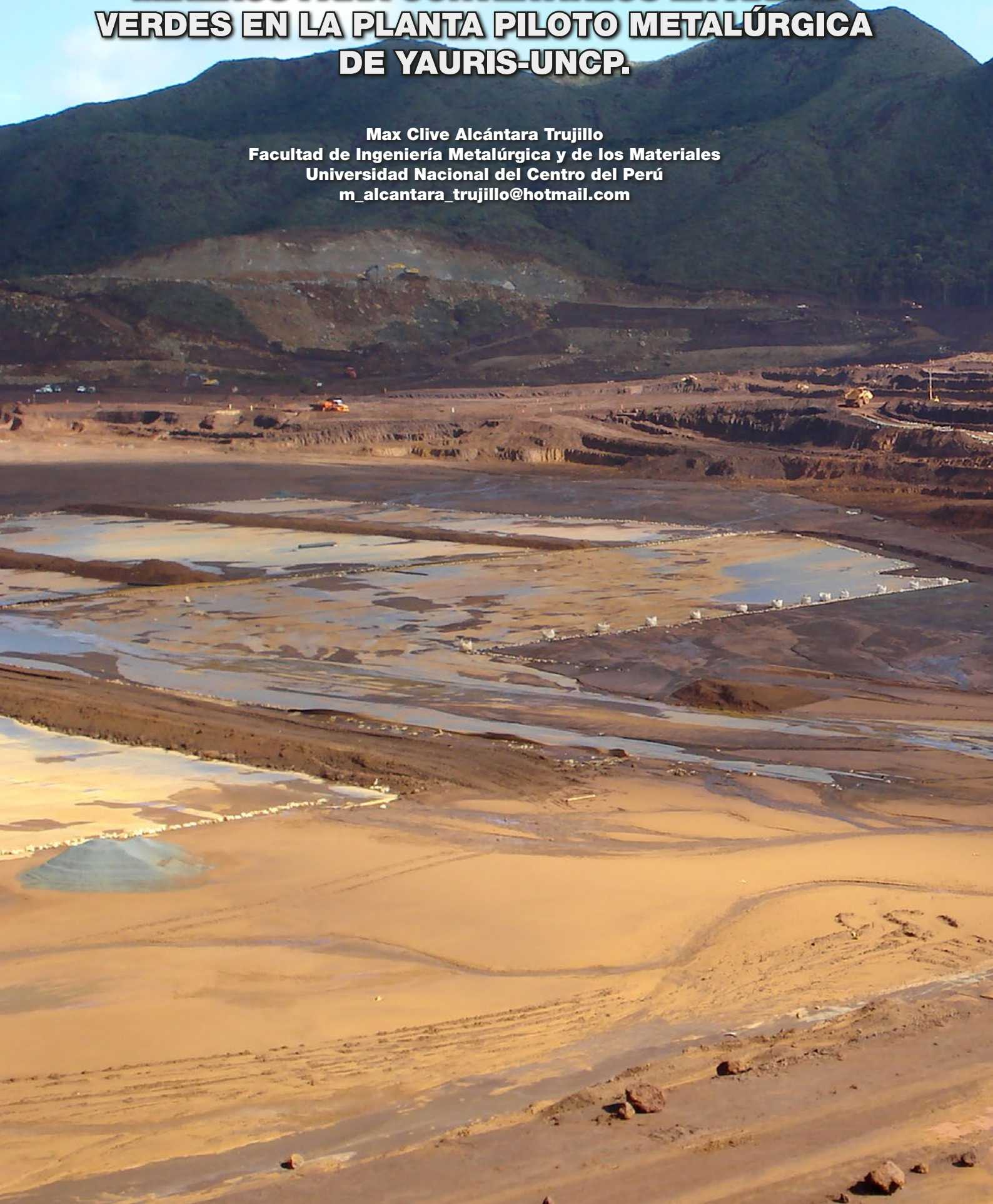


# **RECUPERACIÓN DE SUELOS DE RELAVES MINEROS PARA CONVERTIRLOS EN ÁREAS VERDES EN LA PLANTA PILOTO METALÚRGICA DE YAURIS-UNCP.**

**Max Clive Alcántara Trujillo**  
**Facultad de Ingeniería Metalúrgica y de los Materiales**  
**Universidad Nacional del Centro del Perú**  
**m\_alcantara\_trujillo@hotmail.com**





## Resumen

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 presente trabajo es el estudio de la problemática ambiental en la planta piloto metalúrgica de Yauris perteneciente a la Universidad Nacional del Centro del Perú (Junín). La configuración que presenta el área de operación y el resultado de la acción de la erosión forman parte del área en estudio que esta conformado por la disposición de relaves de las diferentes pruebas de pilotaje realizados en este centro de investigaciones metalúrgicas. Como resultado de los estudios de las evaluaciones desarrollados sobre la calidad de las arenas residuales deducimos que el lugar de estudio es recuperable y que por su característica físico-químico de los relaves mencionados y su manejo inadecuado representan un alto riesgo de contaminación.

**Palabras clave:** recuperación, suelos, relaves mineros.



## Summary:

Mining operations are related to the search, prospecting, exploration, development, extraction and concentration of minerals; They are potential pollution in surrounding areas. In this regard we consider important to study environmental problems and acid drainage that occur as a result of environmental exposure both of abandoned dumps and old tailings.

The present work is the study of environmental problems in the metallurgical Yauris pilot plant belonging to the National University of Central Peru (Junin). The configuration having the area of operation and the result of the action of erosion are part of the study area is comprised of tailings disposal of the various pilot tests conducted in this metallurgical research center. As a result of the studies developed assessments of the quality of waste sands we conclude that the study site is recoverable and that its physical-chemical characteristic of the mentioned tailings and improper handling represent a high risk of contamination.

**Keywords:** Recovery, soils, mine tailings.

## Historial del artículo

**Recibido:** 18 de setiembre de 2015

**Aprobado:** 27 de noviembre de 2015

**Disponible:** 16 de diciembre de 2015

## INTRODUCCIÓN

El estudio realizado de la contaminación ambiental en la zona de relaves de la planta metalúrgica de Yauris, determina que es originado por los efluentes de las diferentes operaciones de pruebas metalúrgicas realizadas con fines de estudios metalúrgicos de varias minas de la región central del Perú y que fué utilizada como depósito de relaves por más de 40 años, además sus aguas filtradas eran enviadas hacia el río Mantaro los cuales son utilizados con fines hidroenergéticos para la Central Hidroeléctrica de Campoarmíño.

El área muestra problemas de deterioro ambiental de responsabilidad de la Universidad Nacional del Centro del Perú de acuerdo a la evaluación realizada sobre la calidad físico química de los relaves mineros es posible su recuperación cumpliendo los objetivos trazados en el presente trabajo.

Al final del estudio se plantea una serie de alternativas con la finalidad de preservar la calidad de drenaje de agua y las limitaciones para la restauración de la vegetación. El objetivo de recuperar la capacidad vegetativa de los suelos de relaves requiere de un estudio previo de las propiedades físicas del suelo, textura, compactación del suelo, estabilidad de los agregados, erosión, ángulo y orientación de las pendientes, las propiedades químicas del suelo : pH, sales solubles, limitaciones de los nutrientes y las propiedades biológicas del suelo.

En tal sentido el estudio esta orientada a la adaptación de plantas forestales y pastos con el fin de recuperar suelos de relaves mineros de la planta piloto metalúrgica de Yauris.

### A. Ubicación del campo experimental

Este trabajo experimental se llevó a cabo en la Cancha de Relaves de la Planta Piloto Metalúrgica de Yauris. El sistema de almacenamiento de relaves es río arriba cuya base está construida con material de grava y piedras compactadas, tiene una longitud de 50 metros, ancho de cresta de 2 metros y una altura de 2 metros. Asimismo, esta cancha de relaves tiene una pendiente de 25°.

### B. Analisis físico-químico del suelo de relaves y aguas

Se tomaron muestras de suelos de relaves, los que fueron enviados a la Universidad Agraria de la Molina (Lima) para sus análisis respectivos. De igual manera, se tomaron muestras de aguas y se mandaron a analizar.

### C. Disposicion experimental

\*DISEÑO EXPERIMENTAL: Se estudiaron 27 tratamientos en Bloques completamente randomizados (BCR).

## MARCO TEÓRICO

### Minería y medio ambiente

Ante la importancia que merece el cuidado del medio ambiente como patrimonio de la humanidad, el gobierno peruano ha dispuesto medidas cautelarias y de protección para los diferentes sectores comprometidos en esta problemática.

### La Constitución Política y el Medio Ambiente.

La nueva Constitución Política de 1993, aprobada por referéndum incorpora algunas normas ambientales bajo el Capítulo “Del Ambiente y los Recursos Naturales”. Este incluye una disposición que confirma el derecho humano a “gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida” y configura una necesaria voluntad del gobierno de proteger el ambiente promoviendo el uso sostenible de los recursos naturales.

### El ministerio del ambiente (MINEM)

El cumplimiento de lo dispuesto por la Constitución requería de un plan nacional coherente motivo por el cual en el año 2005 se creó el Ministerio del Ambiente.

### El ministerio de energía y minas (MEM)

El MEM considerando que el sector minero es uno de los principales agresores del Medio Ambiente. Emitió las primeras disposiciones en marzo de 1992 que en primer término crearon la Dirección General de Asuntos Ambientales (DGAA), que a su vez brindó las primeras normas sobre esta materia, lo que ha motivado a las empresas a iniciar la implementación del mecanismo de corrección, mitigación y prevención de la contaminación del medio ambiente en el que desarrollan sus actividades.

### Estándares ambientales o límites máximos permisibles

Hasta 1991 los únicos estándares de contaminación eran los de calidad de agua establecidas en la Ley General de Aguas de 1969.

En el caso del MEM, para la actividad minera se encuentran vigentes los estándares para efluentes líquidos y de emisiones gaseosas.

### Niveles máximos permisibles de emisión para las unidades minero metalúrgicas

Tabla 1. A

PARAMETROS		VALOR EN CUALQUIER MOMENTO	VALOR PROMEDIO ANUAL
pH		> QUE 6 Y < 9	> QUE 6 Y < 9
Sólidos Suspendidos	mg/l	50	25
Arsénico	mg/l	1,0	0,5
Cobre	mg/l	1,0	0,8
Hierro	mg/l	2,0	1,0
Plomo	mg/l	0,4	0,2
Cinc	mg/l	3,0	1,0
Cianuro	mg/l	1,0	1,0

### VALORES LIMITES PARA LA PRESERVACION DE LAS AGUAS

#### LEY GENERAL DE AGUAS D.L. 17752

#### Modificatoria al Reglamento D.S. N° 007-83-SA

Tabla 1. B

Parametros	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V	Clase VI	Expresado en:
pH	5-9	5-9	5-9	5-9	5-9	5-9	mg/l
Arsénico	0,10	0,10	0,20	1,00	0,01	0,05	mg/l
Cadmio	0,01	0,01	0,05	--	0,0002	0,004	mg/l
Cromo	0,05	0,05	1,00	5,00	0,05	0,05	mg/l
Cianuro	0,20	0,20	0,005	--	0,005	0,005	mg/l
Cobre	1,00	1,00	0,50	3,00	0,01	*	mg/l
Hierro	0,30	0,30	1,00	--	--	1,00	mg/l
Mercurio	0,002	0,002	0,01	--	0,0001	0,0002	mg/l
Manganeso	0,10	0,10	0,50	--	--	0,50	mg/l
Plomo	0,05	0,05	0,10	--	0,01	0,03	mg/l
Zinc	5,00	5,00	25,00	--	0,020	**	mg/l
Plata	0,05	0,05	0,05	--	--	0,05	mg/l

\* Pruebas de 96 horas LC.50 multiplicadas por 0,10

\*\* Pruebas de 96 horas LC.50 multiplicadas por 0,02

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales

- 0 Envases de plástico
- 0 Envases de vidrio
- 1 Kit de Análisis Químico
- 2 Computadora
- 3 Suelos de relaves mineros.

### Métodos:

La metodología empleada fundamentalmente es experimental en su primera parte, cuya planificación se va mostrando a continuación y luego de las pruebas de laboratorio, la presentación y discusión de los resultados.

### DISPOSICION EXPERIMENTAL.

**Diseño experimental:** Se estudiaron 27 tratamientos en Bloques completamente randomizados (BCR).

### CONDUCCION DEL EXPERIMENTO

- \* **Muestreo:** Se tomaron muestras de la cancha de relave en forma aleatoria. Cada muestra estuvo constituida por 1 kg. de suelos de relave. Luego, se homogenizaron; de los cuales se obtuvieron dos compósitos y se enviaron a la localidad de Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina, al Departamento de Suelos y Fertilizantes, para sus respectivos análisis.
- \* **Selección de plantas:** Hecha la revisión bibliográfica, se consultó la disponibilidad de plantas en PRONAMA-CHCS-Junín a través de sus viveros forestales, de los cuales se eligieron el Colle, Quisuar y el Ciprés.
- \* **Preparación del campo experimental:**
  - Se cercó el campo experimental con alambres de púas con el fin de darle protección y seguridad a las plantas.
  - Se excavaron pozos con diámetro de 30 centímetros con una profundidad de 40 centímetros. En total, por

cada repetición se prepararon 27 pozos.

- Se condujeron tres repeticiones: Dos en el campo experimental (suelos de relave) y uno en laboratorio (Macetas con suelos de relave, ubicados en la periferia de la Planta Metalúrgica).
- Se hicieron tres tipos de tratamientos:
  - A. Con relave solo.
  - B. Relave + 1 Kg. de cal + 0.850 kg. de humus.
  - C. Relave + 2 Kg. de cal + 1.700 kg. De humus.

**Transplante de plantas:** Las plantaciones adquiridas de PRONAMACHCS-Junín se transplantaron en las pozas preparadas y tratadas de acuerdo al arreglo de campo correspondiente. Los plántones sobrantes se acondicionaron en un pequeño vivero.

**\* Labores culturales:**

RIEGO: Se estableció un calendario de riego.

ESCARDAS: Se removió la capa superficial del suelo.

**\* Siembra de cobertura vegetal:** Se sembró el trébol rojo.

**\* Identificación de tratamientos en estudio:** Se prepararon y se colocaron carteles de identificación para cada tratamiento en estudio.

**REGISTRO DE DATOS:**

- \* **Prendimiento de plantas:** Esta evaluación se registró varias veces.
- \* **Altura de plantas:** Esta evaluación se realizó a todas las plantas en estudio.
- \* **Evaluación comparativa de los análisis físico-químicos:** Se analizaron y clasificaron los resultados de laboratorio.

## RESULTADOS

Se muestran a continuación:

**Análisis de aguas:**

Muestras 1 y 2. Analizados en la Universidad Agraria La Molina-Lima.

	No. 1	No. 2
CE (mmhos/cm) :	0.50	0.66
pH :	5.0	6.50
<b>CATIONES :</b>	(4.97 me/l)	(7.13 me/l)
Ca (me/l) :	3.84	5.02
Mg (me/l) :	0.66	1.53
Na (me/l) :	0.36	0.50
P (me/l) :	0.11	0.08
<b>ANIONES :</b>	(5.00 me/l)	(6.67 me/l)
Nitratos (me/l) :	0.00	0.60
Carbonatos (me/l) :	0.00	0.00
Bicarbonatos (me/l) :	2.18	2.55
Sulfatos (me/l) :	1.67	3.02
Cloruros (me/l):	1.15	0.50
Sodio (%) :	7.24	21.45
Boro (ppm) :	0.60	0.40

Los resultados nos muestran un pH ácido con presencia de sulfatos (1.67-3.02 me/l), bicarbonatos (2.18-2.55 me/l), nitratos (0.60 me/l) y cloruros (0.50-1.15 me/l).

Muestra 3. Analizados en la Universidad Nacional Agraria de la Molina, Laboratorio de Absorción Atómica, del cual se obtuvo los siguientes resultados:

pH a 15 °C	6.83
Temperatura	15 °C
Turbiedad	3.5 N.T.U.
Cobre	0.03 ppm.
Plomo	0.40 ppm.
Zinc	0.09 ppm.
Fierro	0.63 ppm.
Sólidos en suspensión	120 mg/l.
Sólidos totales	120 ppm.
Arsénico	0.09 ppm.
Nitrógeno proteico	0.01 ppm.
Materia orgánica	0.06 ppm.
Sulfatos	15.00 ppm.
Magnesio	21.04 ppm.
Sales solubles totales	98 ppm.
Dureza total	158 ppm.

Estos resultados nos muestran con un pH ligeramente ácido con presencia de ciertos elementos contaminantes como el arsénico, sulfatos, sólidos en suspensión, grasas dentro de la materia orgánica, cianuro dentro de los iones, y metales como: Cobre, Plomo, Zinc y Fierro.

**Análisis físico-químico del suelo de relaves (Antes de la conducción del experimento)**

Las muestras correspondientes a suelos de relave, analizadas antes de realizar el experimento arrojaron los siguientes resultados:

	COMPOSITO No.1	COMPOSITO No. 2
CE (mmhos/cm)	2.21	2.44
Arena (%)	92.00	86.00
Limo (%)	6.00	12.00
Arcilla (%)	2.00	2.00
pH	5.20	6.00
CaCO <sub>3</sub> (%)	11.85	13.00
MO (%)	0.34	0.38
P (ppm)	2.50	3.10
K <sub>2</sub> O (kg/ha)	547.00	399.00
ClC	6.00	5.00
Ca++	5.33	4.44
Mg++	0.18	0.14
K++	0.30	0.26
Na++	0.19	0.16

**Análisis granulométrico:**

MALLA	% PESO	% PASIN
+48	25.99	74.01
+65	17.10	56.91
+100	21.18	35.73
+150	21.01	14.72
+200	10.22	4.50
+270	3.97	0.53
+325	0.13	0.40
+400	0.19	0.21
-400	0.21	0.00

### Análisis físico-químico del suelo de relaves (Después de la conducción del experimento)

A continuación, se presentan cuadros comparativos entre tres resultados de análisis de suelos de relaves.

MUESTRA 1: Muestras de relave solo.

MUESTRA 2: Muestra de relave con 5% de cal y 5% de humus.

MUESTRA 3: Muestras de relave con 10 % de cal y 10% de humus.

Textura del suelo:

Tabla 1. Clase textural %

Arena	89.00
Limo	0.90
Arcilla	2.00

Según el triángulo de texturas, guías para la clasificación norteamericana para texturas de suelos USDA, los resultados nos indican que se trata de un suelo de relaves tipo arenoso.

Tabla 2. pH del suelo.

TIPO	RANGO	VALORACIÓN
Muestra 1	5.89	Fuertemente ácido
Muestra 2	6.85	Ligeramente ácido.
Muestra 3	7.11	Neutro.

Los resultados obtenidos con respecto al pH del suelo nos muestran que la muestra N0.1 tiene un pH fuertemente ácido (pH=5.89) el que nos indica presencia de diferentes ácidos. Con una enmienda del 5% de cal, estos suelos elevan su pH a 6.85 valorándose en un rango de ligeramente ácido, y a un incremento del 10 % de enmienda con cal viva (CaO) el suelo se neutraliza en su pH, con el que se consigue favorecer la adsorción y absorción de las bases intercambiables.

Tabla 3. Materia orgánica (MO) :

MUESTRAS	%	VALORACIÓN
Muestra 1	0.36	Extremadamente pobre.
Muestra 2	0.88	Pobre.
Muestra 3	1.09	Moderadamente pobre

Los resultados de materia orgánica nos indican que los relaves son suelos con un contenido de materia orgánica muy bajo (0.36) por lo que se le da una valoración de extremadamente pobre. Con la aplicación del 5 % de humus mejora el % de materia orgánica a 0.88 y con 10 % de humus se eleva al 1.09 %. Ambos se presentan en un nivel de pobre a moderadamente pobre respectivamente.

Tabla 4. Fósforo (P)

TIPO	(ppm)	VALORACIÓN
Muestra 1	2.75	Bajo
Muestra 2	2.80	Bajo
Muestra 3	2.90	Bajo

Como podemos observar en el cuadro, las muestras de los tratamientos aplicados no responden favorablemente, siendo considerados éstos dentro de la clasificación de Olsen, como contenidos de fósforo bajo.

Tabla 5. Potasio (K)

TIPO	(ppm)	VALORACIÓN
Muestra 1	11.50	Extremadamente pobre.
Muestra 2	11.70	Extremadamente pobre.
Muestra 3	11.80	Extremadamente pobre.

De acuerdo al método analizado del espectrofotómetro, los resultados de las tres muestras nos indican que su clasificación es extremadamente pobre a pesar del tratamiento aplicado.

Tabla 6. Carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>):

TIPO	%	VALORACION
Muestra 1	12.60	Medio.
Muestra 2	16.80	Medio.
Muestra 3	20.93	Medio

Se acuerdo a los resultados mostrados, el suelo sin tratamiento tiene 12.60 % de CaCO<sub>3</sub> considerado en una escala de valoración media. Con los tratamientos realizados éstos se incrementan en 16.80 % a 20.93 % respondiendo a un tratamiento con 5 % y 10 % de cal y humus, respectivamente. Por lo que estos resultados son considerados aceptables.

Tabla 7. Nitrógeno-fósforo-potasio.

N.total	N. Aprov.	P	K	
Kg/ha.	Kg/ha.	ppm	ppm	VALORACION
Muestra 1 78.00	1.95	2.75	11.50	Pobre.
Muestra 2 234.00	5.85	2.80	11.70	Pobre.
Muestra 3 286.00	7.50	2.90	11.80	Pobre.

Analizando los tres macroelementos principales, deducimos que el nitrógeno aprovechable, el fósforo y el potasio se encuentran en forma deficiente en una escala de valoración pobre.

Indicamos que para los resultados obtenidos es necesario tener en cuenta que para mantener un crecimiento sano de la planta, es necesario que el suelo posea mayor contenido del N, P, K, para satisfacer las necesidades individuales de los cultivos.

## DISCUSIÓN

- Según el triángulo de texturas, guías para la clasificación norteamericana para texturas de suelos USDA, los resultados nos indican que se trata de un suelo de relaves tipo arenoso.

- Los resultados obtenidos con respecto al pH del suelo nos muestran que la muestra No.1 tiene un pH fuertemente ácido (pH=5.89) el que nos indica presencia de diferentes ácidos. Con una enmienda del 5% de cal, estos suelos elevan su pH a 6.85 valorándose en un rango de ligeramente ácido, y a un incremento del 10% de enmienda con cal viva (CaO) el suelo se neutraliza en su pH, con el que se consigue favorecer la adsorción y absorción de las bases intercambiables
- Los resultados de materia orgánica nos indican que los relaves son suelos con un contenido de materia orgánica muy bajo (0.36) por lo que se le da una valoración de extremadamente pobre. Con la aplicación del 5 % de humus mejora el % de materia orgánica a 0.88 y con 10 % de humus se eleva al 1.09 %. Ambos se presentan en un nivel de pobre a moderadamente pobre respectivamente
- Como podemos observar en el cuadro, las muestras de los tratamientos aplicados no responden favorablemente, siendo considerados éstos dentro de la clasificación de Olsen, como contenidos de fósforo bajo.
- De acuerdo al método analizado del espectrofotómetro, los resultados de las tres muestras nos indican que su clasificación es extremadamente pobre a pesar del tratamiento aplicado.
- Se acuerdo a los resultados mostrados, el suelo sin tratamiento tiene 12.60 % de CaCO<sub>3</sub> considerado en una escala de valoración media. Con los tratamientos realizados éstos se incrementan en 16.80 % a 20.93 % respondiendo a un tratamiento con 5 % y 10 % de cal y humus, respectivamente. Por lo que estos resultados son considerados aceptables.
- Analizando los tres macroelementos principales, deducimos que el nitrógeno aprovechable, el fósforo y el potasio se encuentran en forma deficiente en una escala de valoración pobre.
- Indicamos que para los resultados obtenidos es necesario tener en cuenta que, para mantener un crecimiento sano de la planta, es necesario que el suelo posea mayor contenido del N, P, K, para satisfacer las necesidades individuales de los cultivos.

## CONCLUSIONES

1. Es posible recuperar los suelos de relaves para destinarlos a otras actividades, pero a largo plazo, previa estabilización física, química y biológica y a un costo relativamente bajo.
2. Los suelos de relaves son de clase textural arenoso, que son caracterizados por si poca retención de humedad y poca habilidad para retener los nutrientes.
3. Los resultados de materia orgánica nos indican que los relaves son suelos con un contenido de materia orgánica muy bajo clasificado como moderadamente pobre.
4. El contenido de fósforo es bajo, el potasio es extremadamente pobre, es aceptable el carbonato de calcio; se incrementan los principales cationes como Ca<sup>++</sup> y el Na<sup>+</sup>, mientras que el Mg<sup>++</sup> y el K<sup>+</sup> no varían.

5. Con respecto al NPK, este es pobre. El Nitrógeno se pierde fácilmente por lixiviación; el fosforo reacciona rápidamente con otros elementos químicos del suelo; pero el potasio es retenido con facilidad en el suelo.
6. Se concluye que, para este tipo de suelos de relaves, el tratamiento con un 10 % de encalado en la parte inferior y con humus al 10 % da mejores resultados para el desarrollo del colle y el quishuar.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda dar estabilidad física a las canchas de relaves mineros.
2. Se recomienda canalizar las aguas pluviales alrededor de las canchas de relaves mineros.
3. Se recomienda disminuir las pendientes de los taludes y estabilizarlos.
4. Se recomienda preparar las canchas de relave tanto en talud como en la cresta.
5. Se recomienda agregar una cubierta de tierra vegetal para aumentar su capacidad en N, P, K
6. Se recomienda agregar materia orgánica y sembrar pastos (trébol blanco o rojo).
7. Se recomienda agregar materia orgánica y sembrar plantas forestales (colle, trébol rojo o blanco) en la cresta.
8. Se recomienda programar labores culturales para un año.
9. Se recomienda programar vigilancia continua.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EVALUACIÓN AMBIENTAL AIRE, AGUA Y SUELO, PROVINCIA YAULI – La Oroya *unión para el desarrollo sustentable* – UNES – Consorcio EQUAS S.A., Mayo 2010.

EVALUACIÓN AMBIENTAL AIRE, AGUA Y SUELO, PROVINCIA YAULI – La Oroya *unión para el desarrollo sustentable* – UNES - Consorcio EQUAS S.A., Septiembre 2008.

EVALUACIÓN AMBIENTAL AIRE, AGUA Y SUELO, PROVINCIA YAULI – La Oroya *unión para el desarrollo sustentable* – UNES – consorcio EQUAS S.A., Septiembre 2008.

EVALUACIÓN AMBIENTAL AIRE, AGUA Y SUELO, PROVINCIA YAULI – La Oroya *unión para el desarrollo sustentable* – UNES - Consorcio EQUAS S.A., Mayo 2008.

ESPINOZA, G. (2001) "*Fundamentos de evaluación de impacto ambiental*", Banco Interamericano de Desarrollo – BID, Centro de Estudios para el desarrollo – CED, Santiago de Chile, Chile.

KANTER, L. W. (2010). "*Manual de evaluación de impacto ambiental. Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto ambiental*". McGraw Hill, Madrid, 2010.





DPTO. ASUNTOS AMBIENTALES

DEPOSITO  
DE RELAVES

DESPACIO  
OBRAS

PELIGRO