

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Ambiental

“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE HIERRO Y ALUMINIO EN EFLUENTE DE MINA DE CARBÓN, UTILIZANDO HUMEDALES ARTIFICIALES DE *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum*”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autoras:

Silvia Yuliana Orrillo Carranza
Leyla Melita Quiroz Abanto

Asesor:

M.Sc. Juan Carlos Flores Cerna
Cajamarca - Perú

2020

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Realidad problemática	10
1.2. Formulación del problema.....	23
1.3. Objetivos.....	23
1.4. Hipótesis	24
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	25
2.1. Tipo de investigación.....	25
2.2. Población y muestra.....	25
2.3. Materiales, instrumentos y métodos	25
2.4. Procedimiento.....	29
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	45
3.1 Análisis iniciales de metales	45
3.2 Análisis de parámetros.....	45
3.3. Segundo análisis de metales.....	45
3.4. Análisis de metales durante el monitoreo	46
3.5. Análisis de plantas	51
3.6. Remoción de metales en agua.....	53
3.7. Absorción de metales en plantas.....	55
3.8. Análisis estadístico.....	56

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	59
4.1 Discusión	59
4.2 Conclusiones.....	61
REFERENCIAS.....	63
ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero Metalúrgicas	22
Tabla 3 Coordenadas del área de estudio.....	30
Tabla 4 Primer análisis de Fe, Al del efluente	45
Tabla 5 Primer análisis físico-químicos del efluente	45
Tabla 6 Concentración de Fe y Al del efluente de la mina de carbón	45
Tabla 7 Concentración de Fe y Al en los efluentes de los humedales artificiales	46
Tabla 8 Concentración de Fe y Al en plantas antes de colocar en los humedales artificiales	51
Tabla 9 Concentración de Fe y Al en plantas después del tratamiento	51
Tabla 10 Remoción de metales en el agua.....	53
Tabla 11 Resultados de absorción de metales en plantas	56
Tabla 12 Análisis de tendencia central y dispersión.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Humedal artificial de flujo superficial.....	16
Figura 2. Humedal subsuperficial de flujo horizontal	17
Figura 3. Humedal subsuperficial de flujo vertical.....	18
Figura 4. Representación de <i>Eichhornia crassipes</i>	20
Figura 5. Representación de <i>Myriophyllum aquaticum</i>	21
Figura 6. Diseño gráfico de los humedales artificiales de flujo superficial.....	31
Figura 7. Distribución de muestreo Z para la prueba de hipótesis nula.....	58
Figura 8. Concentraciones promedio de Hierro Fe(mg/L) en los efluentes de los humedales artificiales de <i>Eichhornia crassipes</i>	47
Figura 9. Concentraciones promedio de Hierro Fe(mg/L) en los efluentes de los humedales artificiales de <i>Myriophyllum aquaticum</i>	48
Figura 10. Concentraciones promedio de Aluminio Al (mg/L) en los efluentes de los humedales de <i>Eichhornia crassipes</i>	49
Figura 11. Concentraciones promedio de Aluminio Al (mg/L) en los efluentes de los humedales de <i>Myriophyllum aquaticum</i>	50
Figura 12. Análisis de la concentración de Hierro Fe (mg/kg) en las plantas <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Myriophyllum aquaticum</i> antes y después del tratamiento.	52
Figura 13. Análisis de la concentración de Aluminio Al (mg/kg) en las plantas <i>Eichhornia Crassipes</i> y <i>Myriophyllum Aquaticum</i> antes y después del tratamiento.....	53
Figura 14. Porcentaje de remoción de Hierro Fe (mg/L) en <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Myriophyllum aquaticum</i>	54
Figura 15. Porcentaje de eliminación de Aluminio (Al) en <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Myriophyllum aquaticum</i>	55

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Eficiencia de la eliminación de metales	15
Ecuación 2. Carga metálica.....	18
Ecuación 3. Dimensionamiento del sistema	19
Ecuación 4. Media	28
Ecuación 5. Desviación estándar de la distribución muestral de la media	28
Ecuación 6. Desviación estándar de la muestra	29
Ecuación 7. Prueba "Z"	29
Ecuación 8. Capacidad de absorción de la planta	55

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la capacidad de remoción de Hierro y Aluminio en efluente de mina de carbón, utilizando humedales artificiales de *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum*, para lo cual se construyeron seis humedales, tres con la planta *Eichhornia crassipes* y tres con *Myriophyllum aquaticum* que mediante un sistema de tubería se condujo el agua del drenaje de la mina de carbón hacia los humedales para ser tratada luego de un tiempo de adaptación de las plantas con esta misma agua. Inicialmente se tomaron muestras del efluente que se compararon con los límites máximos permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgico establecido en la resolución suprema N°194-2010-PCM. Luego de la toma de muestras que se hizo cada 24 horas, obtuvimos como resultados el porcentaje de remoción de Fe y Al con cada especie de planta, donde la remoción de Fe fue del 81 % con la especie *Eichhornia crassipes* y 80 % con la especie *Myriophyllum aquaticum*, sin embargo, la remoción de aluminio fue de 49 % con la especie *Eichhornia crassipes* y 91 % *Myriophyllum aquaticum*, concluyendo de esta manera que si se logró remover Fe y Al utilizando humedales artificiales de *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum*, obteniendo una mejor remoción de Al con la especie *Myriophyllum aquaticum*.

Palabras clave: Remoción, mina de carbón, humedales artificiales.

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales

REFERENCIAS

- Aguilar, A., & Aguilar, H. (2017). Sistema piloto de fitorremediación para el tratamiento de aguas ácidas de los pasivos ambientales mineros de la quebrada mesa de plata – Hualgayoc – 2017. (Tesis de título). Recuperado de <file:///C:/Users/USER/Desktop/INGENIERIA%20AMBIENTAL%20CURSOS/DECIMO%20CICLO/TESIS/Alejandro%20y%20Homero.pdf>
- Aduvire, O. (2006). Drenaje de Acido de Mina Generación y Tratamiento. Recuperado de http://info.igme.es/SIDIMAGENES/113000/258/113258_0000001.PDF
- Álvarez, V. y Zurita E. (2019). Diseño de cámaras y pilares para incrementar la producción de carbón antracita en la mina nueva esperanza – Bambamarca, 2019. (Tesis de título). Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21666/Jibaja%20Ruiz%20Araceli%20-%20Zurita%20Ram%c3%adrez%20Eli%20Sadam.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Caviedes, D., Delgado, D., & Olaya, A. (2016). Remoción de metales pesados generados por la actividad Industrial, empleando macrófitas neotropicales. En el artículo Producción más Limpia, *Vol,11(2)*, 129 - 130. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/313465622_Remocion_de_metales_pesados_comunmente_generados_por_la_actividad_industrial_empleando_macrofitas_neotropicales

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, F., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. En la revista Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA), pp 32-34. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>

Gamonal, P. (2012). Tratamiento de drenajes de ácidos de mina en humedales construidos. En la revista IHE DELFT, pp 3. Recuperado de <http://biblioteca.unmsm.edu.pe/REdlieds/Recursos/archivos/MineriaDesarrolloSostenible/MedioAmbiente/DAMhumedales.pdf>

Fernández, J., Beascochea, E., Muñoz, J., Fernández, D. (2010). Manual de Fito depuración. Filtros de macrofitas en flotación. España. Recuperado de <https://fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%206.pdf>

Huamán, C. (2018). Tratamiento de drenaje ácido del depósito de desmonte unsuitable IV Yanacocha norte por el proceso de humedales en serpentín. (tesis de título). Recuperado de <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13946/Huam%C3%A1n%20Ch%C3%A1vez%20Clinton%20Ener.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR2KMwtXSSJPMkFzcoCzGxt6Z2ralNeu9EuJzRppckstpGVKIISWnT-3bzI>

INGEMMET Perú. (23 septiembre de 2016). *Training “El agua subterránea y geoquímica ambiental”*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=Ca67fPamm4g&t=725s>

López, E., Aduvire, O; & Baretino, D (2002). Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina: estado actual y perspectivas de futuro. *Boletín Geológico y Minero*, 113 (1): 3-21 p. Recuperado de http://aiplanetatierra.igme.es/Boletin/2002/113_1_2002/4-ARTICULO%20TRATAMIENTOS.pdf

Ministerio del ambiente (2010). Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero – Metalúrgico. Lima: Ministerio del ambiente. Recuperado de [file:///C:/Users/USER/Downloads/1378%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/1378%20(1).pdf)

Ministerio del ambiente (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Lima: Ministerio del ambiente. Recuperado de https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo_nacional_para_el_monitoreo_de_la_calidad_de_los_recursos_hidricos_superficiales.pdf

Mendiola, A., Aguirre, C., Chero, Y., Churampi, N., Quispe, J., & Sedano, R. (2013). *Explotación del carbón antracita: viabilidad del yacimiento Huayday-Ambara*. Perú: Editorial ESAN. Recuperado de

https://www.esan.edu.pe/publicaciones/2013/10/02/gerencia_desarrollo_31_exp_lotacion_carbon_antracita.pdf

Mendoza, D., Salazar, K., & Bravo, L. (2016). Fitorremediación acuática con *Myriophyllum aquaticum* para el tratamiento de efluentes generados por pasivos ambientales mineros de Hualgayoc-Cajamarca. (Tesis de Título). Recuperado de [file:///C:/Users/USER/Downloads/Diego_Tesis_t%C3%ADtuloprofesional_2016%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/Diego_Tesis_t%C3%ADtuloprofesional_2016%20(1).pdf)

Novara, J. (2012). Facultad de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Salta. *Aportes Botánicos de Salta*. Recuperado de <http://eprints.natura.unsa.edu.ar/279/1/JUNCACEAE.pdf>

Palomino, E. (2007). Sistemas de Humedales para la Biorremediación de Drenajes Ácidos de Mina o Roca en Ancash – Perú. (Tesis de doctor). Recuperado de http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/5359/Tesis%20Doctorado%20-%20Edwin%20Palomino%20Cadenas.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR0qRWuTYOpIOucoyc1Cu5_yK-pa-43fxpbknVEgkIpiKRu74F1D_WmSr7I

Rosas, A (2001). Estadístico descriptiva e inferencial I. Recuperado de https://www.conevyt.org.mx/bachillerato/material_bachilleres/cb6/5sempdf/edi_n1/edi1_f04.pdf

Suffyanazwan, M. (2009) Aluminum, method 8012. (9 th Ed). ESCRIBD. Recuperado
de [https://es.scribd.com/document/367505974/Aluminum-Method-8012-02-
2009-9th-Ed-pdf](https://es.scribd.com/document/367505974/Aluminum-Method-8012-02-2009-9th-Ed-pdf)

Suffyanazwan, M. (2009) Iron, Ferrozine method 8147. (9 th Ed). ESCRIBD.
Recuperado de de
[file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Iron,%20FerroZine%20Method%208147,%
2002-2009,%209th%20Ed%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Iron,%20FerroZine%20Method%208147,%2002-2009,%209th%20Ed%20(1).pdf)