



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS
EN ESPECIES VEGETALES UTILIZADAS
PARA LA REMEDIACIÓN DE RELAVES EN
COMPAÑÍA MINERA COLQUIRRUMI”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Anthony Eduardo Cosavalente Plasencia

Winy Mirthle Medina Abanto

Asesor:

Mg. Deicy Noemí Sánchez Espinoza

Cajamarca – Perú

2017

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	14
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Antecedentes	17
2.2. Bases teóricas.....	20
2.2.1. Metales pesados en el ambiente.....	20
2.2.2. Movilización natural de los metales en el suelo	22
2.2.3. Efectos de los metales pesados en el suelo	23
2.2.4. Movilidad de metales en la planta	24
2.2.5. Tolerancia de las plantas hacia los metales pesados	26
2.2.6. Tecnologías para el cierre de depósitos de relave.....	28
2.2.7. Coeficiente de translocación entre raíz/planta.	40

2.2.8.	<i>Caracterización del área de estudios</i>	41
2.3.	Hipótesis	43
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA		44
3.1.	Operacionalización de variables	44
3.2.	Diseño de investigación	45
3.3.	Unidad de estudio	45
3.4.	Población	45
3.5.	Muestra	45
3.6.	Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	45
3.6.1.	<i>Localización del área de estudio.</i>	45
3.6.2.	<i>Cierre de relaves en Colquirrumi</i>	45
3.6.3.	<i>Colección de muestras</i>	48
3.6.4.	<i>Preparación de muestras</i>	49
3.5.3	Análisis de muestras	50
3.7.	Análisis estadístico.....	51
CAPÍTULO 4. RESULTADOS		52
4.1.	Identificación de las zonas de relave y las zonas naturales en Colquirrumi.	52
4.2.	Concentración de metales pesados en parte aérea y sistema radicular.	54
4.2.1.	<i>Concentración de plomo en Ray Grass en parte aérea y sistema radicular.</i>	54
4.2.2.	<i>Concentración de zinc en Ray Grass en parte aérea y sistema radicular.</i>	56
4.2.3.	<i>Concentración de cobre en Ray Grass en parte aérea y sistema radicular.</i>	58
4.2.4.	<i>Concentración de plomo en trébol rojo en parte aérea y sistema radicular.</i>	60
4.2.5.	<i>Concentración de zinc en trébol rojo en parte aérea y sistema radicular.</i>	62
4.2.6.	<i>Concentración de cobre en trébol rojo en parte aérea y sistema radicular.</i>	64

4.3.	Coeficiente de translocación entre raíz/planta.....	67
4.3.1.	<i>Factor de translocación para el Trébol Rojo</i>	<i>67</i>
4.3.2.	<i>Factor de translocación para el Ray Grass</i>	<i>68</i>
CAPÍTULO 5.	DISCUSIÓN.....	69
	CONCLUSIONES.....	69
	RECOMENDACIONES	72
	REFERENCIAS.....	73
	ANEXOS	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.	44
Tabla 2. Características del material de baja permeabilidad.	46
Tabla 3. Especies utilizadas para la revegetación.	47
Tabla 4. Análisis de varianza del plomo en la parte aérea del Ray Grass.	55
Tabla 5. Análisis de varianza del plomo en la parte radicular del Ray Grass.....	55
Tabla 6. Análisis de varianza de zinc en la parte aérea del Ray grass.	57
Tabla 7. Análisis de varianza de zinc en la parte radicular del Ray grass.....	57
Tabla 8. Análisis de varianza de cobre en la parte aérea del Ray Grass.	59
Tabla 9. Análisis de varianza de cobre en la parte radicular del Ray Grass.	59
Tabla 10. Análisis de varianza de plomo en la parte aérea del trébol rojo.	61
Tabla 11. Análisis de varianza de plomo en la parte radicular del trébol rojo.	61
Tabla 12. Análisis de varianza de zinc en la parte aérea del trébol rojo.....	63
Tabla 13. Análisis de varianza de zinc en la parte radicular del trébol rojo.	63
Tabla 14. Análisis de varianza de cobre en la parte aérea del trébol rojo.	65
Tabla 15. Análisis de varianza de cobre en la parte radicular del trébol rojo.	65
Tabla 16. FT para concentraciones de Cu, Pb, Zn en plantaciones de Trébol Rojo en suelo natural y de relavera N°4.....	67
Tabla 17. FT para concentraciones de Cu, Pb, Zn en plantaciones de Ray Grass en suelo natural y de relavera N°4.	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Movilidad y dinámica de los metales pesados en las plantas.	26
Figura N° 2. Esquema de Fitotecnologías que logran la recuperación del suelo contaminado.	39
Figura N° 3. Transporte apoplástico de elementos (S) en una raíz. La endodermis con tiras de Casparian (C) evita el transporte de elementos (A) mientras que en la punta de la raíz la ausencia de tiras de Casparian promueve el transporte (B) (Vara,	40
Figura N° 4. Coberturas en depósitos de relaves	48
Figura N° 5. Cuadrante para colección de muestras	48
Figura N° 6. Recolección de muestras (Trébol Rojo y Ray Grass) de suelo de relavera N°4 y suelo natural.....	49
Figura N° 7. Lavado de muestras, retirando los restos de suelo presentes en las raíces.	50
Figura N° 8. Separación de la parte aérea y radicular de la planta y su posterior secado en una estufa a 60°C.....	50
Figura N° 9. Raíces y parte aérea en tubos de ensayo con agregado de HNO ₃ , H ₂ O ₂ y agua desionizada para su procesamiento en un autoclave.	51
Figura N° 10. Composición de la cobertura de baja permeabilidad colocada en los depósitos de relave modificados en el último cierre de mina.	53
Figura N° 11. Área de estudio, lugar de donde se recolectaron 10 muestras de Trébol Rojo y 10 muestras de Ray Grass, tanto en suelo de relavera como en suelo natural.	53
Figura N° 12. Gráfica de barras que muestra la concentración de Pb en la parte aérea y radicular del Ray Grass tanto para muestras de suelo natural y de la Relavera N°4.	55
Figura N° 13. Gráfica de barras que muestra la concentración de Zn en la parte aérea y radicular del Ray Grass tanto para muestras de suelo natural y de la Relavera N°4.	57
Figura N° 14. Gráfica de barras que muestra la concentración de Cu en la parte aérea y radicular del Ray Grass tanto para muestras de suelo natural y de la Relavera N°4.	59
Figura N° 15. Gráfica de barras que muestra la concentración de Pb en la parte aérea y radicular del Trébol Rojo tanto para muestras de suelo natural y de la Relavera N°4.	61

Figura N° 16. Gráfica de barras que muestra la concentración de Zn en la parte aérea y radicular del Trébol Rojo tanto para muestras de suelo natural y de la Relavera N°4..... 63

Figura N° 17. Gráfica de barras que muestra la concentración de Cu en la parte aérea y radicular del Trébol Rojo tanto para muestras de suelo natural y de la Relavera N°4..... 65

RESUMEN

La investigación se desarrolló en la unidad minera Colquirrumi ubicada en el departamento de Cajamarca, provincia y distrito de Hualgayoc. En este lugar Compañía Minera Colquirrumi realizó el cierre de 04 depósitos de relave minero con una técnica de encapsulamiento, la cual consistió en asegurar su estabilidad física y química, hidrología del lugar, manejo de aguas de escorrentías.

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.

Finalmente, este trabajo demuestra a nivel general que los niveles de metales que se encontraron en el cierre de minas son menores a los que reportan los suelos naturales, sin embargo, más investigaciones deben ser realizadas.

ABSTRACT

The research was conducted at the Colquirrumi mining unit located in the department of Cajamarca, province and district of Hualgayoc. In this place Compañía Minera Colquirrumi closed up 04 deposits of mine tailings with an encapsulation technique, which consisted of ensuring its physical and chemical stability, hydrology of the place, runoff water management.

The general objective of this thesis was to evaluate the degree of concentration of heavy metals in plant species (Ray Grass and Red Clover) that were cultivated in the closure of tailings deposits and plant species that grew in areas adjacent to tailings deposits. but that they were not exposed to the mining intervention.

For this we identify the areas of remediated mine tailings and the areas not affected by the CMC mining activity, we determine the concentration of heavy metals (Copper, Lead and Zinc) in growing plants in tailings and in natural soils and we determine the translocation coefficient between the aerial part of the plant and roots.

The results showed that the Lead and Zinc reported in the species that grew in the tailings had lower concentration of metals than those species that grew in natural soils, this would imply a good indicator of the type of closure made in the mining unit. The copper results showed that there is a higher concentration in the species that grew in the tailings (180 ppm), however, this concentration does not exceed the maximum permissible limits established in Australian or Canadian law.

Finally, this work shows at a general level that the levels of metals that were found in the closure of mines are lower than those reported by natural soils, however, more research must be done.

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales

REFERENCIAS

- Barceló, J., & Poschenrieder, C. (1992). *Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados*. Suelo y Planta, 2(2), 345-361.
- Bech, J; Durán, P; Roca, N; Poma, W; Sánchez, I; Roca, L; Boluda, R; Barceló, J; Poschenrieder, C. (2012) *Accumulation of Pb and Zn in Bidens triplinervia and Senecio sp. spontaneous species from mine spoils in Peru and their potential use in phytoremediation*. Journal of Geochemical Exploration.
- Carpena, R. O., & Bernal, M. P. (2007). *Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos*. Revista Ecosistemas, 16(2).
- Cespón Romero, R. M. (2008). *Desarrollo de métodos analíticos automáticos para la determinación de metales en el medio ambiente laboral*. Universidad Santiago de Compostela.
- Chávez Rodríguez, L. (2014). *Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo*.
- Diez Lázaro, J. (2008). *Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas*. Universidad Santiago de Compostela.
- Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (2006). Normas Técnicas Para Diseño Ambiental <http://www.minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=4&idPublicacion=50>
- Fernández J. & Henriques F. (1991). *The Botanical Review*. Portugal: Grupo de Disciplinas de Biología Vegetal. Portugal
- Fundación Chile (2015) *Buenas Prácticas en la gestión de la Estabilidad Química en la Industria Minera*. Recuperado del link: <http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/cierrefaena/Buenas-Practicas.pdf>
- García, C; Moreno, J; Hernández, T y Polo, A. (2002). *Metales Pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo*. En Ciencia y Medio Ambiente (132). Mexico: CCMA

- Hernández, A. (2011). *Determinación de metales pesados en suelos de Natividad, Ixtlán de Juárez*. Oaxaca. Licenciatura. Universidad de la Sierra Juárez.
- Jara, E; Gómez, J; Montoya, H; Chanco, M; Mariano, M; Cano, N. (Octubre 2014) *Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados*. revista peruana de biología 21(2). doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>
- Becerril, J; Barrutia, O; García, J; Hernández, A; Olano, J; Garbisu, C. (Mayo 2007). *Especies Nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación*. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente, 2, 50.
- Kabata Pendias, A. (2000) *Trace elements in soils and plants*. Third Edition. CRC Press. Boca Raton.
- León, A. y Asociados. (2002). *Compañía Minera Colquirrumi S. A. Hualgayoc*, Cajamarca, Perú. Agosto, 2017, de Perumining Sitio web: <http://www.perumining.com/Invitacion-Caj-Esp.htm>
- López Pino, P. R. (2011). *Fitorremediación en los suelos de Mayoc*, San Mateo, Huarochirí-Lima.
- Mackova, M., Dowling, D., & Macek, T. (Eds.). (2006). *Phytoremediation and rhizoremediation* (Vol. 9). Springer Science & Business Media.
- Medina, K. & Montano, Y. (2014). *Determinación del factor de Bioconcentración y Traslocación de metales pesados en el juncus arcticus willd. y Cortaderia rudiusscula Stapf. de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero alianza - ANCASH 2013*. Proyecto de Título, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Mejía Dominguez C. (2011). *Metales pesados en suelos y plantas: contaminación y fitotoxicidad*. Departamento académico de bromatología y nutrición. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Huacho – Peú.
- MEM (2015). *Remediación de Pasivos Ambientales Mineros en el Perú*. Recuperado de: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/12/PRESENTACION-3-MINEM-PERU.pdf>

- Méndez, J. P., Ramírez, C. A. G., Gutiérrez, A. D. R., & García, F. P. (2009). *Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44.
- Meléndez Hustick, L. (2017). Presentación virtual detalla los riesgos de la bioacumulación de metales pesados. Agosto, de Hortalizas Sitio web: <http://www.hortalizas.com/proteccion-de-cultivos/presentacion-virtual-detalla-los-riesgos-de-la-bioacumulacion-de-metales-pesados/>
- Minitab 17 Statistical Software (2010). [Computer software]. State College, PA: Minitab, Inc. (www.minitab.com)
- Moreno Jiménez, E (2010). *Recuperación de suelos mineros contaminados con arsénico mediante fitotecnologías* (Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, España).
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal* (p. 92). Santa Cruz, Bolivia: Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR)
- Orchard, C., & Ginocchio, R. (2011). *Establecimiento de especies nativas con potencial uso económico en relaves de cobre acondicionados del centro-norte de Chile*.
- Ortiz, I., Sanz, J., Dorado, M., & Villar, S. (2007). *Técnicas de recuperación de suelos contaminados*. Informe de Vigilancia Tecnológica. Universidad de Alcalá. Dirección General de Universidades e Investigación. España.
- Peralta-Pérez, M. D. R., & Volke-Sepúlveda, T. L. (2012). *La defensa antioxidante en las plantas: Una herramienta clave para la fitorremediación*. Revista mexicana de ingeniería química, 11(1), 75-88.
- Pérez Mundaca, J. (2013). Yanacocha: *cambios y permanencias en el conflicto social minero*.
- Poggi Varaldo, H. Rios Leal, E. Esparza Garcia, F. Garcia Mena, J. Sastre Conde, I. Zitomer, D. Macarie, H. and Garibay Orijel, C. (Setiembre, 2004) *Environmental Biotechnology and*

Engineering. Proceedings of the first international meeting on environmental biotechnology and engineering. Mexico.

Puga, S; Sosa, M; Lebgue, T; Quintana, C y Campos, A. (Diciembre, 2006). *Contaminación por Metales Pesados en Suelo Provocada por la Industria Minera*. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú, Pag 150.

Riffo, E. C. (2016) *Transferencia de metales pesados Cu, Pb, Zn, Ni, Co y Cr desde un suelo de la comuna de Talcahuano a las plantas Salicornia y Lolium Perenne*. Universidad Católica de la Santísima Concepción. Concepción.

Ríos, H. B., Reyes, F. C. R. C., Arquíñigo, C. M., & Zumaeta, J. A. (2014) *Fitorremediación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos de Petróleo*. Alma máter segunda época, (1), 113-121.

Ruíz, E. & Armienta, M. (2012) *Acumulación de arsénico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a jales o residuos mineros*. Postgrado en ciencias de la tierra. Universidad Nacional Autónoma de México.

Sepúlveda, T. V. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*. Instituto Nacional de Ecología.

SPIEGEL, M. R. (1988). *Teoría y problemas del suelo*. Madrid, McGraw-Hill. 372p. (Serie de compendios Schaum).

Tamayo, F.G. (2016, diciembre 22). *Normas Legales*. El Peruano. Recuperado de: <http://busquedas.elperuano.com.pe/download/url/aprueban-modificacion-del-reglamento-para-el-cierre-de-minas-decreto-supremo-n-036-2016-em-1466240-9>

Trejo, J. A. V. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. Instituto Nacional de Ecología.

Vara, P. M. N (Abril. 2013) *Heavy metal stress in plants: from biomolecules to ecosystems*. Springer Science & Business Media