detectar la fuga para realizar posteriormente la reparación correspondiente con soldadura por extrusión.

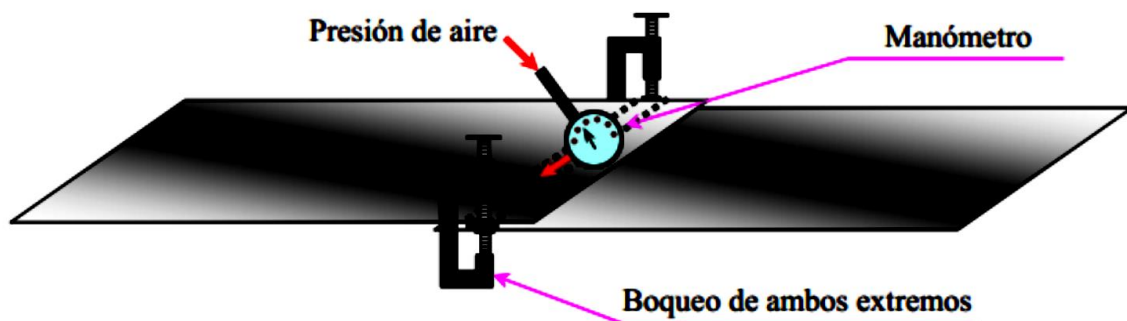


Figura 5: Prueba de soldadura.

#### 3.6.4.5 Pruebas de Soldadura para la Extrusion

Se utiliza una caja de vacío (vacuum box) para succionar la soldadura extrusionada en la geomembrana, para llevar a cabo dicha prueba se necesita una combinación de agua y jabón como testigo dando una presión de -5 libras/pulgada<sup>2</sup>.



En caso de que exista alguna fuga se puede detectar debido a la existencia de burbujas continuas en el área de la soldadura defectuosa, la cual se procede a reparar por medio de extrusión.

#### **3.6.4.6 Equipos**

- Camión baranda
- Plancha vibratoria
- Máquina de soldar
- Máquina de extrusión

#### **3.6.5 Diseño de revegetación**

La revegetación de un terreno reconformado ayuda a controlar la erosión y ayuda a aumentar el factor de seguridad. Por esta razón cada día se utiliza más la vegetación nativa. El efecto de la vegetación es una interacción compleja entre factores hidrológicos y mecánicos de difícil cuantificación.

Generalmente el proceso de revegetación de áreas utilizadas por la actividad minera se ha concentrado en el uso de especies vegetales herbáceas dominantes de las comunidades vegetales. Como regla general nunca debe plantarse una sola especie sino una sucesión de variedades en tal forma que se recupere el sistema vegetativo original. Se debe considerar, además, el manejo apropiado de las técnicas de vegetación para ayudar en el proceso natural de sucesión ecológica.

#### **3.6.6 Limitaciones de la protección vegetal**

El establecimiento exitoso de vegetación está determinado por muchos factores tales como: época de siembra, pendiente del terreno y exposición. Las épocas ideales de siembra son las semanas anteriores a la temporada de lluvias, sin embargo, se puede realizar la siembra en épocas secas disponiendo de un programa adecuado de riego.

Con referencia a la exposición del terreno, los terrenos que reciben la exposición directa del sol de la tarde presentan mayores dificultades para la vegetación, que los que reciben el sol de la mañana o poseen condiciones de sombra relativa.

### **3.6.7 *Efectos de la selección de especies vegetales***

El tipo de vegetación que cubre la superficie del terreno tiene efecto sobre la estabilidad, por ejemplo, Campbell (1975) reportó que los deslizamientos de suelo eran 3 a 5 veces más frecuentes en aquellos terrenos cubiertos por pastos exóticos que en aquellos cubiertos por especies nativas.

Ciertos tipos de plantas son intrínsecamente mejores que otras para objetivos de revegetación. La vegetación gramínea posee raíz fasciculada y resistente que las plantas de raíces pivotantes, y provee un mejor refuerzo y efecto de anclaje.

## **3.7 Caracterización ecológica de las especies vegetales**

La revegetación está relacionada íntimamente con la sinecología y autoecología. La sinecología se refiere a la ecología de una comunidad con respecto a su medio. La autoecología es el estudio de las características de cada planta en relación con su medio.

### **3.7.1 *Caracterización sinecológica de las especies vegetales***

La caracterización sinecológica admite seleccionar las especies vegetales compatibles con las características ambientales del sitio a revegetar. Las especies vegetales, se han localizado en el entorno adyacente al depósito de relave Ccamacmayo de una forma organizada según sus exigencias ecológicas, suelo, clima y fisiografía. De este modo, se puede dividir en lo que se denomina comunidades vegetales o tipos de pastizales (Tabla 2). Estos tipos de pastizales, son las siguientes: pajonal y bofedal

### 3.7.1.1 *Pajonal*

Ocupa terrenos accidentados, lomeríos y áreas planas o semiplanas. Los pajonales, se dividen en asociaciones vegetales: asociación vegetal Festuca-Muhlenbergia, asociación vegetal Festuca-Plantago, asociación vegetal Festuca-Calamagrostis, asociación vegetal Festuca-Stipa y asociación vegetal Stipa-Tagetes. De la primera, se cita en primer lugar a la Festuca dolichophylla que vive en terrenos planos o semiplanos, a la Festuca rigida que forma pajonales en los terrenos accidentados y elevados acompañado de la Calamagrostis amoena, a la Festuca orthophylla que habita los terrenos secos y a la Stipa ichu que vive en terrenos planos o semiplanos y lomeríos de la zona.

### 3.7.1.2 *Bofedal*

Corresponde a terrenos húmedos y se encuentran especies vegetales pertenecientes a las familias botánicas Juncaceae, Cyperaceae, Asteraceae, Poaceae, entre otras.

En general el paisaje de la zona está dominado por los pajonales, estas comunidades muestran una enorme diversidad y funciones ecológicas diversas (freno a la erosión, por ejemplo). Además, existe un paisaje antropizado, en el que se conjugan la agricultura tradicional e intensiva

## **3.8 Descripción de las categorías propuestas en la matriz**

### **3.8.1 *Origen***

#### **3.8.1.1 *Procedencia geográfica de la planta.***

- Nativa: se refiere a las especies que se encuentran dentro de su área de distribución natural original.

- Exótica sin potencial invasor: se refiere a una especie, subespecie o taxón inferior que se halla fuera de su área normal de distribución y no presenta riesgo para otras formas de vida locales.
- Exótica con potencia invasor: especie no nativa o naturalizada que está en clara expansión y cuya presencia y distribución tiene impacto negativo y amenaza los ecosistemas, hábitat o especies; logra establecerse, desplazar o competir con las especies nativas.

Tabla 5: Tipo de pastizales naturales adyacentes al depósito de relave Ccamacmayo: carácter dominante y subordinados de la especies vegetales.

Tipo de pastizal natural	Asociación vegetal	Especies vegetales dominantes	Especies vegetales subordinados
Pajonal	Asociación vegetal <i>Festuca-Muhlenbergia</i>	<i>Festuca dolichophylla</i> y <i>Muhlenbergia fastigiata</i>	<i>Alchemilla pinnata</i> , <i>Calamagrostis heterophylla</i> , <i>Carex equadorica</i> , <i>Eleocharis albibracteata</i> , <i>Gentiana peruviana</i> y <i>Poa gilgiana</i> , <i>Trifolium amabile</i> , <i>Lovibia pentlandii</i> ( <i>Echinopsis maximiliana</i> ), <i>Perezia coerulescens</i> , <i>Castilleja</i> sp., <i>Festuca ortophylla</i> , <i>Stipa inconspicua</i> , <i>Werneria pygmaea</i> , <i>Hypochoeris stenocephala</i> , <i>Oenothera multicaulis</i> , como las más principales.
	Asociación <i>Festuca-Plantago</i>	<i>Festuca dolichophylla</i> y <i>Plantago tubulosa</i>	<i>Calamagrostis rigescens</i> , <i>Eleocharis albibracteata</i> , <i>Hypochoeris taraxacoides</i> , <i>Alchemilla pinnata</i> , <i>Carex equadorica</i> , <i>Werneria pygmaea</i> , <i>Juncus brunneus</i> , <i>Ranunculus cymbalaria</i> , como las más principales.
	Asociación <i>Festuca-Calamagrostis</i>	<i>Festuca rigida</i> y <i>Calamagrostis amoena</i>	<i>Muhlenbergia peruviana</i> , <i>Scirpus rigidus</i> , <i>Cardionema ramosissimum</i> , <i>Margyricarpus strictus</i> , <i>Stipa inconspicua</i> , <i>Poa candamoana</i> , <i>Stipa brachyphylla</i> , <i>Calamagrostis heterophylla</i> , <i>Hypochoeris stenocephala</i> , <i>Carex bertonianus</i> , <i>Gentiana postrata</i> , <i>Luzula peruviana</i> , <i>Gnaphalium capitatum</i> , <i>Cyperus</i> sp., <i>Geranium sessiliflorum</i> , <i>Baccharis tricunata</i> , <i>Festuca ortophylla</i> , <i>Cerastium mollissimum</i> , como las más principales.
	Asociación <i>Festuca-Stipa</i>	<i>Festuca ortophylla</i> y <i>Stipa brachyphylla</i>	<i>Festuca ortophylla</i> , <i>Stipa brachyphylla</i> , <i>Gnaphalium capitatum</i> , <i>Stipa mucronata</i> , <i>Stipa ichu</i> , <i>Muhlenbergia fastigiata</i> , <i>Polypogon crystatus</i> , <i>Werneria</i> sp., <i>Cotula pigmaea</i> , <i>Hypochoeris</i> sp., <i>Bidens andicola</i> , <i>Oenothera multiacaulis</i> , <i>Hypiricum caespitosum</i> , como las más principales.
	Asociación vegetal <i>Stipa-Tagetes</i>	<i>Stipa ichu</i> y <i>Tagetes mandonii</i> .	<i>Stipa brachyphylla</i> , <i>Bidens andicola</i> , <i>Festuca ortophylla</i> , <i>Muhlenbergia fastigiata</i> , <i>Echinopsis maximiliana</i> ,

---

Bofedal	Asociación <i>Calamagrostis</i> - <i>Plantago</i>	<i>Calamagrostis rigescens</i> y <i>Plantago tubulosa</i>	<i>Hypochoeris stenocephala</i> , <i>Carex bertonianus</i> , como las más principales. <i>Eleocharis albibracteata</i> , <i>Hypochoeris taraxacoides</i> , <i>Alchemilla pinnata</i> , <i>Werneria pygmaea</i> , <i>Juncus brunneus</i> , <i>Ranunculus cymbalaria</i> , como las más principales.
---------	---	--	---

---

Fuente: Elaboración propia.

### 3.8.1.2 *Hábito*

Patrón de desarrollo de una planta.

- **Herbácea:** planta que no presenta tejidos leñosos persistentes.
- **Arbusto:** planta perenne (que persiste durante más de dos años y florece por lo general anualmente), leñosa, con ramas laterales bien desarrolladas que aparecen cerca de la base por lo que no hay tronco, alcanzan menos de 10 m de altura.
- **Árbol:** Planta perenne grande, con un único tronco leñoso y ramificado y con muy pocas o ninguna rama en la base.

### 3.8.1.3 *Ciclo de crecimiento*

Denota período de vida de la planta.

- **Perenne:** planta que persiste por largo tiempo.
- **Bianual:** planta que requiere normalmente dos años para completar su ciclo vegetativo. En el primer año produce hojas y crece, en el segundo semilla y muere.
- **Anual:** planta que completa su ciclo de vida desde semilla en una temporada de crecimiento.

### 3.8.1.4 *Altura*

Altura de la planta.

### 3.8.1.5 *Sistema radicular*

Se refiere al tipo de órgano de la planta que está bajo tierra.

- **Fasciculada:** sistema radicular propio de las plantas gramíneas.
- **Pivotante:** sistema radicular propio de las plantas latifoliadas.

### 3.8.1.6 *Propagación*

Modo de reproducción y/o cultivo de la planta.

- Estacas: a partir de la siembra de una pequeña porción del tallo de la planta, que contenga yemas, brotan raíces y se produce una planta nueva.
- Esquejes: tallos que se preparan en recipientes con agua o tierra hasta que forman raíces y luego se trasplantan.
- Semillas: proceso en el que se plantan las semillas con el objetivo de que germinen y se produzca una nueva planta.
- Trasplante del medio natural: método mediante el cual se colectan las plántulas en un ecosistema natural y se llevan al vivero, para luego ser plantadas en su lugar final.

### 3.8.1.7 *Rango altitudinal*

Altura en metros sobre el nivel del mar en la que la planta se desarrolla. Dependiendo de la especie, las plantas pueden tener un amplio rango altitudinal, o, por el contrario, limitarse a una altitud específica.

### 3.8.1.8 *Clima*

Aspectos sobre la adaptabilidad de la planta a condiciones de temperatura y humedad, así como a la resistencia a cambios extremos como heladas, granizadas, entre otros. La variable clima se relaciona con el rango altitudinal. Algunas plantas pueden tener amplia distribución y soportar variedad de climas, por lo que se considera importante su uso; otras en cambio, necesitan climas y/o microclimas específicos, por lo que se pueden utilizar en algunos espacios puntuales de la construcción (por ejemplo: plena exposición solar y generación de sombra). Se recomienda el uso de especies locales, habituadas al clima local.



### 3.8.1.9 *Agua*

Necesidades de agua de la planta. Es un factor muy importante pues a partir de este, el diseño debe contemplar mecanismos de riego y/o drenajes.

### 3.8.1.10 *Requerimientos lumínicos*

Adaptaciones de la planta a la luz. Existen plantas que requieren para su desarrollo lugares con plena exposición solar, otras se desarrollan en ambientes sombreados, y algunas pueden soportar sombra y plena exposición. Este factor es determinante para ubicar la planta de acuerdo a la orientación dentro del proyecto.

### 3.8.1.11 *Requerimientos topográficos*

Existen especies vegetales que requieren un medio topográfico específico para su crecimiento y desarrollo.

### 3.8.1.12 *Viento*

Capacidad de la planta para tolerar el viento.

### 3.8.1.13 *Suelo*

Condiciones del sustrato que necesita la planta, con elementos tales como la profundidad y la calidad del mismo en cuanto a su composición (orgánica, inerte, artificial), porosidad, capacidad de almacenamiento de nutrientes, entre otros.

### 3.8.1.14 *Aptitudes protectoras a la erosión del suelo*

Capacidad protectora de la planta frente a la erosión.

### 3.8.1.15 *Mantenimiento*

Periodicidad con que debe atenderse la planta para su sostenimiento (podas, deshierbe, fertilización, fumigación, entre otros), requerimientos en cuanto a sistemas de riego, y su costo.

### 3.8.1.16 *Palatabilidad para el ganado*

Característica de una planta forrajera o un alimento animal que estimula su preferencia por sobre otro alimento. Según su aceptación las especies vegetales, se clasifican en deseables, poco deseables e indeseables.

### 3.8.1.17 *Clasificación ecológica*

Es conveniente clasificar a las plantas en tres grupos: decrecientes, acrecentantes e invasoras. Las especies decrecientes son todas aquellas propias de las etapas climácicas, pero que, al ser utilizadas por herbívoros ajenos al clímax, disminuyen su porcentaje en la composición botánica. Las especies acrecentantes son, también, propias del clímax, pero bajo condiciones de pastoreo y a medida que la Condición alcanza un cierto grado de deterioro, el incremento se invierte y ellas comienzan también a decrecer. Las plantas invasoras no son típicas del clímax, pero se encuentran presentes en áreas que han sido alteradas y degradadas.

### 3.8.1.18 *Interpretación de la matriz*

Después de haber realizado la caracterización sinecológica y autoecológica de las principales especies vegetales, se procedió a realizar la interpretación de la matriz (*Tabla 6*).

Se plantean como opciones cinco especies vegetales, las mismas están clasificadas de acuerdo al ciclo de crecimiento:

Tabla 6: *Matriz para la valoración y selección de especies vegetales.*

<b>Categoría</b>	<b>Variable</b>	<b>Escala de valoración</b>
<b>Origen</b>	Nativa	3
	Exótica sin potencial invasor	2
	Exótica sin potencial invasor	1
<b>Habito (correspondiente al tipo de crecimiento de la planta)</b>	Herbáceas	3
	Arbusto	1
	Árbol de bajo porte	0
	Árbol	0
<b>Velocidad de crecimiento</b>	Establecimiento rápido	3
	Establecimiento lento	1

<b>Ciclo de crecimiento</b>	Perenne	3
	Bianual	2
	Anual	1
<b>Altura (corresponde a la altura de la planta)</b>	0-1m	3
	1.1-2.0m	2
	2.1-3.0m	1
	Más de 3.1m	0
<b>Sistema radicular</b>	Fasciculada	3
	Pivotantes	1
<b>Propagación</b>	Semillas	3
	Estacas	2
	Esquejes	1
	Trasplante del medio natural	0
<b>Rango altitudinal</b>	Se encuentra en el rango altitudinal	3
	Se encuentra fuera del rango pero puede ser utilizada	2
	Se encuentra fuera del rango pero no puede ser utilizada	0
<b>Clima</b>	Presenta adaptabilidad a diversos climas, distribución cosmopolita	3
	Presenta un requerimiento climática específico	2
	Resistencia a heladas y/o factores climáticos extremos	1
<b>Agua</b>	Alto consumo de agua	1
	Bajo consumo de agua	3
	Resistencia a sequías	3
<b>Requerimientos lumínicos</b>	Ninguna preferencia	3
	Plena exposición	2
	Sombra	2
<b>Viento</b>	Preferencia por viento de baja intensidad	2
	Resistencia a lugares con vientos fuertes y/o constantes	3
<b>Suelo</b>	Suelo no profundos	3
	Suelos profundos	0
	Dependiente de alta calidad del suelo y/o sustrato	1
<b>Aplicación en revegetación</b>	Si	3
	No	0
<b>Aptitudes protectoras a la erosión del suelo</b>	Buena	3
	Regular	2
	Pobre	1
<b>Mantenimiento</b>	Baja frecuencia	3
	Alta frecuencia	1
	Requiere sistema de riego	1
	No requiere sistema de riego	3
	Bajo costo	3
	Alto costo	1
<b>Palatabilidad para el ganado</b>	Deseable	3
	Poco deseable	2
	Indeseable	0
<b>Clasificación ecológica</b>	Decreciente	1
	Creciente	2

---

Escala de valoración: 0 = no apta; 1, 2, 3 = aptas, siendo la 1 la menos apta y 3 la más apta.

## CAPITULO IV

### 4 Organización, Presentación y Análisis de Resultados

#### 4.1 Cobertura para el cierre progresivo

Con el objetivo de minimizar la infiltración que se produce por efecto de la precipitación sobre la playa de relaves del depósito Camacmayo, Antapaccay ejecutará la cobertura indicada en el informe “Modificación del Plan de Cierre de la Unidad Minera Antapaccay”, es decir una cobertura de suelo compuesta por una capa de material de baja permeabilidad compactado de 0.30 m de espesor y una capa de material orgánico (Top Soil) de 0.20 m de espesor.

##### 4.1.1 *Conformación de Capa de Arcilla (0.30 m)*

Se colocará una capa de arcilla, con material proveniente de las canteras autorizadas por Antapaccay. La arcilla será colocada en dos capas de 150 mm de espesor, alcanzando un espesor total de 300mm.

Cada capa será compactada, de preferencia con un rodillo “pata de cabra” (compactación inicial) y con un rodillo neumático (compactación final). La compactación se realizará hasta alcanzar el 85% de la Máxima Densidad Seca del ensayo Proctor Modificado.

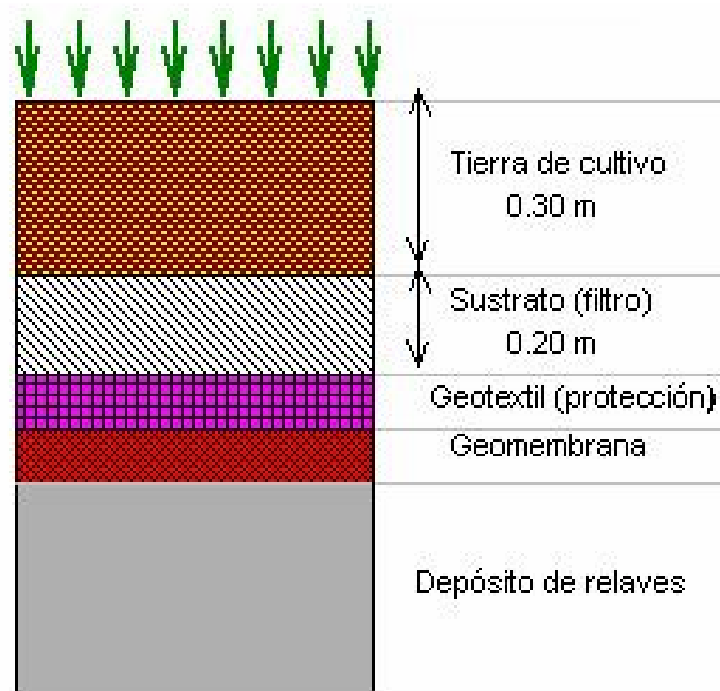
El ciclo de tráfico y número de pases de rodillo mínimo deberá ser definido en terraplenes de prueba, previo al inicio de la construcción.

##### 4.1.2 *Conformación de la Capa de Tierra Vegetal (0.20 m)*

Todo el material utilizado será extraído de los depósitos de tierra vegetal autorizados por Antapaccay. Se cargará y acarreará la tierra vegetal al área de colocación, se verterá, esparcirá y nivelará según lo indicado en los planos, se humedecerá si así se requiere,

formándose una capa de suelo homogéneo. Una vez terminada la conformación de la capa de tierra vegetal, se dará inicio a la revegetación. (Ver figura 6)

La metodología propuesta para llevar a cabo la cobertura considera la estabilización de la superficie de relaves. Para empezar la conformación de la cobertura, la superficie de relaves debe ser estable, es decir debe permitir el tráfico de equipos de construcción (camiones y tractores) para depositar y esparcir el material de cobertura, de lo contrario se corre riesgo que los equipos se puedan hundir.



*Figura 6:* Revegetación de un depósito de relaves. Fondo Nacional del Ambiente.

La estabilización de la superficie de relave puede darse naturalmente. Con el tiempo la superficie de relave perderá humedad, consolidándose y aumentando su capacidad de soporte o resistencia al corte. Si bien es difícil estimar el tiempo que demande la estabilización natural del relave, esta forma es la más económica.

Una alternativa para la estabilización de la superficie de relaves, es la conformación de una

plataforma de construcción, compuesta de una capa de relleno (0.5 m de espesor mínimo) sobre una geomalla biaxial para hacer posible la construcción sobre el relave o suelo blando, evitando la formación excesiva de surcos y/o la falla por capacidad de carga y permitiendo que tractores y camiones ingresen para cumplir con la conformación de la cobertura. Cuando el contenido de humedad es excesivo puede requerirse también la inclusión de geotextil para evitar que los finos del relave migren por bombeo hacia la capa de relleno.

## **4.2 Caracterización autoecológica de las especies vegetales**

La autoecología constituye la fase de la biología que trata de la relación de cada especie con respecto a su medio. Dado que cada especie vegetal que compone los tipos de pastizales naturales son organismos biológicos, sus interrelaciones son índole ecológica. Por consiguiente, la revegetación del depósito de relave Ccamacmayo formará parte de la ecología aplicada, y consiste en acondicionar el ambiente en el cual vive cada especie vegetal, de modo de proporcionar a cada uno de ellos, en la medida de lo posible, el hábitat que les sea más favorable.

A continuación, se describe la autoecología de las especies vegetales dominantes de los tipos de vegetación:

### **4.2.1 *Autoecología de Festuca dolichophylla Presl. "Chilligua"***

La Chilligua vive en fisonomía topográfica plana o semiplana con pendientes de 0 a 5%. Los relieves más suaves se presentan en los sitios abrigados del sistema de cerros que conforma la zona, a su vez es el medio físico para el desarrollo de la especie vegetal. Altitudinalmente, se distribuye entre los 4000 y 4400 msnm. La exposición dominante es umbría. La Chilligua es una gramínea de clima frío y habita territorio notablemente microtérnico, con temperatura media anual que varía entre 6,4 y 10,6°C, y precipitación media anual de 643,2 mm.

El suelo sobre el que vive la Chilligua, presenta un grado medio de evolución en el que se diferencia tres horizontes definidos (A, B y C), siendo clasificable según su origen como coluvio aluvial y aluvial. Se caracteriza por tener perfil edáfico profundo, composición textural franco arenoso y valor bajo de pH, condiciones apropiadas para el crecimiento de la especie.

Desde el punto de vista de su fenológica, la Chilligua, cumple su ciclo de eventos fenológicos en el lapso de octubre a mayo; a partir de junio, coincide con la ausencia de lluvias y con la presencia de bajas temperaturas, la planta ingresa a un estado de hibernación hasta la próxima etapa de crecimiento.

La Chilligua, disemina buena cantidad de semillas. Normalmente, las semillas tienen una capacidad germinativa baja. En la siembra, se debe utilizar de 15 a 20 kilos de semilla más 30 kilos de semilla de *Bromus unioloides* por hectárea. La Chilligua se propaga por macollos.

#### **4.2.2      *Autoecología de la especie Festuca rigida “Llama Ichu”***

La Llama Ichu habita en áreas muy accidentadas con pendientes mayores de 25%, con elevaciones que oscilan entre los 4000 y 4600 msnm, y con exposición dominante de umbría.

Desde el punto de vista climático, la especie Llama Ichu habita en zonas frías soportando temperatura mínima extrema de  $-1,8^{\circ}\text{C}$ . La temperatura media anual entre  $6,4$  y  $10,6^{\circ}\text{C}$  y precipitación media anual de 643,2 mm son condiciones atmosféricas que influyen de manera favorable para el crecimiento de la especie. El suelo sobre el que vive la Llama Ichu, presenta material residual en un estado de desarrollo en el que apenas se puede diferenciar los horizontes Ap y C. En este suelo, la profundidad es superficial, la textura es franco arenoso, con nada de caliza activa y el pH presenta valor bajo, son condiciones favorables para el crecimiento de la especie.



El ciclo de los eventos fenológicos de la especie Llama Ichu, comienza con el rebrote y siguen con etapas tales como elongación, espigado, floración, semilleo y diseminación, ocurren entre noviembre a mayo de cada año.

La Llama Ichu, disemina abundante semilla y tiene una buena germinación. En la siembra, se recomienda utilizar 15 a 20 kilos de semilla más 30 kilos de semilla de *Bromus unioloides* por hectárea.

#### **4.2.3 Autoecología de la especie *Festuca ortophylla* “Iru Ichu”**

La especie ocupa áreas de lomeríos con pendientes de 5 a 25% y en algunos casos áreas de relieve topográfico accidentado y de fisonomía compleja. Altitudinalmente, se distribuye desde los 4000 a 4500 msnm. La exposición dominante es claramente de solana y umbría. Climáticamente, la especie habita en zonas frías. Soporta temperatura extrema mínima de -1,8°C (algunas veces, menores). La temperatura media anual que fluctúa entre 6,4 y 10,6°C y la precipitación media anual de 643,2 mm, son condiciones adecuadas para el crecimiento de la especie.

El Iru Ichu presenta un suelo residual que se ha formado sobre substrato litológico calizo, donde se observa en su perfil dos horizontes Ap y C. Este suelo se caracteriza por tener una profundidad superficial, composición textural franco arenoso y un valor bajo de pH, son condiciones apropiados para el crecimiento de la especie.

En la especie Iru Ichu, el desarrollo vegetativo, está ligado al período de lluvias y sequía. Experimentan, el evento de rebrote en noviembre y finalizando el evento de diseminación a inicios de junio.

En cuanto a la regeneración, el Iru Ichu, disemina muy buena cantidad de semillas. Normalmente, las semillas tienen una capacidad germinativa alta. En la siembra, se recomienda

utilizar 15 a 20 kilos de semilla más 30 kilos de semilla de *Bromus unioloides* por hectárea. El Iru Ichu, se propaga por macollos.

#### **4.2.4 Autoecología de la especie *Stipa ichu* “Quisi Ichu”**

Desde el punto de vista fisiográfico, ocupa áreas de lomeríos con pendientes de 5 a 25% y en algunos casos áreas de relieve topográfico accidentado y de fisonomía compleja. Las mejores poblaciones de Quisi Ichu, se localizan en terrenos de exposición umbría y solana. Se distribuye desde los 4000 a 4500 msnm. Habita bajo un patrón climático microtérmico, con temperatura media anual que varía entre 6,4 y 10,6°C, mínima extrema de -1,8°C y precipitación media anual de 643,2 mm.

El suelo donde habita el Quisi Ichu, se caracteriza por presentar material residual formado sobre substrato litológico calizo en el que se observa dos horizontes Ap y C. Este suelo muestra profundidad superficial, composición textural franco y valor alto de pH, son condiciones apropiadas para el crecimiento de la especie.

El patrón de eventos fenológicos de la especie Quisi Ichu, comienza en diciembre con el rebrote y concluye en mayo con la diseminación de la semilla; luego, la planta entra a un estado de invernación, hasta el próximo periodo de crecimiento a partir de diciembre.

El Quisi Ichu, disemina muy buena cantidad de semillas. Normalmente, las semillas tienen una capacidad germinativa alta. En la siembra, se recomienda utilizar 10 kilos de semilla de Quisi Ichu más 30 kilos de semilla de “cebadilla” por una hectárea.

#### **4.2.5 Autoecología de la especie *Bromus unioloides* “K’achu”**

Altitudinalmente, la especie vegetal se distribuye en los pastizales de tipo pajonal entre los 4000 y 4400 msnm, ocupa áreas planas o semiplanas con pendientes de 0 a 5%, zonas de lomeríos con pendientes de 5 a 25% y en algunos casos áreas de relieve topográfico accidentado y de fisonomía compleja, con exposición dominante de umbría. Con respecto al clima, la

especie vive en los pajonales con temperatura media anual que varía entre 6,4 y 10,6°C y con valor medio de la precipitación anual de 643,2 mm.

La mayor presencia de la población de cebadilla se localiza en suelos que se han formado sobre substratos litológicos calizos, con profundidad superficial, composición textural franco arenoso y valor alto de pH.

El ciclo de eventos fenológicos comienza con el rebrote y/o germinación y siguen con etapas tales como elongación, espigado, floración, semilleo y diseminación, ocurren entre noviembre y mayo de cada año.

Para la siembra asociada, se recomienda utilizar 30 kg por hectárea de semilla. En la asociación, considerar especies vegetales dominantes de los pastizales de tipo pajonal.

#### **4.2.6      *Autoecología de la especie Poa candamoana “K’achu”***

Se distribuye en los pastizales de tipo pajonal entre los 4000 y 4400 msnm. La topografía en el que habita son mayormente áreas planas o semiplanas y en ocasiones zonas de lomeríos y áreas accidentadas con exposición dominante de umbría. En cuanto al clima, la especie se halla en los pajonales localizados en zonas abrigados con temperatura media anual en torno a los 6,4 y 10,6°C y con la precipitación media anual de 643,2 mm.

La mayor presencia de la especie K’achu, se localiza en suelo coluvio aluvial. Este suelo, se caracteriza por tener perfil edáfico profundo, composición textural franco arenoso y valor bajo de pH, condiciones apropiadas para el crecimiento de la especie.

El patrón de eventos fenológicos de la especie K’achu, comienza en noviembre con el rebrote y concluye en mayo con la diseminación de la semilla; luego, la planta entra a un estado de invernación, hasta el próximo periodo de crecimiento a partir de noviembre. Para la siembra asociada, se requiere 30 kg por hectárea de semilla.

Todas las especies vegetales en estudio tienen exigencias ecológicas determinadas, especialmente en lo que se refiere a los factores fisiográficos, climáticos y edáficos.

En las tablas 6 y 7, se presentan el resumen de los requerimientos fisiográficos, climáticos y edáficos para las especies vegetales dominantes de los tipos de vegetación del entorno adyacente al sitio de revegetación.

Tabla 7: *Requerimientos de suelos para las especies vegetales dominantes de los tipos de vegetación del entorno adyacente al depósito de relave Ccamacmayo.*

Especie vegetal	Exigencia de suelo						
	Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Reacción (pH)	Materia orgánica %	Condiciones adversas	Condiciones favorables
<b>Festuca dolichophylla</b> "Chilligua"	Ap	0 – 13	Franco arenosos	4.81	7.37	Suelos extremadamente ácidos con bajo contenido de materia orgánica y arcillosos.	Habita suelos profundos y perfil evolucionado, con alto contenido de materia orgánica y calcáreo.
	B	13 – 33	Franco	5.84	3.82		
	BC	33 – 69	Franco	6.48	1.50		
	C	+ 69	Franco arenosos	9.91	0.41		
<b>Festuca rigida</b> "Llama Ichu"	Ap	0 – 9	Franco arenosos	5.36	6.69	Suelos de mal drenaje.	Especie rústica habita suelos superficiales de baja evolución y con bajo contenido de calcáreo.
	AC	9 – 19	Franco arenosos	5.42	5.05		
	C	19 - 39	Franco arenosos	5.81	1.60		
<b>Festuca ortophylla</b> "Iru Ichu"	Ap	0 – 7	Franco arenosos	7.77	4.64	Suelos de mal drenaje.	Habita en suelos de baja fertilidad y superficiales.
	C	7 - 19	Franco	7.95	2.32		
<b>Stipa ichu</b> "Quisi Ichu"	Ap	0 - 9	Franco	7.46	6.83	Suelos de mal drenaje.	Habita suelos pedregosos, y de baja fertilidad
	C	9 - 35	Franco	7.96	3.00		
<b>Bromus unioloides</b> "K'achu"	Ap	0 – 9	Franco	7.46	6.83	Suelos fuertemente ácidos.	Habita suelos calcáreos y superficiales.
	C	9 - 35	Franco	7.96	3.00		
<b>Poa candamoana</b> "K'achu"	Ap	0 – 13	Franco arenosos	4.81	7.37	Suelos extremadamente ácidos con bajo	Habita suelos profundos y perfil evolucionado, con alto
	B	13 – 33	Franco	5.84	3.82		

BC	33 – 69	Franco	6.48	1.50	contenido de materia orgánica y arcillosos.	contenido de materia orgánica y calcáreo.
C	+ 69	Franco arenosos	9.91	0.41		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8: *Requerimientos de clima y fisiografía para las especies vegetales dominantes de los tipos de vegetación del entorno adyacente al deposito de relave Ccamacmayo.*

Especies vegetales	Altitud (msnm)	Exigencias de clima y fisiografía			
		Temperatura	Exigencias de agua	Fisonomía topografica	Exposición
<b>Festuca dolichophylla</b> “Chilligua”	4000 a 4400	Habita sitios de fondo de valle abrigados. Soporta temperaturas extremas mínimas de -1,8°C y máximas de 18°C.	Prospera desde 554,4 mm hasta 870,9 mm, la especie prefiere condiciones mesofíticos y suelos de buen drenaje.	Vive en fisonomía topográfica plana o semiplana con pendientes de 0 a 5%.	Umbría
<b>Festuca rigida</b> “Llama ichu”	4000 a 4600	Vive en laderas expuestas a los vientos fuertes y más fríos. Soporta temperaturas extremas mínimas de -1,8°C y máximas de 18°C.	Vive con valores extremos de precipitación total anual entre 554,4 mm y 870,9 mm, sobre áreas de condiciones xerofíticas y suelos de drenaje rápido.	Habita en fisonomía topográfica muy accidentada con pendientes mayores de 25%.	Umbría
<b>Festuca ortophylla</b> “Iru Ichu”	4000 a 4500	Vive en áreas de vientos fríos propios de 4500 metros s.n.m. Soporta temperaturas extremas mínimas de -1,8°C y máximas de 18°C.	Valores menores a la media anual de precipitación (643,2 mm) es suficiente para el crecimiento de Iru Ichu. Habita en sitios de condiciones xerofíticas.	Ocupa áreas de lomeríos con pendientes de 5 a 25% en algunos casos áreas de relieve topográfico accidentado y de fisonomía compleja.	Umbría y solana.

<b>Stipa ichu</b> "Quisi Ichu"	4000 a 4500	Habita áreas expuestas a los vientos fuertes. Soporta temperaturas extremas mínimas de -1,8°C y máximas de 18°C.	Vive con valores medios de precipitación anual de 643,2 mm. Se distribuye en zonas de condiciones xerofíticas.	Habita áreas de lomeríos con pendientes de 5 a 25% y en algunos casos áreas de relieve topográfico accidentado y de fisonomía compleja.	Umbría y solana
<b>Bromus unioloides</b> "K'achu"	4000 a 4400	Vive bajo la protección de Iru Ichu y Quisi Ichu de las condiciones adversas del clima. Soporta temperaturas extremas mínimas de -1,8°C y máximas de 18°C.	La precipitación anual suficiente para el crecimiento de la especie es de 643,2 mm.	Vive en áreas topográficas muy heterogéneas: planas o semiplanas con pendientes de 0 a 5%, zonas de lomeríos con pendientes de 5 a 25% y áreas muy accidentadas con pendientes mayores de 25%.	Umbría
<b>Poa candamoana</b> "K'achu"	4000 a 4400	Vive en microclima creado bajo las coberturas de Chilligua. Soporta temperaturas extremas mínimas de -1,8°C y máximas de 18°C.	Vive con precipitación anual en torno a 643,2 mm.	Vive en fisonomía topográfica plana o semiplana con pendientes de 0 a 5%.	Umbría

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3 Matriz para la selección de especies vegetales

La cual presenta las categorías y variables para tener en cuenta en la selección de cada especie vegetal. Esta matriz permitió mediante un simple cálculo numérico (sumatoria), evidenciar cuál o cuáles especies vegetales son las más apropiadas para incluir en el proyecto de revegetación del depósito de relave Ccamacmayo.

En la tabla 9, se presenta la matriz que está compuesta por categorías que responden a elementos básicos, pero significativos para la acertada selección de las especies vegetales.

Tabla 9: Interpretación de la matriz.

Categoría	Variable	Escala de valoración				
		sp1	sp2	sp3	sp4	sp5
<b>Origen</b>	Nativa	3	3	3	3	3
	Exótica sin potencial invasor					
	Exótica sin potencial invasor					
<b>Habito (correspondiente al tipo de crecimiento de la planta)</b>	Herbáceas	3	3	3	3	3
	Arbusto					
	Árbol de bajo porte					
	Árbol					
<b>Velocidad de crecimiento</b>	Establecimiento rápido				3	
	Establecimiento lento	1	1	1		
<b>Ciclo de crecimiento</b>	Perenne	3	3	3		3
	Bianual				2	
	Anual					
<b>Altura (corresponde a la altura de la planta)</b>	0-1m	3	3	3	3	3
	1.1-2.0m					
	2.1-3.0m					
	Más de 3.1m					
<b>Sistema radicular</b>	Fasciculada	3	3	3	3	3
	Pivotantes					
<b>Propagación</b>	Semillas	3	3	3	3	3
	Estacas					
	Esquejes	3	3	3		3
	Trasplante del medio natural					
<b>Rango altitudinal</b>	Se encuentra en el rango altitudinal	3		3	3	3
	Se encuentra fuera del rango pero puede ser utilizada					
	Se encuentra fuera del rango pero no puede ser utilizada					
<b>Clima</b>	Presenta adaptabilidad a diversos climas, distribución cosmopolita			3		3



	Presenta un requerimiento climática específico	2				
	Resistencia a heladas y/o factores climáticos extremos		3		3	
<b>Agua</b>	Alto consumo de agua				1	1
	Bajo consumo de agua	3				
	Resistencia a segúas		3	3		
<b>Requerimientos lumínicos</b>	Ninguna preferencia		3	3		
	Plena exposición	2			2	2
	Sombra					
<b>Viento</b>	Preferencia por viento de baja intensidad	2			2	2
	Resistencia a lugares con vientos fuertes y/o constantes		3	3		
<b>Suelo</b>	Suelo no profundos		3	3		
	Suelos profundos					
	Dependiente de alta calidad del suelo y/o sustrato				1	1
<b>Aplicación en revegetación</b>	Si		3	3	3	
	No					
<b>Aptitudes protectoras a la erosión del suelo</b>	Buena			3	3	
	Regular	2	2			
	Pobre					1
<b>Mantenimiento</b>	Baja frecuencia		3	3		
	Alta frecuencia	1				
	Requiere sistema de riego	1				
	No requiere sistema de riego		3	3		
	Bajo costo		3	3	3	
	Alto costo	1				1
<b>Palatabilidad para el ganado</b>	Deseable	3			3	3
	Poco deseable		2	2		
	Indeseable					
<b>Clasificación ecológica</b>	Decreciente	1				1
	Creciente		2			
	Invasora			3	3	
<b>Puntaje total</b>		43	55	60	47	39

Sp1. *Festuca dolichophylla*, Sp2. *Festuca rigida*, Sp3. *Festuca ortophylla*, Sp4. *Bromus unioloides*, Sp5. *Poa candamoana*.

Fuente: Elaboración propia.

Especies vegetales perennes:

- Sp1. *Festuca dolichophylla* “Chilligua”, especie nativa.
- Sp2. *Festuca rigida* “Llama Ichu”, especie nativa.
- Sp3. *Festuca ortophylla* “Iru Ichu”, especie nativa.

- Sp5. *Poa candamoana* “K’achu”, especie nativa.

Especie vegetal bianual:

- Sp4. *Bromus unioloides* “K’achu”, especie nativa.

La matriz arroja los siguientes resultados:

- Sp1. *Festuca dolichophylla* 43 puntos.
- Sp2. *Festuca rigida* 57 puntos.
- Sp3. *Festuca ortophylla* 60 puntos.
- Sp4. *Bromus unioloides* 47 puntos.
- Sp5. *Poa candamoana* 39 puntos.

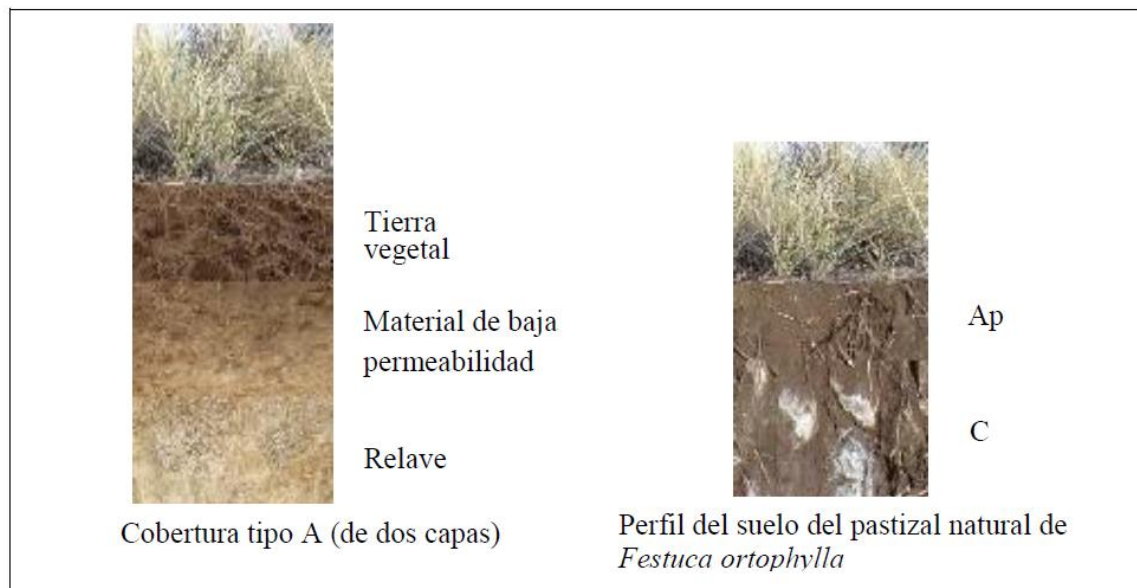
La interpretación de la matriz determina que de las cinco opciones planteadas la gramínea perenne *Festuca ortophylla* y bianual *Bromus unioloides* obtuvieron una valoración de 60 y 47 puntos, en forma respectiva; éstas especies, son el objetivo de la revegetación, en cuanto son altamente recomendables por sus ventajas ecológicas y geomorfológicas. En relación al tema, diversos estudios basados en el método científico indican que el uso de especies locales en proyectos de restauración es recomendable por sus ventajas ecológicas y geomorfológicas, tales como la conservación de la integridad genética, la conservación de la diversidad local, la compatibilidad con otras especies locales y el control eficiente de la erosión.

#### **4.4 Requerimiento de coberturas para la revegetación**

En el depósito de relave Ccamacmayo, se colocará cobertura tipo A que incluye una capa de suelo de baja permeabilidad de 30 cm de espesor, el cual actuará como capa de protección y retención de humedad; sobre esta capa, se colocará tierra vegetal de 20 cm de espesor, la misma que actuará como una capa superficial y proporcionará un medio de crecimiento para la

vegetación. Este sistema de cobertura tipo A (de dos capas), se asemeja a los suelos residuales o desarrollados in situ (Figura 7).

Por lo tanto, esto implica que el espesor correspondiente de la cobertura será suficiente para crear una condición equivalente al suelo que habita la vegetación del pastizal natural de *Festuca orthophylla*; ya que la vegetación de este tipo de pastizal habita suelo superficial o residual de baja evolución que exhibe en su configuración del perfil los horizontes Ap y C.



*Figura 7:* Esquema de la configuración de la cobertura tipo A.

#### 4.5 Costo de la cobertura

En la tabla 10 mostramos los costos de la cobertura de la presa de relaves Ccamacmayo.

Tabla 10: Costo del cubrimiento de la presa de relaves.

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio U\$	Parcial U\$
01	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>				<b>809,821.01</b>
01.01	TRAZO, NIVELACIÓN Y REPLANTEO TOPOGRÁFICO INICIAL	ha	181.00	169.82	30,737.42
01.02	TRAZO, NIVELACIÓN Y REPLANTEO TOPOGRÁFICO DURANTE LA OBRA	mes	24.00	8,299.97	199,199.28
01.03	<b>REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO DE ACCESOS</b>				<b>579,884.31</b>
01.03.01	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR (D=6.0 KM)	m3	67,875.00	4.60	312,225.00
01.03.02	CONFORMACIÓN DE SUPERFICIE DE RODADURA	m3	56,562.50	1.26	71,268.75
01.03.03	MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE ACCESOS	mes	24.00	8,182.94	196,390.56
02	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>7,638,157.39</b>
02.01	<b>CONFIGURACIÓN DE RELAVES</b>				<b>1,593,596.40</b>
02.01.01	RECONFIGURACIÓN, PERFILADO DE PLATAFORMA CON MATERIAL PROPIO	m2	866,085.00	1.84	1,593,596.40
02.02	<b>COBERTURA DE SUELO DE BAJA PERMEABILIDAD (E=0.30 M)</b>				<b>3,803,367.82</b>
02.02.01	SUMINISTRO, CARGUÍO Y TRANSPORTE DE CANTERA (D=3.5 KM)	m3	651,633.55	3.22	2,098,260.03
02.02.02	COLOCADO, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN EN PLATAFORMA (MATERIAL ARCILLOSO E=0.30 M)	m3	543,027.96	3.14	1,705,107.79
02.03	<b>COBERTURA CON MATERIAL ORGÁNICO (E=0.20 M)</b>				<b>2,136,489.19</b>
02.03.01	TRANSPORTE DE MATERIAL ORGÁNICO (D=2.5 KM)	m3	405,460.87	2.43	985,269.91
02.03.02	COLOCACIÓN Y NIVELACIÓN (MATERIAL ORGÁNICO E=0.20 M)	m3	362,018.64	3.18	1,151,219.28
02.04	<b>RELLENO DE POZA DE RECUPERACIÓN</b>				<b>104,703.98</b>
02.04.01	TRANSPORTE Y RELLENO CON MATERIAL ROCOSO DE MINA (D=10km)	m3	26,241.60	3.99	104,703.98
02.05	<b>REVEGETACIÓN</b>				<b>506,800.00</b>
02.05.01	REVEGETACIÓN CON PLANTAS NATIVAS	m2	1,810,000.00	0.28	506,800.00
03	<b>PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD</b>				<b>258,480.00</b>
03.01	PRUEBAS DE CALIDAD	mes	24.00	10,770.00	258,480.00
04	<b>SUPERVISIÓN Y CONTROL</b>				<b>427,200.00</b>
04.01	SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CAMPO	mes	24.00	17,800.00	427,200.00
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>9,640,458.40</b>
					=====
	<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>				<b>9,640,458.40</b>

SON: NUEVE MILLONES SEISCIENTOS CUARENTA MIL CUATROCIENTOS CINCUENTA Y OCHO Y 40/100 DOLARES AMERICANOS

## Conclusiones

Primero. Se determinó que el material a utilizar será un revestimiento de geoceldas, geomembranas, con una capa compactada de arcilla de 0.30m, proveniente de las canteras autorizadas de Antapaccay y una capa de material Top Soil de 0.20m para la presa de relaves Ccamacmayo.

Segundo. Se determinó que de las cinco opciones planteadas la gramínea perenne *Festuca orthophylla* y bianual *Bromus unioloides* obtuvieron una valoración de 60 y 47 puntos, en forma respectiva; éstas especies, son las utilizadas en la revegetación del área superficial de la presa de relaves Ccamacmayo.

Tercero. Se ha reforestado el 39,40 ha del total de la presa de relave Ccamacmayo, con las especies vegetales que se determinaron en la matriz, como se puede observar en el anexo 2

## Recomendaciones

Primero. Para confirmar la eficacia del sistema de cobertura debe hacerse el monitoreo del comportamiento in situ, y no únicamente los modelos numéricos y determinar las propiedades del material en laboratorio.

Segundo. Durante la construcción del sistema de cobertura, se debe asegurar el contenido de agua adecuado y la compactación del material de diseño para producir un material de baja conductividad hidráulica. Es igual de importante verificar la capa de barrera y el medio de crecimiento suprayacente (top soil).

Tercero. Tanto la revegetación como el riego deben implementarse inmediatamente a la conformación de la capa de top soil para evitar la potencial erosión eólica que se puede generar a partir de la superficie de suelo suelto, la que se acentúa al estar desprovisto de vegetación.

### Bibliografía

- Aduviri, O. (2006). Drenaje ácido de mina generación y tratamiento. Madrid: instituto geológico y minero de España.
- Alcántara Trujillo, M. C. (2015). Recuperación de suelos de relaves mineros para convertirlos en áreas verdes en la planta piloto metalurgica de Yauris-UNCP. Junin: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Berson C., H., Albright W., H., Roesler A., C., & Abichou, T. (2002). Evaluation of final cover performance. Tucson, AZ.
- Bustamante Ubaldo, J. L. (2007). Remediacion de suelos y aguas subterranas por contaminacion de hidrocarburos en los terminales de Mollendo y Salaverry de la costa peruana. Lima: Universidad Nacional de Ingenieria.
- Campos Villezcas, 2011. Extracción de plata por cianuración de colas de flotación de la Unidad Minera Santa Eulalia: Chihuahua, México, Instituto Tecnológico de Parral, tesis de licenciatura.
- Carmona Garcés, D. M. (2012). Recuperación de suelos acidificados y contaminados por minería metálica: Ensayos en columnas. Universidad Politecnica de Cartagena de Ciencia y Tecnologia Agraria.
- Cedron Lassús, M. F. (2012). Elaboración de criterios para la transformación de pasivos mineros en activos socio-ambientales sostenibles. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Empresa minera Sillustani S.A. (2008). Plan de cierre de pasivos ambientales.
- Espinosa, E., 2012, Procesos Geoquímicos Ambientales del Arsénico, Cadmio, Plomo y Zinc en sedimentos del Río Tolimán, Hidalgo, México, Posgrado UNAM, Tesis de grado académico Doctor en Ciencias (Geoquímica Ambiental)

- Etchevers J., D. (1998). Análisis químico de suelos y plantas. Estado de México: Centro de Edafología. Colegio de postgraduados.
- Fernández Linares, L. C., Rojas Avelizapa, N. G., Roldan Carrillo, T. G., Ramírez Islas, M. E., Zegarra Martínez, H. G., Uribe Hernández, R., Arce Ortega, J. M. (2006). Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. Mexico: Mexico.
- FLOREZ, A., et al. (1992). Manual de Forrajes para Zonas Áridas y Semiáridas Andinas. Red de Rumiantes Menores (RERUMEN). Programa Colaborativo a la Investigación en Rumiantes Menores (SC–CRSP). Universidad de California Davis Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria y Agroindustrial (INIAA). Lima, Perú.
- Fredlund D., G., Xing , A., & Huang, S. (1994). Predicting the permeability function for unsaturated soil using the soil–water characteristic curve. Canadá.
- Garcia, I., & Dorronsoro, C. (2002). Contaminación por metales pesados. España: Departamento de edafología y química agrícola Universidad de Granada de España.
- GEO-SLOPE International Ltd. (2007). Vadose zone modeling with VADOSE/W.
- Gonzáles Ramírez , A. m. (2008). Diseño de metodología para la identificación de pasivos ambientales mineros en Colombia. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Guzmán Alba, C. G. (2012). Mitos y realidades de los planes de cierre de minas. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.



- Hauser, V. (2009). *Evapotranspiration Covers for Landfills and Waste Sites*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Hernández Hernández, A. (2011). *Determinación de metales pesados en suelos de Natividad, Ixtlan de Juárez Oaxaca*. Ixtlan de Juárez, Oaxaca: Universidad de la Sierra Juárez
- Jamieson Heather E., 2011, *Geochemistry and mineralogy of solid mine waste: essential knowledge for predicting environmental impact: Elements*,
- Johnson, R.H., 1993, *The physical and chemical hydrogeology of the Nickel Rim mine tailings: Sudbury, Ontario, University of Waterloo, Waterloo, M.Sc. Thesis*.
- LÓPEZ. (2000). *Manual de Estabilización y revegetación de Taludes*. Editorial MÓSTOLES. Madrid, España.
- MATAIX G. (2000). *Funciones de la Vegetación en el Tratamiento de Taludes*. Madrid, España.
- MATAIX. (2000). *Selección de especies vegetales*. (Biblioteca Universidad Nacional de Cuenca, Escuela de Ingeniería). Madrid, España.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION. (1999). *Manual Práctico de Manejo del Suelo y de los Fertilizantes*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Ministerio de energía y minas (2006). *Guía para la elaboración de planes de cierre de mina*. Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros. Lima, Perú.
- Rojas V. A., (2007). *Manejo ambiental relaves – disposición subacuática*. Universidad nacional de San marcos. Lima, Perú.
- Smith K. S., 2007, *Strategies to predict metal mobility in surficial mining environments: The Geological Society of America Reviews in Engineering Geology*

SERNAGEOMIN, (2014). Guías de operaciones para la pequeña minería, guía 06 manejo de mineral y residuos sólidos. Servicio Nacional de Geología y Minería. Chile.

XSTRATA TINTAYA S.A. (2010). Caracterización y Capacidad Agrológica de los Acopios Temporales de Suelo Vegetal de Xstrata Tintaya S.A. Informe de Estudio. Arequipa, Perú.

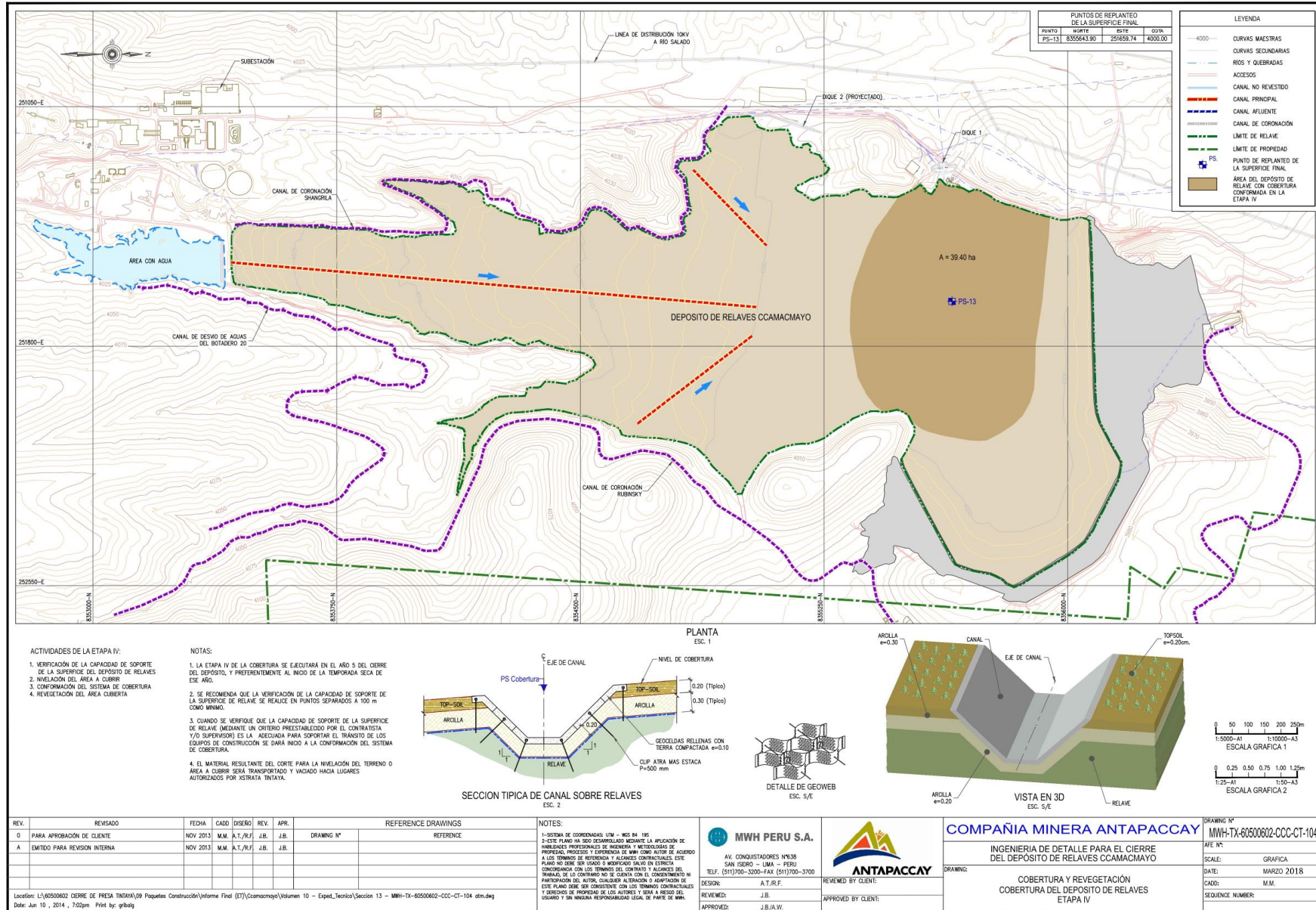
XSTRATA TINTAYA S.A. (2010). Estudio Autoecológico de Especies Vegetales Propuestas en el Plan de Cierre de Mina con Fines de Revegetación. Informe de Estudio. Arequipa, Perú.

**Anexos**

## Anexo 1- Metrado de la cobertura de playa de relaves

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO
<b>1.00</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>		
1.01	Trazo, Nivelación y Replanteo Topográfico Inicial	Ha	181.00
1.02	Trazo, Nivelación y Replanteo Topográfico durante la Obra	mes	24.00
<b>1.03</b>	<b>Rehabilitación y Mantenimiento de Accesos</b>		
1.03.01	Transporte de Material Granular	m3	67,875.00
1.03.02	Conformación de Superficie de Rodadura	m3	56,562.50
1.03.03	Mantenimiento Periódico de Accesos	mes	24.00
<b>2.00</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>		
<b>2.01</b>	<b>Configuración de Relaves</b>		
2.01.01	Reconfiguración, Perfilado de Plataforma con Material Propio	Ha	866,085.00
<b>2.02</b>	<b>Cobertura de Suelo de Baja Permeabilidad (E=0.30 m)</b>		
2.02.01	Suministro, Carguio y Transporte de Cantera	m3	651,633.55
2.02.02	Colocado, Nivelación y Compactación en Plataforma (material arcilloso E=0.30 m)	m3	543,027.96
<b>2.03</b>	<b>Cobertura con Material Orgánico (E=0.20 m)</b>		
2.03.01	Transporte de Material Orgánico	m3	405,460.87
2.03.02	Colocación y Nivelación (material orgánico E=0.20 m)	m3	362,018.64
<b>2.04</b>	<b>Relleno de Poza de Recuperación</b>		
2.04.01	Transporte y Relleno con Material Rocoso de Mina	m3	26,241.60
<b>3.00</b>	<b>REVEGETACIÓN</b>		
3.01	Revegetación con Plantas Nativas	m2	1,810,000.00
<b>4.00</b>	<b>PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD</b>		
4.01	Pruebas de Calidad	mes	24.00
<b>5.00</b>	<b>SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CAMPO</b>		
5.01	Supervisión y Control de Campo	mes	24.00

## Anexo 2- Cobertura vegetal de la presa Ccamacmayo.



Anexo 3 – Panel fotográfico



Cierre de primera cantera de arcilla de Zona 1



Segunda cantera de arcilla para Zona 1





Descarga de arcilla en Zona 1



Humedecimiento de arcilla antes de compactación



Descarga de top soil en Zona 1



Descarga de top soil 50 % + GM 50% en Zona 1



## Anexo – 4 Matriz de consistencias

<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis general</b>	<b>Variables independientes</b>
¿Cómo evaluamos el encapsulamiento del material contaminante en una presa de relaves en la provincia de Espinar?	Evaluar el encapsulamiento del material contaminante en una presa de relaves mineros en la provincia de espinar.	Con la incorporación de arcilla y suelo (top soil) y flora de especies nativas de la zona podríamos remediar y estabilizar los suelos de la presa de relaves Ccamacmayo, de la unidad minera Tintaya,	Incorporación de arcilla y suelo
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	<b>Variables dependientes</b>
1. ¿Qué tipo de material se utilizará para el encapsulamiento de los relaves mineros?	1. Determinar el tipo de material a utilizar para el encapsulamiento de los relaves mineros.	1. La Determinación de los materiales para el encapsulamiento de relaves permitirían contener la contaminación de los alrededores de la presa	Reforestación y estabilización de contaminante
2. ¿Cuáles son las especies vegetales utilizadas para la reforestación de las áreas impactadas de la presa de relaves enmarcado en la legislación ambiental peruana?	2. Determinar las especies a utilizar para la reforestación de las áreas impactadas de la presa de relaves de acuerdo a la legislación peruana.	2. Las determinaciones de las especies vegetales para la reforestación nos permitirán remediar y estabilizar los suelos de la presa de relaves.	
3. ¿Cuáles es el comportamiento de las especies vegetales utilizadas en la reforestación del área superficial de la presa de relaves mineros?	3. Evaluar la reforestación del área superficial de la presa de relaves mineros.	3. Las evaluaciones de las áreas reforestadas nos permitirán conocer el comportamiento de las especies vegetales utilizadas.	