

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Remoción de Plomo producto de lixiviados en rellenos sanitarios

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de Bachiller en
Ingeniería Ambiental

Autores:

Carmen Isabel Vilcas Guerrero
Yeffry Jhair Sanchez Tarrillo

Asesor:

Mtra. Betsabeth Teresa Padilla Macedo

Tarapoto, Diciembre 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Betsabeth Teresa Padilla Macedo , de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura , Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental , de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“REMOCIÓN DE PLOMO PRODUCTO DE LIXIVIADOS EN RELLENOS SANITARIOS”** constituye la memoria que presenta a los estudiantes: Carmen Isabel Vilcas Guerrero y Yeffry Jhair Sanchez Tarrillo, para obtener el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Tarapoto, a los 28 días del mes de diciembre del año 2020



Betsabeth Teresa Padilla Macedo

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En San Martín, Tarapoto, Morales, a 22 día(s) del mes de diciembre del año 2020 siendo las 15:30 horas

se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Tarapoto, bajo la dirección del (de la) presidente(a) M.Sc. Andres Erich Gonzales Lopez

secretario(a) Ing. Karen Jigajara Quispe Acuña y los demás miembros

Mtra. Katherine Jimenez Pinedo Gomez

y el (la) asesor (a) Mtra. Betzabeth Teresa Padilla

Macedo

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de

investigación titulado

Remoción de plomo producto de lixiviados en relieves sanitarios.

de los (las) egresados (as): a) Carmen Isabel Vilcas Guerrero

b) Jeffry Jhain Sanchez Tarrillo

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en

Ingeniería Ambiental
(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando a los candidato (a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invito a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por los candidato (a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a) Carmen Isabel Vilcas Guerrero

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A-	Muy bueno	Sobresaliente

Candidato/a (b) Jeffry Jhain Sanchez Tarrillo

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A-	Muy bueno	Sobresaliente

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invito a los candidato (a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a

Asesor/a

Candidato/a (a)

Miembro

Miembro

Candidato/a (b)

K. P. A.
secretario/a

1 **REMOCIÓN DE PLOMO PRODUCTO DE LIXIVIADOS EN RELLENOS SANITARIOS**

2
3
4 *REMOVAL OF LEAD FROM LEACHATE IN LANDFILLS*

5
6
7 **Carmen Isabel Vilcas Guerrero**¹
8 **Betsabeth Teresa Padilla Macedo**¹
9 ***Yeffry Jhair Sanchez Tarrillo**¹

10
11 **Abstract**

12 *The objective of this article is to gather information and analyze the main methodologies for removing lead from*
13 *leachate in landfills. Three treatments were analyzed: The first physicochemical treatment: Advanced Oxidation*
14 *Processes - Fenton, in which leachate samples were taken from the Aguas de las Vírgenes landfill, Peru, in times of*
15 *drought and rain; the other two were by biological methods: phytoremediation with three plant species: Radish*
16 *(Raphanus sativus), chard (Beta vulgaris) and arugula (Eruca sativa) in which a comparative analysis of the*
17 *substrates from the Doña Jua Landfill was carried out. -na, Bogotá; and finally the phytoremediation treatment with*
18 *the addition of organic acids (citric acid and tartaric acid) at different concentrations of 10 mM and 15mM in the*
19 *Vetiver species (Chrysopogon zizanoide), extracting samples from the Sanitary landfill of the company Promotora*
20 *Ambiental SAB de CV, Mexico. The percentage of lead removal from each analyzed treatment was compared and it*
21 *was concluded that the Fenton treatment obtained a 100% result in times of drought, on the other hand, in the*
22 *Phytoremediation treatment with the Vetiver species (Chrysopogon zizanoide) + citric acid with 10 mM was 85%,*
23 *deducing that organic acids facilitate the bioavailability of Lead for plants, finally, with a result of 20% removal of*
24 *lead was the treatment by phytoremediation with the species Arugula (Eruca sativa).*

25
26 **Key Words : Advanced Oxidation, Heavy Metals, Phytoremediation.**
27
28
29

¹ Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Universidad Peruana Unión.

* *Autor correspondal:* Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Universidad Peruana Unión. La Conquista S/N. Moyobamba. San Martín. 22200. Peru. yeffrysanchez@upeu.edu.pe

30 **Resumen**

31 El presente artículo tiene como objetivo recopilar información y analizar las principales metodologías de remoción
32 de plomo producto de lixiviados en rellenos sanitarios. Se analizaron tres tratamientos: El primer tratamiento fisi-
33 coquímico: Procesos de Oxidación avanzada – Fenton, en la cual se tomó muestras de lixiviados proveniente del
34 relleno sanitario Aguas de las Vírgenes, Perú, en épocas de sequía y lluvia; los otros dos fueron por métodos
35 biológicos: fitorremediación con tres especies vegetales: Rábano (*Rap-hanus sativus*), acelga (*Beta vulgaris*) y
36 rúcula (*Eruca sativa*) en la que se realizó un análisis comparativo de los sustratos provenientes del Relleno Sanitario
37 Doña Juana, Bogotá; y por último, el tratamiento de fitorremedia-ción con la adición de ácidos orgánicos (ácido
38 cítrico y ácido tartárico) a dife-rentes concentraciones de 10 mM y 15mM en la especie Vetiver (*Chryso-pogon*
39 *zizanoide*), extrayendo muestras del relleno Sanitario de la empresa Promotora Ambiental S.A.B de C.V, México. Se
40 comparó el porcentaje de re-moción de plomo de cada tratamiento analizado y se llegó a la conclusión de que el
41 tratamiento de Fenton obtuvo un resultado del 100 % en épocas de sequias, por otro lado, en el tratamiento por
42 Fitorremediación con la especie Vetiver (*Chrysopogon zizanoide*) + ácido cítrico con 10 mM fue del 85%, de-
43 duciendo que los ácidos orgánicos facilitan la biodisponibilidad de Plomo para las plantas, por último , con un
44 resultado del 20% de remoción de plomo fue el tratamiento por fitorremediación con la especie Rúcula (*Eruca*
45 *sativa*).

46
47 **Palabras clave:** Fitorremediación, Metales Pesados Oxidación avanzada.
48

49 **Introducción**

51 La Agencia del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA), analizó hasta 200 compuestos en los
52 lixiviados generados por los residuos sólidos urbanos presentes en los vertederos, se hallaron
53 compuestos como: Cloruro de metilo (CH_2Cl_2), tetracloruro de carbono (CCl_4), clorobenceno
54 (C_6H_5Cl), arsénico (Ar), sustancias cancerígenas, plomo (Pb), cadmio (Cd) y otros metales pe-
55 sados y sustancias organocloradas que son persistentes y bioacumulables (Cobos & Costa, 2011).

56
57 Del mismo modo, Zafra-mejía & Romero-torres, (2019) identificó y analizó las tendencias en los
58 enfoques y tecnologías de depuración del lixiviado utilizadas a nivel mundial e implementadas en
59 rellenos sanitarios, informándonos que la eficiencia de remoción de contaminantes para las
60 diversas tecnologías de depuración del lixiviado depende de su composición química. Por su
61 parte, Segura & Rocha, (2019) manifiestan que hay efectividad de remoción de contaminantes
62 fisicoquímicos y microbiológicos de lixiviados diluido con agua residual con la ayuda de un
63 biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, corroborando ser una
64 opción viable y sostenible para el medio ambiente.

65
66 En cambio, (Flores, Del Angel, Frías, & Gómez, 2018) usó la especie tagetes sp por la capacidad
67 de concentrar metales pesado, logrando determinar que en un periodo de 60 días la planta logrará
68 acumular 785 21.mg/kg, 338 mg/kg, 468 mg/kg y 559 mg/kg de cromo en sus tejidos en las
69 diferentes mezclas de suelo de 25%, 50%, 75% y la que solo contenía suelo contaminado
70 respectivamente, convirtiéndose así en una alternativa para remediar suelos contaminados con
71 este metal.

72
73 Además, Madera P., (2016) con el uso de humedales demostró la eficiencia de remoción de
74 metales pesados para los parámetros de (Cd, Pb y Hg), indicando que las distribuciones de las
75 especies pueden afectar la capacidad de remoción de los humedales construidos. Demostrando

76 así, que las plantas nativas tienen la capacidad para la fitorremediación de lixiviados de rellenos
77 sanitarios.

78 El objetivo del presente artículo es recopilar información y analizar las metodologías de remoción
79 de metales pesados producto de lixiviados en rellenos sanitarios

80

81

82 **Metodología**

83 Para el presente artículo de revisión se buscó información en las bases de datos especializadas
84 como: EBSCO, Science Direct, Renati; también en la Biblioteca Virtual de la Universidad
85 Peruana Unión y en la Biblioteca Virtual del CONCYTEC.

86

87 *Relleno Sanitario ¿Problema o Solución?*

88 La creación de rellenos sanitarios en nuestro medio tiene como objetivo solucionar
89 ambientalmente y sistemáticamente la disposición de los residuos sólidos (sustancia o elemento
90 que fue proveniente de un bien o servicio debido al continuo crecimiento del consumismo, de tal
91 modo, que la persona tenga el fin de deshacerse) (Instituto Nacional de Calidad [INACAL],
92 2019) (Hernandez, Alvares, Vaca, Marquez, & Lugo, 2012); por lo tanto, hoy en día la eficiente
93 gestión del acondicionamiento de dichos residuos en el vertedero debe ser una prioridad (Molano
94 Camargo, 2019) (Morales & Rodríguez, 2016) (Alea, Marín, & Bruguera, 2019).

95

96 No obstante, el deficiente acondicionamiento de los residuos sólidos dentro de estas instalaciones
97 es una preocupación, debido a que presenta uno de los enigmas de contaminación ambiental más
98 crítica (Paredes, 2013) por su elevada carga de contaminantes a la hora de mezclarse con los otros
99 residuos en su proceso de descomposición, dando como origen a los lixiviados (Trujillo, Trujillo,
100 Quintero, & Vega, 2020)(Mayor et al., 2018) (Morales & Rodríguez, 2016).

101

102 En este sentido se comprende que los lixiviados de un relleno sanitario son efluentes acuosos
103 originados a causa de la percolación de la lluvia a través de los desechos y las diferentes
104 reacciones bioquímicas, (Janon, Fausto, & Neira, 2019) así que pueden contener materia
105 orgánica, nutrientes, metales pesados, compuestos recalcitrantes y xenobióticos (Renou,
106 Givaudan, Poulain, Dirassouyan, & Moulin, 2008). Es por ello que son estimados como un
107 residuo peligroso, ya que constituyen un factor de riesgo sanitario en cada lugar de su disposición
108 final (Robles et al., 2011).

109

110 *Metales pesados y su persistencia en el ambiente*

111

112 Los metales pesados son contaminantes que se encuentran en el ambiente como totales y
113 disponibles, no degradables (Choppala et al., 2014), percibiendo transformaciones que dependen
114 de distintos componentes como Ph, potencial de redox, temperatura y debido a diversos
115 procedimientos que por su permanencia y conducción alcanzan con cierta viabilidad los cuerpos
116 de agua superficiales, aire, suelo mostrando un riesgo potencial para la vida y el medio ambiente
117 por su toxicidad ya que tienden a bioacumularse en la biota causando graves daños en los
118 organismos superiores (Flores et al., 2018). (Arada, Garrido, & Acebal, 2018).

119

120 Ahora bien, de todos los metales pesados, el plomo es un xenobiótico que no es saludable para el
121 organismo humano y medio ambiente. Este metal pesado, se halla de forma natural en la corteza
122 terrestre y repartida en el ambiente, debido a fuentes de contaminación fijas o móviles, así mismo
123 pueden ser contaminantes antropogénica o naturales; llegando a obtener 300 veces más de
124 contaminación por procesos antropogénicos que por procesos naturales (Rodríguez, Cuéllar,
125 Maldonado, & Suardiaz, 2016)

126
127 Métodos de remoción de metales pesados en lixiviados
128
129 Los lixiviados pueden ser trasladados del relleno sanitario para su posterior tratamiento
130 (Caviedes, Muñoz, Perdomo, Rodríguez, & Sandoval, 2015) con los diferentes procesos
131 fisicoquímicos y biológicos, a fin de prevenir la contaminación de acuíferos y de las aguas
132 superficiales (Novelo et al., 2009).

133
134 Tratamiento Fisicoquímico
135
136 Procesos de Oxidación Avanzada – Fenton
137

138 El proceso Fenton se da cuando se aumenta un catalizador de sal ferrosa soluble en agua y
139 peróxido de hidrógeno en un medio ácido, siendo innecesario recurrir a presiones elevadas,
140 temperaturas o equipos complejos (Brillas, 2014) (Primo, 2008). El radical oxidrilo (OH•) es el
141 responsable de los procesos oxidativos, puesto que reacciona de manera rápida con bastantes
142 compuestos orgánicos(R) de forma no selectiva por su alto potencial de oxidación (2,8V)
143 (Medina, Montero, & Cruz, 2016).

144
145 Se tomaron 2 muestras del lixiviado del relleno sanitario Aguas de las Vírgenes, Huancayo Perú,
146 en época de estiaje y lluvia, los cuales fueron caracterizados antes y después del tratamiento
147 Fenton. Para la estimación del pH indicado y dosis óptima del reactivo de Fenton se utilizó el
148 diseño Box- Behnken, realizando 15 ensayos iniciales con dos réplicas en cada época de estudio.
149 Se ajustó el pH con ácido sulfúrico concentrado y se aumentó sulfato ferroso luego se
150 homogenizó por 5 minutos a rpm, después disminuyendo a 30 rpm y finalmente se agregó
151 peróxido de hidrógeno, evitando la formación excesiva de espumas. Los valores óptimos
152 determinaron en las temporadas fueron: en época de lluvia (pH = 3,19, FeSO₄ = 1645,55 mg/L y
153 H₂ O₂ = 1096,55 mg/L) y en época de estiaje (pH = 3,26, FeSO₄ = 1788,61 mg/L y H₂ O₂ =
154 1180,83 mg/L). El indicador de biodegradabilidad obtenido fue 0,568 y 0,329 en época de lluvia
155 y estiaje, respectivamente. Teniendo como resultado una mejora en la mayoría de los parámetros
156 fisicoquímicos (Pb) de los lixiviados del Relleno sanitario agua de las Vírgenes tanto en periodo
157 de lluvia como en época de estiaje (Medina et al., 2016).

158
159
160
161

162 **Tabla 1:** Concentración de plomo(Pb) de los lixiviados antes y después del tratamiento: Fenton

163

Muestra de plomo (antes)		Muestra de plomo (después)	
1	2	1	2
0.814	0.19	0.487	0

164

Fuente: (Medina et al., 2016)

165

Nota: 1: época de lluvia, 2: época de estiaje

166

167 Fitorremediación

168

169 En los últimos años, han aparecido un conjunto de tecnologías biológicas (Islas, Alpuin, Ruiz, &
 170 Fraire, 2018) entre ellos está la fitorremediación que es una técnica eco- amigable con el
 171 ambiente (González, Carrillo, Sánchez, & Ruiz, 2017), pues su eficiencia de ciertas especies
 172 vegetales está estrechamente relacionada con el metal, la biodisponibilidad en el terreno y la
 173 capacidad para absorber o inmovilizarlos en la matriz (Barbafieri, Dadea, Tassi, Bretzel, &
 174 Fanfani, 2011) (Yang, Zhu, Shan, Shao, & Tian, 2017). De igual manera, según Covarrubias,
 175 García, & Peña, (2015), la fitorremediación es un método usado para equilibrar o restaurar
 176 ambientes contaminados con metales pesados. Debido a esto, el uso especies vegetales tienen la
 177 facultad de acumular los contaminantes en su biomasa (Caviedes, Delgado, & Olaya, 2016),
 178 como tratamientos, han logrado buenos resultados a escala real y de laboratorio (Herm, 2006),
 179 especialmente en plomo y cromo (Pérez, Vega, Hernández, Parra, & Ballen, 2016).

180

181 Fitorremediación con Rábano (*Raphanus sativus*), acelga (*Beta vulgaris*) y rúcula (*Eruca*
 182 *sativa*).

183

184 Se desarrolló un estudio comparativo de tres especies vegetales: rábano (*Raphanus sativus*),
 185 acelga (*Beta vulgaris*) y rúcula (*Eruca sativa*) para la eficiencia en la remoción de metales
 186 pesados (Pb). Se observó que, para los cuadros de rábano y acelga, se hallan en la frontera Pareto
 187 eficiente, considerados como conveniente, en especial por la cantidad de semillas ingresadas de
 188 cada especie, por otro lado, con la rúcula se considera ineficiente con respecto a los otros
 189 escenarios ya expuestos (Chávez, Pinzón, & Velasquez, 2017).

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201 **Tabla 2:** Entradas y Salidas consideradas de Plomo

Escenarios	Entradas		Salidas		
	Nº de semillas sembradas	Cantidad de lodo de lixiviado a tratar Kg	Valor inicial de Plomo (Pb) Mg/Kg	Valor final de Pb Mg/Kg	% de Remoción Plomo (Pb)
Rábano	384	402	18.1	10.5	42
Acelga	170	402	18.1	12.5	31
Rúcula	255	402	18.1	14.5	20

202 *Fuente:* (Chávez et al., 2017).

203
 204 *Adición de ácidos orgánicos en Vetiver (Chrysopogon zizanoide)*
 205
 206 La *Chrysopogon zizanoide* (Vetiver) es una especie vegetal fitorremediadora que ha dado
 207 resultados beneficiosos en la remoción de metales pesados. No obstante, reducidas porciones de
 208 metales permanecen retenidos en el suelo sin ser biodisponibles para la planta. (De la Cruz
 209 López, Ramos Arcos, & López Martínez, 2018), pero al agregar ácidos estos hacen que estén
 210 disponibles para la especie (Sharma & Dubey, 2017).

211
 212 Es por ello que en el siguiente método se estima la acción de los ácidos orgánicos en la
 213 disponibilidad de Pb en la planta Vetiver (*Chrysopogon zizanoide*) de un suelo contaminado con
 214 lixiviados provenientes de un relleno sanitario, la metodología consistió en reproducir el Vetiver
 215 a partir de esquejes exponiéndolos a un periodo de 40 días a los lixiviados, incorporando
 216 soluciones de ácidos orgánicos (ácido cítrico y ácido tartárico).

217
 218 Se formaron unidades experimentales con dos concentraciones (10 mM y 15 mM) tanto para el
 219 ácido cítrico y ácido tartárico y en cada unidad se regó aproximadamente con 2L de lixiviados.
 220 posteriormente se realizaron los análisis de laboratorio correspondientes, determinando que la
 221 concentración de Plomo en el suelo del tratamiento testigo (T1) sin ácidos orgánicos fue de 7.462
 222 mg/Kg, los otros resultados se muestran en la siguiente tabla:

223
 224 **Tabla 3:** Concentraciones (Mg/Kg) de hojas y raíces en los distintos tratamientos
 225

Tratamiento	Concentración Hojas (mg/Kg)	Concentración Raíz (mg/Kg)
T1 (Testigo)	0.035	0.071
T2 (Ácido Cítrico 10 mM)	2.104	4.205
T3 (Ácido Cítrico 15 mM)	1.215	2.700
T4 (Ácido Tartárico 10 mM)	0.090	2.115
T5 (Ácido Tartárico 15 mM)	0.060	1.650

226 *Fuente:* (Flórez Orjuela & Cotes Cuadro, 2006)

227 **Resultados**

228 Al analizar los métodos de remoción de Plomo producto de los lixiviados provenientes de un
 229 relleno sanitario; podemos observar en la tabla 5 que los porcentajes de remoción varían de
 230 acuerdo al método Físicoquímico: Procesos de oxidación avanzada-Fenton y al método biológico:
 231 Fitorremediación.

232
 233

Tabla 4: Porcentaje de remoción de los métodos biológicos y físicoquímicos

Método		Sub- Tratamientos	Concentración inicial (ppm)	Concentración final (ppm)	Porcentaje de remoción
Biológico:	Rábano	1. - Rábano	18.1	10.5	42
Fitorremediación	(Raphanus sativus), Acelga (Beta vulgaris) y Rúcula (Eruca sativa)	(Raphanus sativus) 2.- Acelga (Beta vulgaris) 3.- Rúcula (Eruca sativa)	18.1	12.5	31
	Vetiver (Chrysopogon zizanoide) + ácidos orgánicos	4.- T2 (Ácido Cítrico 10 mM) 5.-T3 (Ácido Cítrico 15 mM) 6.-T4 (Ácido Tartárico 10 mM) 7.-T5 (Ácido Tartárico 15 mM)	7.462	6.309	85
			7.462	3.915	52
			7.462	2.205	30
Físicoquímico: Proceso de Oxidación Avanzada: Fenton		8.-Época de lluvia 9.-Época de estiaje	0.814	0.487	40
			0.19	0	100

234 *Fuente: Elaboración propia*

235
 236 En los métodos por fitorremediación:

237 - Se observa que La especie de rábano (Raphanus sativus) obtuvo un 42% de remoción,
 238 considerando que se sembraron (384) semillas, teniendo en cuenta que es un cultivo de rápido
 239 crecimiento y alta capacidad productiva, además tiene la propiedad acumulativa, disminuyendo la
 240 toxicidad de metales pesados.
 241

242 - De igual manera La especie Acelga (*Beta vulgaris*) obtuvo un 31% de remoción de plomo,
243 demostrando que tiene la propiedad de acumular y remover metales pesados, teniendo una menor
244 eficiencia que la especie mencionada anteriormente, dicha diferencia puede estar relacionada con
245 la cantidad de semillas sembradas ya que fueron 170.

246 - Con respecto a la especie de rúcula (*Eruca sativa*), se puede inferir que el tratamiento fue
247 ineficiente ya sea por el número de semillas sembradas y/o concentración del metal pesado a la
248 que estuvo expuesta.

249 - Otro proceso de fitorremediación analizado fue con la especie Vetiver (*Chrysopogon*
250 *zizanoide*) más la adición de Ácido Cítrico con dos concentraciones: 10 mM y 15 mM, con 85%
251 y 52% respectivamente, demostrando la influencia de los agentes quelantes en la
252 biodisponibilidad de plomo para la planta; pero, podemos observar que a pe-sar de tener una
253 mayor concentración (15 mM) de ácido cítrico el porcentaje de remoción fue menor, infiriendo
254 que la concentración ideal para la movilización de plomo es a 10 mM de ácido cítrico.

255 - En cambio, la especie Vetiver (*Chrysopogon zizanoide*) con la adición de Ácido Tartárico
256 de 10 mM, obtuvo un 30% de remoción de metales pesados (plomo), indicando que la dosis de
257 dicho componente fue correcta, debido a que, con una concentración de 15 mM de Ácido
258 Tartárico, se obtuvo un 23% de remoción de metales pesados, infiriendo nos es directamente
259 proporcional la cantidad de dosis con el porcentaje de remoción.

260
261 En los métodos fisicoquímicos:
262 En el proceso de oxidación avanzada -fenton, en la época de lluvia se obtuvo un 40% de
263 remoción plomo, infiriendo que el cambio de pH (medio ácido) ayuda a la disminución de la
264 alcalinidad y oxidación de los compuestos orgánicos mediante el radical hidroxilo, a
265 consecuencia el porcentaje de remoción mencionado es eficiente.

266
267 Por otro lado, en la época de estiaje el porcentaje de remoción fue del 100%, lo cual puede estar
268 relacionado con la concentración baja del plomo y la optimización de los procesos de Oxidación
269 Avanzada- Fenton, pues se agregaron ácidos en los lixiviados y la presencia de car-bono orgánico
270 coloidal, el cual posee la facultad de adsorber altas concentraciones de metales en su superficie.

271
272 Según los datos obtenidos en la Tabla 5, se estimó a través de una prueba estadística: Test Tukey,
273 la comparación de las medias individuales de un análisis de varianza sometidas a distintos
274 tratamientos; que consiste en ordenar de menor a mayor los valores de los porcentajes de
275 remoción, asignando una letra por cada tratamiento analizado. En base a lo expuesto, se
276 asignaron las siguientes letras a los tratamientos: 3 (A), 7 (B),5 (E),4 (F) y 9 (G); indicando que
277 estadísticamente estos tratamientos son significativamente diferentes; mientras que a los
278 tratamientos: 6 y 2 se le asignaron la letra C y a los tratamientos 8 y 1 la letra D , indicando que
279 estadísticamente no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

280
281

282 **Conclusiones**

283 El método fisicoquímico: Proceso de Oxidación Avanzada Fenton obtuvo el 40 % en la
284 disminución de plomo y 100% en época de estiaje debido a la optimización del proceso de
285 Fenton.

286
287 Los métodos biológicos por fitorremediación con tres especies: Rábano (*Raphanus sativus*),
288 acelga (*Beta vulgaris*) y rúcula (*Eruca sativa*), sobresale el Rábano con el 42% de remoción de
289 plomo; asimismo, el tratamiento de la adición de ácidos orgánicos en Vetiver (*Chrysopogon*
290 *zizanioides*) el T2 obtuvo el mayor porcentaje con 85% de remoción con 10mM de ácido nítrico,
291 asumiendo que los quelantes como los ácidos ayudan a que los metales estén biodisponibles para
292 las plantas potenciando su efecto fitorremediador.

293
294 Estadísticamente cuatro tratamientos: 6 y 2, 8 y 1 no existe diferencia significativa entre estos dos
295 pares.

296 297 **Referencias bibliográficas**

- 298 Alea, L., Marín, L., & Bruguera, N. (2019). Diagnóstico de la gestión del reciclaje de los residuos sólidos generados
299 en el destino turístico Viñales. *Avances*, 21(4).
- 300 Arada, M. de los Á., Garrido, D., & Acebal, A. T. (2018). Evaluación de metales pesados e impacto ambiental en los
301 pozos “Rive Fuente” y “Bárbara” del poblado El Cobre. *Revista Cubana de Química*, 30(1), 68–76.
- 302 Barbaferri, M., Dadea, C., Tassi, E., Bretzel, F., & Fanfani, L. (2011). Uptake of heavy metals by native species
303 growing in a mining area in Sardinia, Italy: Discovering native flora for phytoremediation. *International*
304 *Journal of Phytoremediation*, 13(10), 985–997. <https://doi.org/10.1080/15226514.2010.549858>
- 305 Brillas, E. (2014). A review on the degradation of organic pollutants in waters by UV photoelectro-fenton and solar
306 photoelectro-fenton. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 25(3), 393–417. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20130257>
- 307
308 Caviedes, D., Delgado, D., & Olaya, A. (2016). Remoción de metales pesados comúnmente generados por la
309 actividad industrial, empleando macrófitas neotropicales. *Producción + Limpia*, 11(2), 126–149.
310 <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a11>
- 311 Chávez, Á., Pinzón, L. F., & Velasquez, Y. L. (2017). Análisis comparativo de ensayos de Fito-remediación en lodos
312 de lixiviado aplicando Análisis Envolvente de Datos. *Inge Cuc*, 13(2), 79–83.
313 <https://doi.org/10.17981/ingecuc.13.2.2017.07>
- 314 Choppala, G., Saifullah, Bolan, N., Bibi, S., Iqbal, M., Rengel, Z., ... Ok, Y. S. (2014). Cellular Mechanisms in
315 Higher Plants Governing Tolerance to Cadmium Toxicity. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33(5), 374–391.
316 <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.903747>
- 317 Cobos, M., & Costa, M. (2011). *Lixiviado de residuos sólidos del relleno sanitario manual de Nauta y su*
318 *genotoxicidad en Eisenia foetida " lombriz roja "*; UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA
319 AMAZONIA PERUANA.
- 320 Covarrubias, S., García, J., & Peña, J. (2015). Microorganisms role in the bioremediation of contaminated soils with
321 heavy metals. *Acta Universitaria*, 25(NE-3), 40–45. <https://doi.org/10.15174/au.2015.907>
- 322 De la Cruz López, C. A., Ramos Arcos, S. A., & López Martínez, S. (2018). Efecto de la adición de ácidos orgánicos
323 sobre la bioacumulación de Plomo, Talio y Vanadio en *Chrysopogon zizanioides* creciendo sobre suelos
324 contaminados de un relleno sanitario. *Nova Scientia*, 10(21), 403. <https://doi.org/10.21640/ns.v10i21.1582>
- 325 Flores, C. M., Del Angel, E., Frías, D. M., & Gómez, A. L. (2018). Evaluation of physicochemical parameters and
326 heavy metals in water and surface sediment in the ilusiones Lagoon, Tabasco, Mexico. *Tecnología y Ciencias*
327 *Del Agua*, 9(2). <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-02-02>
- 328 Flórez Orjuela, Y., & Cotes Cuadro, A. (2006). Bioabsorción de metales pesados por *Salvinia natans* de los
329 lixiviados del relleno sanitario Combeima Ibagué. *Tumbaga*, 1(1), 89–100.
- 330 González, M., Carrillo, R., Sánchez, A., & Ruiz, A. (2017). Alternativas de Fitorremediación de sitios contaminados
331 con elementos potencialmente tóxicos. *Agroproductividad*, 10(4), 8–8.
- 332 Herm, J. (2006). Tratamiento biológico de lixiviados de rellenos sanitarios. *Respuestas*, 11(1), 24–32.
333 <https://doi.org/10.22463/0122820X.627>
- 334 Hernandez, M. del C., Alvarez, N., Vaca, R., Marquez, L., & Lugo, J. (2012). Determinación de metales pesados en
335 residuos sólidos y lixiviados en biorreactores a diferentes tasas de recirculación. *María*. (1), 67–75.

- 336 Instituto Nacional de Calidad [INACAL]. (2019). *Norma Técnica Peruana 900.058 - 2019 Gestión de Residuos.*
337 *Códigos de colores para el almacenamiento de residuos sólidos.* (pp. 1–14). pp. 1–14.
- 338 Islas, R., Alpuin, A., Ruiz, A., & Fraire, A. (2018). METALES PESADOS. *Academia Journals*, 9(3), 1435–1439.
- 339 Janon, F., Fausto, P., & Neira, M. (2019). Producción de lixiviados, comparación del método de tchobanoglous con
340 experimentos en lisímetros. *Revista Del Instituto de Investigaciones de La Facultad de Geología, Minas,*
341 *Metalurgia y Ciencias Geográfica*, 21(42), 63–76.
- 342 Madera P., C. A. (2016). Tratamiento de lixiviados de relleno sanitario por medio de humedales construidos
343 sembrados con policultivos de plantas nativas. *Ingeniería y Competitividad*, 18(2), 183.
344 <https://doi.org/10.25100/iyc.v18i2.2166>
- 345 Medina, C. J., Montero, E. M., & Cruz, L. E. (2016). Fenton Process Optimization in the Treatment of. *Revista de La*
346 *Sociedad Química Del Perú.*, 82(4).
- 347 Molano Camargo, F. (2019). El relleno sanitario Doña Juana en Bogotá: la producción política de un paisaje tóxico,
348 1988-2019. *Historia Crítica*, (74), 127–149. <https://doi.org/10.7440/histcrit74.2019.06>
- 349 Morales, S. E., & Rodríguez, A. (2016). Evaluación geológica ambiental para ubicar un relleno sanitario manual en
350 la parroquia Mene de Mauroa, Venezuela. *Environmental and Geologic Assessment to Locate a Manual*
351 *Sanitary Refill in the Mene de Mauroa Church, Venezuela.*, 32(2), 87–101.
- 352 Novelo, R. I. M., Borges, E. R. C., Riancho, M. R. S., Franco, C. A. Q., Vallejos, G. G., & Cisneros, B. J. (2009).
353 Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. *Revista Internacional de Contaminacion*
354 *Ambiental*, 25(3), 133–145.
- 355 Paredes, E. (2013). Identificación de áreas óptimas para relleno sanitario para residuos sólidos de la ciudad de Sandía
356 en Puno. *Universidad Nacional Del Altiplano*, 1–13.
- 357 Pérez, K., Vega, A., Hernández, L., Parra, D., & Ballen, M. (2016). Uso de Scenedesmus para la remoción de
358 metales pesados y nutrientes de aguas residuales para la industria textil. *Ingeniería Solidaria*, 12(20), 95–105.
359 <https://doi.org/10.16925/in.v19i20.1418>
- 360 Primo, O. (2008). *Mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertedero de RSU mediante procesos de oxidacion*
361 *avanzada.* 109.
- 362 Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review
363 and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 150(3), 468–493.
364 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.077>
- 365 Robles, F., Morales, Y., Piña, A., Espíndola, O., Tovar, L., & Valencia, G. (2011). Medición de pH y cuantificación
366 de metales pesados en los lixiviados del relleno sanitario más grande de la zona Metropolitana de la Ciudad de
367 México. *Universidad y Ciencia*, 27(2), 121–132.
- 368 Rodríguez, A., Cuéllar, L., Maldonado, G., & Suardiaz, M. (2016). Efectos nocivos del plomo para la salud del
369 hombre. *Revista Cubana de Investigaciones Biomedicas*, 35(3), 251–271.
- 370 Segura, P., & Rocha, W. A. (2019). *Eficiencia de remocion de contaminantes de lixiviados generados en un relleno*
371 *sanitario mediante un biodigestor y gumedales artificiales de flujo subsuperficial a traves de la especie*
372 *macrofita carrizo.* Universidad Peruana Unión.
- 373 Sharma, P., & Dubey, R. (2017). Lead toxicity in plants. *Lead: Its Effects on Environment and Health*, 17, 491–500.
374 <https://doi.org/10.1515/9783110434330-015>
- 375 Trujillo, O., Trujillo, O., Quintero, A., & Vega, J. (2020). Treatability of the Lixiviates of Sanitary Filling the Hearts
376 of the City of Valledupar Through the Use of Activated Carbon. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*,
377 11(1), 77–90. <https://doi.org/https://doi.org/10.22490/21456453.2750> Revista
- 378 Yang, K., Zhu, Y., Shan, R., Shao, Y., & Tian, C. (2017). Heavy metals in sludge during anaerobic sanitary landfill:
379 Speciation transformation and phytotoxicity. *Journal of Environmental Management*, 189(September), 58–66.
380 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.019>
- 381 Zafra-mejía, C., & Romero-torres, D. (2019). *Tendencias tecnológicas de depuración de lixiviados en rellenos*
382 *sanitarios iberoamericanos * Technology Trends of Leachate Treatment in Ibero-American Landfills*
383 *Tendências tecnológicas de depuração de lixiviados em aterros sanitários ibero-americanos.* 18(35), 125–147.

389 Propuesta de Nombres de revisores:
390
391 - María del Carmen Espinosa Lloréns. Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Investigación
392 maria.espinosa@cnic.edu.cu. Recomendación: es PhD em investigaciones y cuenta com 62 publicaciones y tiene
393 mucha experiencia en el tema.
394
395 - Orestes Arsenio Gonzáles Díaz. Universidad Tecnológica de la Habana. CUJAE. Ingeniería Sanitaria y ambiental.
396 orestes@cih.cujae.edu.cu . Recomendaciones: Por su amplia experiencia em la línea de Ingeniera Ambiental
397
398
399 - Matilde López Torres. Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Investigación. Matilde.lopez@cnic.edu.cu.
400 Recomendaciones: Trabaja em el CNIC, y a elaborado proyectos e investigacion con respecto a las ciências naturales
401 y su tratamiento.
402