

## Ensayo de adaptación de especies vegetales para la cobertura vegetal de los relaves mineros de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas

Test of adaptation of vegetal species for the vegetal coverages of the mining tailing at "Santa Rosa de Jangas"

<sup>1</sup>Prudencio Hidalgo Camarena\*, Pablo Espinoza Tumialan<sup>b</sup>, Rafael Figueroa Tauquino<sup>c</sup>

### RESUMEN

Al concentrar minerales por flotación, se genera un relave conformado entre otros elementos por partículas finamente trituradas de silicatos, arcillas, carbonatos, óxidos y eventualmente sulfuros conjuntamente, sin valor comercial, que se almacenan en depósitos denominados relaveras. El área seleccionada en la relavera de la planta concentradora "Santa Rosa de Jangas" fue acondicionada y preparada adecuadamente con un sustrato de mezcla homogénea de tierra agrícola, turba y arena, sobre la cual se sembraron o trasplantaron las especies vegetales a evaluarse con la finalidad de obtener datos para futuros trabajos de revegetación o fitoestabilización en cierres de minas.

La metodología consistió en evaluar las diferentes especies preseleccionadas en cuanto a profundidad de raíces, biomasa, tamaño de planta, frecuencia, diámetro de tallo y cobertura.

Los resultados muestran que las especies más adecuadas para la fitoestabilización de la superficie de la relavera por sus diversas características favorables son el 'kikuyo' y la asociación ray grass – 'trébol'.

**Palabras clave:** Relave; Cobertura vegetal; Sustrato

### ABSTRACT

Ore concentration generate some secondary products named tailing. The area was conditioned, waterproofed and carefully prepared with substrate. All the vegetal species were planted and/or transplanted at the same time on a single type of substrate consisting of an homogeneous mixture of agricultural land, turf and coarse sand and with a thickness of 20 centimeters each, with the purpose of identifying the species that best adapt to the soil and to the ecological conditions at the tailing dam of the "Santa Rosa de Jangas" mill, having in mind a future revegetation or phytostabilization work when the time for closure and abandonment comes.

The methodology consisted in spreading some vegetal species and evaluated for certain attributes were made, such as: deep roots, stem length, volume of biomass produced, trunk diameter, coverage and number of plants.

The results, in order of priority, show that species with the best attribution to carry out environmental remediation through revegetation or phytostabilization techniques are: 'kikuyo' (*Pennisetum clandestinum*) and the 'ray grass' (*Lolium multiflorum*) in association with the "trébol" (*Trifolium sp.*).

**Key words:** Tailing; Vegetal coverage; Substrate.

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias del Ambiente, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.  
<sup>a</sup>Ing. Forestal, <sup>b</sup>Ing. Químico, <sup>c</sup>Ing. Meteorólogo

## INTRODUCCION

Una cobertura vegetativa que se perpetúe a sí misma es el método preferido para la protección contra la erosión por largo tiempo de las superficies de los relaves. La revegetación de los relaves es un área altamente especializada de la agronomía y forestería que requiere bastante experiencia, tanto con los relaves como con las condiciones locales de cada asiento minero.

Puede haber requerimientos conflictivos para el establecimiento de la vegetación. Por un lado, la necesidad de establecer inmediatamente una cobertura reclama el uso de especies importadas, no nativas (mayormente gras) con cobertura gruesa en la raíz, lo cual requiere una fuerte fertilización y a menudo irrigación (Ginocchio, 2 005, 36). Sin embargo, la experiencia muestra que tales especies a menudo declinan en vigor cuando estas prácticas son discontinuadas. De otro lado, las especies nativas, especialmente aquellas que han desarrollado tolerancia por metales, se adaptan mejor a la supervivencia de largo plazo bajo condiciones locales, pero son difíciles de establecer en las superficies de relaves pobres en nutrientes que no contienen micro-organismos que fijen el nitrógeno. La importancia de cubrir los relaves con tierra de cultivo ha sido ampliamente aceptada, especialmente donde las superficies de los relaves son favorables para la formación de ácidos (MINEM, 1993, 10).

Las nuevas tecnologías que se estudian para estabilizar relaves requieren de plantas nativas locales adaptadas a ese medio, que logren atrapar los metales en sus raíces. Un relave no es un suelo, es un desecho industrial, pero se puede restaurar a través de la fitoestabilización. Lo más importante: que en el largo plazo, luego del manejo y la recuperación de los microorganismos recicladores de la materia orgánica del sustrato, estos espacios sean capaces de mantenerse sin necesidad de riego ni cuidados posteriores, y mitiguen los efectos ambientales negativos.

El **Objetivo general** es seleccionar, según los resultados de la presente investigación, las especies vegetales que mejor se adapten a las condiciones edáficas y ecológicas de la presa de relaves de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio y actividades de la planta de tratamiento

La Planta Concentradora Santa Rosa de Jangas se ubica en el kilómetro 218 de la carretera Pativilca – Caraz, en la margen izquierda y a 100 metros de la confluencia de los ríos Santa y Llancash, en el distrito de Jangas de la provincia de Huaraz (Espinoza, P. 2 007, 25), emplazada en las coordenadas 216 650 E y 8 960 967 N, a una altitud de 2 830.00 msnm. De acuerdo a la clasificación bioclimática efectuada por la ONERN en 1995, el área de estudio pertenece a la zona de vida *bosque seco – Montano Bajo Tropical* (bs-MBT) (Aliaga, E. 2003, 89).

La planta de tratamiento Santa Rosa de Jangas está diseñada para procesar 50 TM de minerales por día, generando sólidos marginales en el orden de 40 TM por día. La “cancha” o presa de relaves que ocupa 1 500 m<sup>2</sup> aproximadamente y que consta de siete “cochas” flanqueadas por diques conformados por los gruesos del relave, se emplaza en la parte baja de las instalaciones y opera desde el año 1980 con interrupciones (Tarazona, A, 2005, 37).

### Características técnicas de la presa de relaves

**Base inferior.**- Terreno natural sin compactar y sin recubrimiento alguno.

**Tipo de conformación.**- Aguas arriba. El relave se va disponiendo con retiro hacia la parte alta de donde fluye por gravedad el relave. Los taludes se van conformando levantando un dique con material acumulado cerca de los taludes, para el efecto la relavera se ha dividido en celdas donde alternativamente se va disponiendo la pulpa de relave. Una vez que la altura de la relavera alcanzó el nivel del punto de descarga en la planta concentradora se utilizó una bomba de relave para distribuir el relave en las celdas siguiendo el mismo método de aguas arriba.

**Clasificación por granulometría.**- Inicialmente se dispuso el relave por gravedad produciéndose una clasificación granulométrica por peso específico y tamaño de grano, posteriormente se instaló un ciclón que trabajó poco tiempo por falta de mantenimiento, por lo que puede considerarse que no existió una clasificación granulométrica del relave.

**Drenaje.-** Para drenar el agua decantada se dispone de “chimeneas”, que son tubos enterrados por cuya parte superior fluye el agua decantada; este tubo va creciendo verticalmente conforme se incrementa la altura de la relavera. El agua drenada sale por la parte inferior y es conducida mediante tubos a las pozas de tratamiento final.

**Tratamiento de agua.-** Se cuenta con dos pozas de sedimentación final en las que se agregan floculantes con la finalidad de

disminuir el contenido de partículas sólidas en suspensión antes de que el agua salga hacia el río Santa en el punto de descarga.

**Cobertura durante la operación.-** Los taludes han sido cubiertos con una capa de cal y suelo para evitar la exposición directa del relave y en la superficie durante la operación se mantiene cobertura de agua para minimizar la generación de polvo.

(Fuente: Espinoza, P. 2007, 110)

**Tipo de estudio**

Explicativo y Aplicado

**Delimitación del área de ensayo**

Tabla 1. Delimitación del área en coordenadas UTM

Punto	Este	Norte
1	216 724,963	8 960 977,575
2	216 719,963	8 960 977,575
3	216 719,963	8 960 987,575
4	216 724,963	8 960 987,575

El sector del talud en el flanco Norte donde se estableció el área tiene una inclinación de 50° en promedio.

**Diseño del muestreo**

El material de estudio está constituido por una superficie de 50 m<sup>2</sup> (5m x 10m) situada en el flanco norte de la presa de relaves expuesta en la misma dirección, seleccionada mediante el sistema de muestreo aleatorio simple. En dicha superficie, el terreno se dividió en cinco parcelas de 10 m<sup>2</sup> cada una, sobre las que se efectuaron la siembra y/o plantación de las cinco especies vegetales seleccionadas.

**Instrumentos de recolección de datos**

Observación comparativa, formatos pre establecidos y equipos de medición de la reacción del suelo, temperatura, humedad y longitud de las plantas.

**Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Codificación con ayuda de la estadística descriptiva y análisis estadístico con el apoyo de la estadística inferencial.

**Características del área de ensayo**

La relavera está constituida por arena de grano relativamente fino y de diversas especies mineralógicas, predominando la ganga conformada por silicatos, andesita, pizarras, lutitas y cuarzo. Otro componente importante del relave son los sulfuros metálicos entre los que predomina la pirita, y en menor proporción arsenopirita, esfalerita, galena entre los detectables por simple inspección visual. El promedio del pH en pasta del material de la presa de relaves es 6,15 lo que corresponde al campo ácido ligero y corrobora la generación de ácido por oxidación de los sulfuros. Se ha determinado para la presa de relaves un potencial de neutralización (PN) de 20,15 kg CaCO<sub>3</sub>/TM, una acidez potencial total (PA) de 177,19 kg CaCO<sub>3</sub> / TM. El potencial neto de neutralización (PNN): PNN = - 157,04 kG CaCO<sub>3</sub> / TM

El cociente PN/PA es 0,11. El criterio de evaluación indica que si PNN, es menor o igual a - 15, o si la proporción (PN)/(PA) < 1 el sistema generará aguas ácidas. Por tanto, siendo el valor PNN mucho menor que -15 y el cociente PN/PA menor a 0,11; la relavera tiene un alto potencial de generación de ácido. (Espinoza, P. 2 007, 187).

### Selección de las especies vegetales

De acuerdo a la descripción de los componentes biológicos (flora) (Espinoza, P. 2 007, 116), reporta la identificación de 31 especies vegetales nativas en las inmediaciones de la planta concentradora y presa de relaves; de las cuales menciona seis entre las que evidencian mayor frecuencia, adaptación y vigor, en el siguiente orden: 'kikuyo', 'amor seco' o 'shillco', 'anís silvestre', 'canchalagua', 'malva silvestre' y 'cebadilla'.

Para seleccionar las especies vegetales utilizadas en el presente trabajo se ha tomado en cuenta las tres primeras especies vegetales complementándolas con el 'diente de león' (*Taraxacum officinale*) y el 'ray gras' italiano (*Lolium multiflorum*) en asociación con el 'trébol' (*Trifolium sp.*), en función de sus características de rusticidad, perennidad y cobertura. En el caso de la asociación 'ray gras' - 'trébol', este último, por ser una especie leguminosa fijadora del nitrógeno atmosférico, se ha utilizado con el único propósito de mejorar la fertilidad del suelo en beneficio de la primera (perenne).

### Preparación de sustrato, traslado al área de ensayo y acondicionamiento

El sustrato se preparó con tierra agrícola zarandeada, turba agrícola, previamente desmenuzada y zarandeada y arena gruesa; mezcladas de manera uniforme en proporción de 1,5

: 1.0 : 0.5 respectivamente. La muestra del sustrato es de textura franco-arenosa, se caracteriza por tener una reacción ligeramente ácida, rica en materia orgánica, nitrógeno y fósforo; pobre en potasio y libre de problemas de salinidad.

### Conformación de las capas.

En orden descendente se dispusieron cuatro capas:

- Primera capa superior expuesta, 20 cm de sustrato.
- Segunda capa, 10 cm de arcilla finamente zarandeada y compactada. (impermeabilizante).
- Tercera capa, 5 cm de cal agrícola compactada.
- Cuarta capa, 10 cm de mezcla compactada de relave y cal agrícola.

Por debajo de las cuatro capas subyace el depósito de relave.

### Siembra y/o trasplante de las especies seleccionadas

Se procedió a la siembra y/o trasplante de las especies vegetales prometedoras previamente seleccionadas de acuerdo a la siguiente distribución:

- Asociación 'ray grass + trébol', 10 m<sup>2</sup> (2m x 5m)
- 'Anís silvestre', 10 m<sup>2</sup> (2m x 5m)
- 'Kikuyo', 10 m<sup>2</sup> (2m x 5m)
- 'Diente de león', 5 m<sup>2</sup> (2m x 2,5m)
- 'Amor seco', 5 m<sup>2</sup> (2m x 2,5m)

**Tabla 2.** Evaluaciones periódicas del proceso de instalación

Evaluación	Periodo	Etapas del proceso
1ª Evaluación	A 15 días	Proceso de germinación y prendimiento
2ª Evaluación	A 45 días	Evolución de especies implantadas
3ª Evaluación	A 86 días	Determinación de densidad y frecuencia de especies
4ª Evaluación	A 106 días	Verificación de sobrevivencia y altura de especies
5ª Evaluación	A 134 días	Verificación de sobrevivencia, frecuencia, altura y vigor
6ª Evaluación	A 147 días	Inventario, verificación de sobrevivencia, frecuencia, altura, vigor, cobertura, longitud de raíces y volumen de biomasa.

## RESULTADOS

En el siguiente cuadro se resumen los resultados obtenidos de las evaluaciones:

**Tabla 3.** Resultados de las evaluaciones

PARAMETRO	1er. lugar	2do. lugar
Nº de plantas/dm <sup>2</sup>	'Ray grass' = 28,67	'Anis silvestre' = 20,33
Biomasa (g/dm <sup>2</sup> )	'Amor seco' = 29,29	'Ray grass-trébol' = 13,17
Diámetro de tallo (mm)	'Kikuyo' = 5,07	'Amor seco' = 4,53
Cobertura (cm <sup>2</sup> /unidad)	'Kikuyo' = 127,00	'Ray grass' = 64,43
Profundidad de raíces (cm)	'Amor seco' = 14,13	'Kikuyo' = 7,50
Tamaño de planta (cm)	'Ray grass' = 31,37	'Amor seco' = 30,33

## DISCUSIÓN

### Número de plantas

No siempre el número de plantas por unidad de superficie es la variable que incidirá decididamente en la selección de la especie; pues existen especies con escasa distribución espacial numérica que cubren grandes espacios de suelo de manera óptima y permanente.

### Biomasa

El 'amor seco', especie temporal y precoz entre seis a siete meses disemina sus semillas para dar paso a la descendencia. Adquiere rápidamente un alto volumen de biomasa frente a las otras especies de mas lento desarrollo, especialmente cuando se trata de especies perennes como el 'ray grass-trébol' y 'kikuyo' que en el largo plazo pueden superar los volúmenes de generación de materia orgánica aérea y subterránea.

El 'amor seco', al cumplir su ciclo de vida al inicio de la época de estiaje, se incorpora en la superficie del suelo cumpliendo parcialmente con la función de protección contra la erosión hídrica y eólica hasta la regeneración de la nueva descendencia en el siguiente periodo lluvioso; en tanto el 'ray grass-trébol' y el 'kikuyo' permanecen siempre vivos en el área de recuperación por su capacidad para tolerar periodos prolongados de sequía, cumpliendo a cabalidad con su función de protección.

### Diámetro de tallo

El 'kikuyo' es la especie que tiene el promedio más alto de diámetro del tallo. Esta especie acumula abundante biomasa aérea y subterránea por tratarse de una especie perenne, presenta un vigor envidiable y una

alta capacidad para tolerar condiciones adversas de clima (sequías y heladas) y suelo, seguida en orden de prioridad por el amor seco, especie temporal y precoz que acumula grandes volúmenes de biomasa pero que en épocas de estiaje no cumple a cabalidad con la función de protección del suelo.

El 'ray grass' especie perenne que además de generar grandes volúmenes de biomasa presenta un alto grado de vigor merced a su colaboración y a la significativa longitud de sus hojas además del propio diámetro del tallo.

### Cobertura

El 'kikuyo' presenta el más alto promedio de cobertura de suelo con 127 cm<sup>2</sup> de superficie por planta; debido a su característica rastrera para el crecimiento y propagación incluso sobrepasó el área de evaluación de 100 cm<sup>2</sup>, merced a la emisión sucesiva de estolones y rizomas como dispositivos de propagación natural que se entrelazan entre sí formando una densa red de tallos sobre el nivel del suelo y a escasos centímetros de altura, formando una excelente y permanente capa protectora del suelo debido a su carácter perenne.

Otra especie que alcanzó el segundo promedio más alto en materia de cobertura fue el 'ray grass' con 64,43 cm<sup>2</sup>, la misma que por tratarse de una especie perenne presenta una significancia de sumo interés en trabajos de revegetación, seguida inmediatamente por el trébol con 41,83 cm<sup>2</sup> de cobertura promedio, que instalada en asociación 'ray grass-trébol' cumple una excelente función protectora.

### Profundidad de las raíces

El 'kikuyo' presenta el menor promedio de

desarrollo vertical de las raíces con 7,50 cm de profundidad pero con un amplio rango de distribución lateral de sus raíces, seguido del 'ray grass' con 7,80 cm de profundidad en promedio y también con un amplio rango de distribución lateral densa. De acuerdo a los criterios recomendados una menor profundidad de raíces es recomendable para cobertura vegetal.

#### Tamaño de plantas

El 'ray grass' muestra el promedio más alto en tamaño de plantas con 31,37 cm de longitud, seguido del anís silvestre con 30,33 cm. Lo ideal sería utilizar plantas de buen tamaño pero de raíces superficiales, de manera que se obtenga considerables volúmenes de biomasa y obvие el riesgo de toxicidad para que el sistema sea sostenible en el tiempo.

### CONCLUSIONES

1. El 'kikuyo', especie perenne con características de alta tolerancia a condiciones extremas de clima (sequías y heladas) y suelos de baja fertilidad, es la especie que evidencia el mejor comportamiento en el área de ensayo, pues presenta el promedio más alto en cuanto a diámetro del tallo, el promedio más alto en cuanto a cobertura de suelo y el promedio más bajo en profundidad de raíces y con una distribución lateral amplia.

El 'ray grass', especie perenne con características de amplio rango de distribución térmica y altitudinal tolerante a condiciones extremas de sequías y heladas, es la especie que presenta los más altos atributos en: número de plantas por unidad de superficie y tamaño de planta; ocupa el segundo promedio más alto en asociación con el trébol en producción de biomasa, el segundo promedio más alto en cobertura de suelo y el segundo promedio más bajo en profundidad de raíces.

El 'amor seco', especie precoz de carácter temporal no tolerante a condiciones de sequías y heladas, es la siguiente especie que en orden de prioridad presenta el más alto promedio en biomasa y profundidad de raíces, el segundo promedio más alto en diámetro de tallo y el tercer promedio más alto en número y tamaño de plantas. Por ser una especie pionera, se caracteriza por tener un ciclo de vida muy corto, periodo en el que logra su máximo desarrollo y madurez, luego del cual disemina sus semillas

para dar paso a la siguiente regeneración; pero tiene la desventaja de mantener el suelo parcialmente expuesto a la acción negativa del agua y del viento en el periodo de estiaje.

2. El 'anís silvestre' es la siguiente especie que en orden de prioridad destaca en los siguientes atributos: ocupa el segundo promedio más alto en número, tamaño de plantas y profundidad de raíces, el penúltimo lugar en producción de biomasa, el último en desarrollar el diámetro de tallo y el último en capacidad de cobertura de suelo. Asimismo, tiene la desventaja de ser una especie precoz de carácter temporal que al cumplir su periodo de vida deja el suelo parcialmente descubierto dejándolo a merced de la acción del agua y del viento.
3. El 'trébol', especie perenne de un amplio rango de distribución térmica y altitudinal, es la penúltima que en orden de importancia evidencia los siguientes atributos: presenta el segundo promedio más alto en producción de biomasa (en asociación con el 'ray grass'), el tercer promedio más alto en cobertura de suelo, el cuarto promedio más alto en profundidad de raíces, el quinto promedio más alto en diámetro de tallo y el promedio más bajo en número y tamaño de plantas. En trabajos de revegetación siempre se le utiliza en asociación con el 'ray grass', dada su alta capacidad de fijar nitrógeno atmosférico para mejorar la fertilidad del suelo.
4. Finalmente, el 'diente de león', planta perenne de amplio rango de distribución térmica y altitudinal es la especie que en orden de prioridad ocupa el último lugar al presentar los atributos menos favorables como: el segundo promedio más alto en profundidad de raíces que pone en riesgo la estabilidad de la población de su especie debido a la toxicidad que representa el relave, el cuarto promedio más alto en diámetro de tallo, cobertura de suelo y tamaño de plantas, el segundo promedio más bajo en número de plantas y el promedio más bajo en producción de biomasa.
5. En consecuencia, las especies materia de ensayo que presentan los mejores atributos para efectuar trabajos de remediación ambiental a través de técnicas de revegetación o fitoestabilización, en orden de prioridad, son: el 'kikuyo' y el 'ray grass' en asociación con 'trébol'. Ambas son perennes y presentan un amplio rango de distribución térmica y altitudinal entre otras.

## AGRADECIMIENTOS

Los investigadores agradecen a la Comisión Especial de Administración de las Plantas concentradoras de la UNASAM, por las facilidades brindadas durante la ejecución de la investigación, así como a los profesionales que colaboraron con sus valiosos aportes y sugerencias.

Asimismo hacemos extensivos los agradecimientos al Laboratorio de Calidad Ambiental de la FCAM – UNASAM, al Laboratorio de Suelos de la FCA-UNASAM.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliaga, Edell, 2003. Biorremediación del agua de relave minero de la planta concentradora Santa Rosa de la UNASAM – Jangas, por tratamiento con quitina de crustáceos, 2001 – 2002. Huaraz. Tesis de Maestría UNASAM.
- Borgo, Gumercindo y Galloway, Gleen, 1983. Manual de viveros forestales en la sierra peruana. Lima. INFOR.
- Espinoza, Pablo, 2007. Propuesta del plan ambiental de cierre y abandono de la Planta Concentradora Santa Rosa de Jangas – UNASAM. Huaraz. Tesis de Maestría UNASAM.
- Fitoestabilización de relaves: Metales atrapados en una raíz: <http://www.ecoamerica.cl>
- Hitos de la evolución de la industria en el mundo: Fitoestabilización de relaves – Metales atrapados en una raíz. Extraído de <http://www.Innovamineria.cl>
- Ginocchio, Rosana, 2005. Tecnología de fitoestabilización en Chile: Un aporte al cierre y abandono de relaves mineros. Santiago. Chile: Punto Minero N° 7.
- Ministerio de Energía y Minas (MINEM), 1989. Guía de vegetación para las áreas disturbadas por la industria minero-metalúrgica. Lima.
- Ministerio de Energía y Minas (MINEM), 1997. Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Desechos Sólidos de Mina. Lima.
- ONERN, 1973. Estudio de Suelos del Callejón de Huaylas. Lima.
- ONERN, 1982. Clasificación de las tierras del Perú. Lima.
- ONERN, 1995. Mapa Ecológico del Perú – Guía explicativa. Lima.
- Tarazona, Aldo., 2005. Uso de indicadores ambientales para evaluar la fragilidad de la zona inmersa en la planta de tratamiento Santa Rosa de Jangas. Huaraz. Tesis de Maestría UNASAM.
- Tecnología de fitoestabilización en Chile: Un aporte al cierre y abandono de depósitos de relaves mineros. Extraído de <http://www.minmineria.cl>
- Uso de recursos fitogenéticos nativos para la fitoestabilización de relaves mineros en la región de Coquimbo. Extraído de <http://www.endenproject.com>

### Correspondencia:

Prudencio Hidalgo Camarena  
Jr. San Martín 671 - Huaraz  
043-424463  
[celhica@hotmail.com](mailto:celhica@hotmail.com)

## ANEXO

### PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 1. Sexta evaluación del número, tamaño, diámetro, biomasa, profundidad de raíces y cobertura



Figura 2. Vista del área de ensayo, una vez finalizadas las evaluaciones