

Phytoremediation efficiency of *Pistia stratiotes* and *Eichhornia crassipes* in leachates generated at the Cuñumbuqui landfill

Eficiencia de Fitorremediación de *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en lixiviados generados en el botadero de Cuñumbuqui

Libia Belén Arévalo-Saavedra¹  , Carlos Mauricio Lozano-Carranza¹  , Andi Lozano-Chung²  

¹Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Tarapoto, Perú.

²Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto, Perú.

Cite as

Arévalo-Saavedra LB, Lozano-Carranza CM, Lozano-Chung A. Phytoremediation efficiency of *Pistia stratiotes* and *Eichhornia crassipes* in leachates generated at the Cuñumbuqui landfill. SAP Biomedical & Chemical Engineering Innovation. 2023; 2:56. <https://doi.org/10.56294/evk202356>

Publication History

Submitted: 27-11-2022

Revised: 02-01-2023

Accepted: 09-05-2023

Published: 10-05-2023

Corresponding Author

Libia Belén Arévalo-Saavedra 

ABSTRACT

The present investigation entitled “Eficiencia de fitorremediación de *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en lixiviados generados en el botadero de Cuñumbuqui, San Martín 2020.” It has as a general objective is to evaluate the efficiency of the phytoremediation of the selected species that are the *Pistia stratiotes* and *Eichhornia crassipes*, this research is of an applied type since in the treatment, phytoremediation techniques were applied using macrophyte species under ex situ conditions; with a quasi - experimental design. The population corresponded to the leachate generated in the Cuñumbuqui dump, from which a sample of 130L was obtained, where 20L was distributed for each of the 6 ponds that were used in the treatment, which was carried out in a period After 15 days, the field parameters (pH, temperature, EC and DO) were monitored every 3 days during that time. Likewise, techniques and instruments were used to collect data, respectively, such as: the field record sheet, daily record, and chains of custody. The procedure was developed in stages both in the office for the systematization of information and data, and in the field to carry out the project. In conclusion, the application of macrophyte species in leachates formed in landfills is a treatment alternative, it was found that *Eichhornia crassipes* is more efficient than *Pistia stratiotes*, since it has a greater removal of pollutants to improve the quality of these waters, which that would allow giving it a different final disposition.

Keywords: Phytoremediation; Phytotechnology; Treatment; Leachates.

RESUMEN

La presente investigación titulada “Eficiencia de fitorremediación de *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en lixiviados generados en el botadero de Cuñumbuqui, San Martín 2020.” tiene como objetivo general evaluar la eficiencia de la fitorremediación de las especies seleccionadas que son la *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*, esta investigación es de tipo aplicada ya que en el tratamiento, se aplicaron técnicas de fitorremediación utilizando especies macrófitas en condiciones de ex situ; con un diseño cuasi – experimental; la población correspondió a los lixiviados que se generan en el botadero de Cuñumbuqui, de la cual se obtuvo una muestra de 130L, donde se distribuyó 20L por cada uno de los 6 estanques que fueron empleados en el tratamiento, mismo que se realizó en un periodo de 15 días, los parámetros de campo (pH, temperatura, CE y OD) fueron monitoreados cada 3 días durante ese tiempo; así mismo se utilizaron técnicas e instrumentos para la recolección de datos respectivamente como: la ficha de registro de campo, registro diario y las cadenas de custodia; el procedimiento fue desarrollado por etapas tanto de gabinete para la sistematización de información y datos, como de campo para realizar la ejecución del proyecto. En conclusión, la aplicación de especies macrófitas en lixiviados formados en los botaderos si es una alternativa de tratamiento, se comprobó que la *Eichhornia crassipes* es más eficiente que *Pistia stratiotes*, ya que tiene una mayor remoción de contaminantes para mejorar la calidad de estas aguas, lo que permitiría darle una disposición final diferente.

Palabras clave: Fitorremediación; Fitotecnología; Tratamiento; Lixiviados.

INTRODUCCIÓN

El incremento de la población a nivel mundial ha influido de manera directa, en la contaminación ambiental, debido a la generación simultánea de residuos sólidos domésticos, industriales y mineros, principalmente en las grandes ciudades de los países de América Latina y el Caribe.^(1,2,3,4) Según el programa de la Organización de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente⁽²⁾ “cada ciudadano de Latino América genera 1 kilo de residuos diariamente y la región en su totalidad, produce un promedio de 541 000 toneladas, representando al 10 % de la basura en el mundo”, de las cuales “El 45 % no es tratado o dispuesto adecuadamente en un relleno sanitario y utilizan otras alternativas como los botaderos informales o a cielo abierto”,^(3,5,6,7) que representan uno de las formas más contaminantes y dañinas para el ambiente y la salud procedentes de la gestión inapropiada de los RR.SS y la diferencia del porcentaje se arrojan en fuentes naturales de agua o espacios abandonados o sin control ni protección.^(8,9,10,11)

Los botaderos, constituyen la principal fuente de la formación de gases de efecto invernadero (GEI), causado por el contenido elevado de materia orgánica y a su descomposición, lo cual genera lixiviados; estos son líquidos que se forman por un proceso de percolación de la lluvia formando efluentes con residuos de materia en depósitos de basura. La composición de estos lixiviados varía según diferentes factores como las condiciones climatológicas o el contenido de residuos, así como también el tiempo de vida de estos, ya que en los botaderos jóvenes los lixiviados presentan el Potencial de Hidrogeno (pH) bajo y los metales pesados son altos en cambio los maduros presentan un pH básico y alto contenido de nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) y sales disueltas y en ocasiones concentración de metales pesados muy significantes, afectando suelos agrícolas y recursos hídricos.^(12,13,14,15)

En el Perú, actualmente existen 1585 botaderos, 9 rellenos sanitarios en (Junín, Lima, Ancash y Cajamarca) y 2 rellenos de seguridad en (Lima e Ica). Los botaderos impactan de manera negativa y generan riesgos de gran impacto tanto al medio ambiente y la salud⁽⁴⁾ Así pues, se considera que la contaminación en el país se debe principalmente al inadecuado manejo de residuos, que conlleva a riesgos ambientales, debido a la composición de todo aquel residuo acumulado en estos espacios que ni siquiera cuentan con procesos de segregación, es donde la generación de lixiviados es inevitable ya que su formación se da en espacios abiertos, donde se facilita la formación de efluentes que arrastran gran cantidad de los compuestos presentes en los residuos que afectan directamente el suelo y el agua tanto superficial afectar las aguas subterráneas.^(16,17,18,19)

En la Región San Martín, existe un alto grado de contaminación por residuos sólidos municipales que no son dispuestos adecuadamente, a pesar de contar un relleno sanitario en la localidad de Yacucatina, distrito de Juan Guerra, provincia de San Martín.⁽⁵⁾ Cuñumbuqui, considerado una zona rural, no es ajeno a esta realidad ya que sus residuos sólidos son dispuestos inadecuadamente en un botadero, generando a su vez lixiviados que contaminan suelos potencialmente fértiles para uso agrícola, de la misma manera los efluentes de agua cercanos que tienden a infiltrarse perjudicando principalmente a los recursos naturales, y ecosistemas trayendo consecuencias, como el deterioro de los mismos y la generación de enfermedades que pueden afectar a la población; por tanto se vuelve indispensable tratar los lixiviados generados en este tipo de lugares mediante procesos de fitorremediación usando especies macrófitas con propiedades degradadoras y depuradoras de compuestos orgánicos contaminantes, para la reducción de sus altos contenidos tóxicos y poder dar a conocer la eficiencia de este proceso en aguas contaminadas de este tipo, por esto se formula el siguiente problema; ¿Cuan eficiente será la fitorremediación de *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* de los lixiviados generados en el botadero de Cuñumbuqui, San Martín, 2020?^(20,21,22,23)

El determinar la eficiencia de estas dos especies macrófitas contribuyó con los resultados para que posteriormente la gestión municipal pueda diseñar un sistema de tratamiento de lixiviados que se generan en el botadero; esto evitará la contaminación de las fuentes hídricas y los suelos, por ende, las especies ictiológicas existentes que sirven de alimento para la población, así también en los usos que se vienen dando a dichas aguas. Tiene la finalidad de aportar a la gestión de residuos sólidos con un instrumento ambiental, luego de estudiar y conocer las características del botadero. Dentro de las varias ventajas ambientales, económicas y sociales que se conseguirán mediante la implementación del sistema de tratamiento de lixiviados por fitorremediación con las especies *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*, cabe resaltar que dicho sistema de tratamiento fue de bajos costos por la infraestructura mínima necesaria, los insumos de fácil acceso y las facilidades que brinda la gestión municipal.^(24,25)

Con el desarrollo de este proyecto se busca aportar al campo científico, mediante el estudio de fitorremediación; pues servirá como base para la gestión y ser aplicados en situaciones similares al lugar de ejecución, así mismo resulta oportuno para que la gestión municipal implemente planes de gestión de los RR.SS. Se elaboró técnicas, métodos y desarrollo para la investigación las cuales podrán ser replicadas con especies propias a cada lugar donde se presenten problemas similares al estudio, siendo así, se podrá evaluar la eficiencia de otras especies, a su vez, se podrán relacionar con otros tipos de tratamiento para ampliar y por ende lograr que los lixiviados no causen perjuicio a los recursos y componentes ambientales.^(26,27) Como objetivo general se plantea, evaluar la eficiencia de la fitorremediación de *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en lixiviados generados en el botadero de Cuñumbuqui, San Martín, 2020 y los objetivos específicos son: a) Identificar las características del lixiviado en el botadero de Cuñumbuqui, San Martín 2020, b) Diseñar los estanques pilotos que se emplearan para el tratamiento de los lixiviados generados en la botadero de Cuñumbuqui, San Martín 2020 c) Comparar la eficiencia de fitorremediación de cada especie utilizada en el tratamiento de los lixiviados que se generan en el botadero de Cuñumbuqui, San Martín, 2020”. Así mismo se plantea las siguientes hipótesis; H0: la fitorremediación De *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* no es eficiente en lixiviados generados en el botadero de Cuñumbuqui, San Martin 2020, y H1: la fitorremediación De *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* es eficiente en lixiviados generados en el botadero de Cuñumbuqui, San Martin 2020.

MÉTODO

Tipo y diseño de investigación Tipo de investigación

Según, el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e innovación Tecnológica, la investigación aplicada está orientada a precisar

por medio del conocimiento científico y los medios, sean estos: tecnologías, metodologías y protocolos mediante los cuales se logra cubrir la necesidad reconocida y específica; es por eso que esta investigación fue de tipo aplicada, ya que se aplicaron procesos de fitorremediación en los lixiviados a través de técnicas de la misma, utilizando especies macrófitas en condiciones de ex situ.

Diseño de investigación

Hernández et al.⁽⁵⁾ indican que: “El método cuasi experimental es específicamente útil para el estudio de problemas en los que no se tiene el control total de situaciones, pero se trata de mantener el mayor control posible. Es decir, se recurre a este método cuando se vuelve complicado realizar la clasificación aleatoria de los objetos que participaran en dichos estudio”.

Por lo tanto, este estudio se realizó a través de un diseño cuasi - experimental debido a que la eficiencia de la fitorremediación del lixiviado se evaluó a través de pruebas ex situ, es decir, se estableció un solo grupo experimental, al que se le realizó análisis antes y después del tratamiento. La muestra seleccionada fue evaluada inicialmente.

Posteriormente se acondicionaron las especies macrófitas en los estanques pilotos.

Finalmente se realizaron los análisis de las muestras post tratamiento para obtener resultados.

Pre prueba	Post prueba
G.E.: P1	X P2

Donde:

GE: Grupo experimental.

P1: Prueba pre tratamiento.

P2: Prueba post tratamiento.

X: variable independiente.

Variables y Operacionalización (figura 1)

Variables

Variable independiente: lixiviados del botadero de Cuñumbuqui.

Variable dependiente: eficiencia de la fitorremediación.

Población, muestra y muestreo Población

La población estuvo compuesta por los lixiviados que se generaron en el botadero de Cuñumbuqui con un volumen de 61 500 m3.

Criterio de inclusión

Para la población seleccionada, se consideró:

- Los lixiviados, producto de la descomposición de los residuos sólidos en zonas homogéneas del botadero del distrito Cuñumbuqui.
- Lixiviados dirigidos a la poza de contención.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Lixiviados del botadero de Cuñumbuqui	Los lixiviados son producto de un proceso de percolación de líquidos a través de los residuos sólidos; es decir, sustancias líquidas que brotan o se infiltran hacia donde se encuentra instalado un relleno sanitario o bien un botadero" (Méndez, 2009).	Los Lixiviados se medirán de acuerdo a los métodos establecidos para los parámetros: STS = SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. 2012, DQO = SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017, DBO = SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017, Coliformes totales = SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B y C. 23rd Ed 2017, Metales Pesados = EPA Method 6020B Rev. 2 July (2014), (Validado Modificado, 2018).	- Agua: - Parámetros generales - Parámetros orgánicos - Parámetros biológicos	- Sólidos totales en suspensión - pH - Temperatura - CE y DO - DBO - DQO - Coliformes totales	Intervalo
Eficiencia de la fitorremediación	La Rizofiltración está basada en que ciertas plantas acuáticas, de algas, humedales, hongos y bacterias, llegan a ser buenos biosorbentes de contaminantes que están presentes en las aguas y se realiza mediante las raíces (Díez, 2008).	Se realizó Análisis de homogeneidad de los grupos y tratamientos según el diseño DBCA (Diseño de Bloques Completamente al Azar). La técnica de filtración se obtuvo mediante el método de Tukey, por último, se compararon los resultados de ambas especies con una diferencia de medias de T student.	- Eficiencia de remoción - Técnica de filtración: - <i>Pistia stratiotes</i> - <i>Eichhornia crassipes</i>	- % de remoción - % de absorción	Intervalo Razón

Figura 1. Operacionalización de variables

Criterio de exclusión

No se consideraron lixiviados de otras zonas de almacenamiento porque no fueron formados de primera mano por los residuos del botadero, es decir se tiene en cuenta factores como la escorrentía, un posible rebalse de la posa y la infiltración que ocasionan que estos se contengan en otras áreas del botadero.

Muestra

La muestra estuvo compuesta por un total de 130 litros (1,3 m³) de lixiviados, los cuales se distribuyeron en 6 estanques de madera, cada uno con una capacidad de 20 litros, con un adicional de 10 litros de muestra que fue tomada inicialmente para conocer las condiciones de estas aguas previo al tratamiento.

Muestreo

El muestreo aplicado fue no probabilístico debido a que los investigadores decidieron la cantidad de muestra, siendo esta representativa, de lixiviados que se generaron en el botadero de Cuñumbuqui, realizando una selección según condiciones o criterios propios.

Unidad de análisis

Cada estanque con los lixiviados del botadero de Cuñumbuqui.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

Las técnicas empleadas para el estudio fueron, la experimentación aplicando los pilotos, la observación directa y la descripción, de esta manera se registraron los datos obtenidos en los análisis muestrales previo y al tratamiento para ver la variante de nuestros resultados.

Instrumentos

Para registrar los datos que se obtuvieron en los trabajos de campo se utilizó:

- Ficha de registro de campo; a partir de la observación in situ se recaudó información precisa que nos permitió identificar características específicas del objeto de estudio para la interpretación posterior.
- Ficha de registro diario, para llevar un registro escrito de los datos, valores y acontecimientos observados durante el desarrollo del tratamiento.
- La Cadena de custodia que es otorgada por el laboratorio, se especificó la toma de muestras, la rotulación y conservación para el análisis correspondiente.
- Multiparámetro de marca ODEON modelo Ponsel, necesario para realizar la medición de valores de los parámetros: pH, temperatura, CE y OD.
- GPS marca GARMIN modelo GPSmap 62s para la toma de datos de ubicación de los lixiviados.
- Cámara fotográfica marca NIXON modelo 4000XS, que sirvió para la obtención de evidencias en imágenes.

Validación

Los instrumentos de recolección de datos como, la ficha de registro de campo y registro diario fueron validados por especialistas y expertos en investigación, mediante una ficha de validación de instrumentos aprobados por el vicerrectorado de investigación de la UCV. Dra. Ana Noemí Sandoval Vergara, Doctora en Educación, Dr. Andi Lozano Chung, Doctor en Gestión Pública y Dr. Froy Torres Delgado, Doctor en Ciencias Ambientales.

Procedimientos

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se consideró las siguientes etapas:

Etapas 1: Gabinete inicial

Se elaboraron e imprimieron las fichas de registro de campo y diario previamente validados.

Se seleccionaron las especies macrófitas considerando su potencial de absorción de lixiviados mediante el tratamiento ex situ, la cantidad de producción en la región y el valor adicional sobre el uso de especies autóctonas.

Especie1	Descripción	Figura
<u><i>Eichhornia crassipes</i></u> (Jacinto de agua)	- Familia: <u>Pontederiaceae</u> - Especie: <u>Crassipes</u> - Género: <u>Eichhornia</u>	

Figura 2. Descripción de *Eichhornia crassipes*

Especie2	Descripción	Figura
<i>Pistia stratiotes</i> (lechuga de agua)	- Familia: <i>Araceae</i> - Especie: <i>Pistia stratiotes</i> L. - Género: <i>Pistia</i> L.	

Figura 3. Descripción de *Pistia stratiotes*

Luego, se procedió a conocer el área de estudio para elaborar el mapa de ubicación.

Luego, se cotizó el presupuesto del laboratorio para el análisis de las muestras de lixiviados (DBO, DQO, Sólidos Totales en Suspensión, coliformes totales) y se coordinó los envíos y entrega de materiales según el cronograma.

Etapa 2: Campo

Para la ejecución del proyecto, se identificaron los puntos de muestreo según el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos, en base al tipo de muestra integrada, que consiste en homogenizar muestras puntuales tomadas en diferentes puntos simultáneamente para conocer sus condiciones, esto se consideró ya que no existe ningún protocolo nacional para el muestreo de lixiviados.

Así mismo se empleó la ficha de campo en la cual se describieron las características propias para la planificación de un monitoreo, así como los lugares de acceso, datos de ubicación geográfica, los valores de los parámetros de campo: (pH, temperatura, CE y OD), las cuales fueron evaluados con el multiparámetro, características del lugar, dimensiones de la laguna de los lixiviados y la ubicación de las zonas de muestreo y recolección.

Se acondicionó un espacio en el distrito de Tarapoto que disponía de las condiciones adecuadas para evitar alteraciones en el proceso, como ventilación, acceso a luz solar y techo, en un área alejada para no causar molestias por la posible emisión de olores de lixiviados.

Se diseñaron los estanques en un modelado 3D en el software AutoCAD 2017, luego fueron fabricados con listones de madera de 40cm largo x 30cm ancho x 25cm altura, se empleó plástico polietileno para el recubrimiento interior, sujetos con tiras elásticas para evitar movimientos, luego fueron ubicados en el espacio previamente acondicionado.



Figura 4. Estanques de madera que fueron utilizados en el tratamiento

Se determinó el número de plantas que se emplearon en cada tratamiento, considerando los antecedentes y las dimensiones del estanque, ya que lo eficiente se reportaba a partir de 10 plantas; se estimó 5 más y 5 menos para comprobar la funcionalidad del tratamiento, es decir 5, 10 y 15 fueron las cantidades aplicadas para ambos tratamientos.



Figura 5. Diseño de los estanques con la cantidad correspondiente de plantas

Se precedió a recolectar las especies macrófitas previamente descritas, la *Pistia stratiotes* que se encontraba en el centro poblado Santa Rosa de Cumbaza, “laguna Ricuricocha” y la *Eichhornia crassipes* que se ubicó en la provincia de rioja en la “laguna Mashuyacu”, 10 días previos a la ejecución.



Figura 6. Recolección de las especies macrófitas

Se realizó la limpieza de las raíces de cada planta con agua potable y se aclimataron en bandejas en un periodo de 10 días para retirar impurezas y obtener mejores resultados.

Se recolectaron y transportaron las muestras de lixiviado al espacio acondicionado.



Figura 7. Recolección de los lixiviados del botadero / distribución del lixiviado en los estanques

Asimismo, se realizó la toma de muestra para su envío a laboratorio ALS LS PERU S.A.C. acreditado por INACAL, junto a la cadena de custodia correctamente llenada (parámetros a evaluar: DBO, DQO, Sólidos Totales en Suspensión y coliformes totales) según la RJ 010- 2016-ANA. Los métodos y requerimientos para la determinación de valores de los parámetros evaluados en laboratorio.



Figura 8. Recolección de las muestras para el envío al laboratorio

También se procedió a evaluar los parámetros de campo: (pH, temperatura, CE y OD), con el multiparámetro ODEON modelo Ponsel y los resultados fueron registrados en la ficha de campo. Se colocaron las especies macrófitas en los estanques según la cantidad que corresponde a cada tratamiento.



Figura 9. Distribución de las especies en cada uno de los estanques

Se realizó el monitoreo de los parámetros de campo en cada uno de los estanques con una frecuencia de cada 3 días, durante 15 días.

El día 15, se tomaron las muestras de cada estanque, para su envío al laboratorio ALS LS PERU S.A.C. acreditado por INACAL, donde fueron analizados los parámetros: DBO, DQO, Sólidos Totales en Suspensión y coliformes totales.

Etapa 3: Gabinete final

Recepción de los informes de ensayo del laboratorio, tanto del pre – tratamiento (in situ) considerado como día 0, como el post tratamiento (ex situ) del último muestreo, es decir el día 15, tomado de cada uno de los 6 estanques.

- Se interpretó y comparó los resultados a través de IBM SPSS 25 y el diseño (DBCA).
- Se elaboró las tablas y gráficos correspondientes.
- Se redactó el informe final.

Método de análisis de datos

Los valores de concentración de los parámetros que fueron obtenidos en campo y laboratorio serán tabulados en el software IBM SPSS 25, para proceder con el Análisis de homogeneidad de los grupos y tratamientos según el diseño (DBCA), se utilizaron figuras que muestran el avance y progresión del tratamiento, de la misma manera se aplicó el método Tukey, que tiene como fin comparar las medias individuales provenientes de un análisis de varianza de varias muestras sometidas a tratamientos distintos, además se tomaron los valores referenciales de los LMP (pH, DBO₅, DQO, SST y Coliformes totales), propuestos por el MINAM en el 2009 para la descarga de efluentes líquidos de tratamiento de residuos sólidos y lixiviados de rellenos sanitarios y de seguridad, los valores referenciales de temperatura, CE OD se tomaron de una investigación similar que se encuentra en los antecedentes y que fue publicada en la revista científica ingeniería hidráulica y ambiental

Aspectos éticos

El proyecto se cumplió estrechamente de acuerdo con el proceso de desarrollo de la tesis y a la guía de la Universidad Cesar Vallejo, donde está establecido el formato de proyecto de investigación, bajo la ética de cada investigador, la información obtenida de trabajos de investigación, artículos científicos y páginas web institucionales, relacionada con diferentes autores nos ayudó a mejorar la teoría de esta investigación sin modificar ni cambiar las referencias obtenidas, respetando así los derechos de autor. Para los trabajos de laboratorio fueron necesario apoyarnos de las normas de bioseguridad para la prevención de peligros durante el trabajo, los resultados del laboratorio no fueron alterados con el de que la investigación sea formal.

RESULTADOS

Descripción del botadero municipal de Cuñumbuqui

A continuación, se muestra la figura 10 con las características del botadero.

Características			
Tipo de botadero	Residuos sólidos ingresados	Tipo de municipio	Edad
Cielo abierto	1,8 ton (semanal)	Rural	Mas de 20 años

Figura 10. Características del botadero

Interpretación

El botadero ubicado en la zona rural del distrito de Cuñumbuqui tiene más de 20 años de funcionamiento en donde recepciona en promedio 1,8 toneladas semanales, al ser un botadero tiene dichas características tales como cielo abierto, acceso casi abierto para las personas, con una cercanía de 10 minutos a la ciudad.

Identificación de las características de los lixiviados

Parámetro	Unidad	LIXI 1	Valor referencial
pH	-	6.60	6,5-8,5
CE	mg/L	6,82 μ S/cm	3,5
OD	mg/L	0.0 %	2
T (°C)	mg/L	21.57 °C	50
DBO ₅	mg/L	136	20
DQO	mg/L	351	120
SST	mg/L	77	30
Coliformes totales	NMP/100mL	2400	1000

Figura 11. Características de los lixiviados

Interpretación

En la figura 11 se observa las características de los lixiviados, que son los parámetros con su unidad respectiva, también contiene los valores obtenidos en el análisis previo que fue determinado como LIXI 1, comparándolo con valores referenciales, donde el pH se muestra ligeramente ácido, con respecto a OD los resultados fueron cero lo que indica anoxia en los lixiviados, las concentraciones de DBO₅ y DQO fueron elevadas, señalando alto contenido de materia orgánica, igualmente se encontró alto contenido de coliformes totales.

Diseño de los estanques

Especie	Dimensiones (cm)	Cantidad (V)	Tratamiento
<i>Eichhornia crassipes</i>	40cm x 30cm x 25cm	25cmx 20 L	1
			2
			3
<i>Pistia stratiotes</i>			1
			2
			3

Figura 12. Diseño de los estanques

Interpretación

Se diseñaron los estanques para cada tratamiento en base a las dimensiones que fueron 40cm x 30cm x 25cm, el volumen del agua que se empleó.

Análisis de homogeneidad de los grupos y tratamientos según el diseño DBCA (Diseño de Bloques Completamente al Azar).

Para la aceptación o rechazo de la hipótesis nula, planteamos la siguiente hipótesis:

H₀: Si el valor de la significancia (sig.) es mayor o igual a 0,05, aceptamos que no hay diferencia significativa entre los grupos o tratamientos de la investigación; los grupos y tratamientos son homogéneos.

H_a: Si el valor de la significancia (sig.) es menor a 0,05, aceptamos que si hay diferencia significativa entre los grupos o tratamientos de la investigación; los grupos y tratamientos son heterogéneos.

Prueba de homogeneidad para el pH

DBCA	GRUPOS		
	Grupo Control	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Pistia stratiotes</i>
Tratamiento 1	6,32	6,32	6,36
Tratamiento 2	6,32	6,34	6,34
Tratamiento 3	6,32	6,41	6,32

Figura 13. Matriz DBCA para el pH

Interpretación

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,003 ^a	4	,001	,547	,713
Intersección	361,634	1	361,634	307047,406	,000
Grupos	,002	2	,001	,858	,490
Tratamientos	,001	2	,000	,236	,800
Error	,005	4	,001		
Total	361,641	9			
Total corregida	,007	8			

Figura 14. Resultados pre test para el pH– DBCA

Los valores obtenidos del pH al inicio del experimento, el cual nos debe proporcionar homogeneidad en los resultados que es el principio de investigación científica; es decir que los medios son controlados por los investigadores.

Interpretación

Como el valor de significancia del modelo (0,713); de los grupos (0,490) y los tratamientos (0,800), son mayores al error (0,05); entonces aceptamos la hipótesis nula, de que no hay diferencia significativa entre los grupos o tratamientos de la investigación; los grupos y tratamientos son homogéneos para el pH.

Prueba de homogeneidad para DBO5

DBCA	GRUPOS		
	Grupo Control	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Pistia stratiotes</i>
Tratamiento 1	136	136	136
Tratamiento 2	136	136	136
Tratamiento 3	136	136	136

Figura 15. Matriz DBCA - DBO5

Interpretación

Los valores obtenidos de DBO5 al inicio del experimento, el cual nos debe proporcionar homogeneidad en los resultados que es el principio de investigación científica; es decir que los medios son controlados por los investigadores. Debido a que los resultados son constantes, deducimos que los grupos y tratamientos son homogéneos.

Prueba de homogeneidad para SST

DBCA	GRUPOS		
	Grupo Control	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Pistia stratiotes</i>
Tratamiento 1	77	77	77
Tratamiento 2	77	77	77
Tratamiento 3	77	77	77

Figura 16. Matriz DBCA para SST

Interpretación

Los valores obtenidos de SST al inicio del experimento, el cual nos debe proporcionar homogeneidad en los resultados que es el principio de investigación científica; es decir que los medios son controlados por los investigadores. Debido a que los resultados son constantes, deducimos que los grupos y tratamientos son homogéneos.

Prueba post test de los grupos y tratamientos según el diseño DBCA (Diseño de Bloques Completamente al Azar).

Para la aceptación o rechazo de la hipótesis nula, planteamos la siguiente hipótesis:

Ho: si el valor de la significancia (sig.) es mayor o igual a 0,05, aceptamos que no hay diferencia significativa entre los grupos o tratamientos de la investigación; los grupos y tratamientos son homogéneos.

Ha: si el valor de la significancia (sig.) es menor a 0,05, aceptamos que si hay diferencia significativa entre los grupos o tratamientos de la investigación; los grupos y tratamientos son heterogéneos.

Prueba post test para el pH

DBCA	GRUPOS		
	Grupo Control	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Pistia stratiotes</i>
Tratamiento 1	7,24	7,74	7,93
Tratamiento 2	7,24	7,60	7,88
Tratamiento 3	7,24	7,46	7,60

Figura 17. Matriz DBCA para el pH

Interpretación

Los valores obtenidos del pH al final del experimento, el cual nos debe proporcionar heterogeneidad en los resultados que es el objetivo de esta investigación científica; es decir que los medios son controlados por los investigadores para testear las posibles diferencias entre grupos y tratamientos.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,553 ^a	4	,138	14,749	,012
Intersección	512,721	1	512,721	54673,992	,000
Grupos	,488	2	,244	26,034	,005
Tratamientos	,065	2	,032	3,463	,134
Error	,038	4	,009		
Total	513,311	9			
Total corregida	,591	8			

Figura 18. Resultados post test para el pH– DBCA

Interpretación

Como el valor de significancia del modelo (0,012) es menor al error (0,05); rechazamos la hipótesis nula, y aceptamos la hipótesis alterna de que si hay diferencia significativa entre los grupos o tratamientos de la investigación; los grupos y tratamientos son heterogéneos, podemos observar para el valor de significancia de los grupos (0,005) el cual nos indica diferencia significativa; y en los tratamientos (0,134), no lo son.

(I) Grupos		Sig.	(I) Tratamientos		Sig.
Grupo Control	<i>Eichhornia crassipes</i>	,023	al 5%	al 10%	,722
	<i>Pistia stratiotes</i>	,005		al 15%	,127
<i>Eichhornia crassipes</i>	Grupo Control	,023	al 10%	al 5%	,722
	<i>Pistia stratiotes</i>	,127		al 15%	,289
<i>Pistia stratiotes</i>	Grupo Control	,005	al 15%	al 5%	,127
	<i>Eichhornia crassipes</i>	,127		al 10%	,289

Figura 19. Comparaciones múltiples post test del pH – Método Tukey

Interpretación

Existe diferencia significativa en la concentración de pH, en los grupos, grupo control, grupo *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* sig. (0,005, 0,023 < 0,05). En los tratamientos no existe diferencia significativa.

Grupos		Media Tratamientos	Media Grupo
Grupo Control	al 5%	7,240	7,240
	al 10%	7,240	
	al 15%	7,240	
<i>Eichhornia crassipes</i>	al 5%	7,740	7,600
	al 10%	7,600	
	al 15%	7,460	
<i>Pistia stratiotes</i>	al 5%	7,930	7,930
	al 10%	7,880	
	al 15%	7,600	

Figura 20. Resumen de promedios del pH

Interpretación

Se llegó a determinar que existe diferencia significativa entre grupos, teniendo el pH más básico el grupo *Pistia stratiotes*; en los tratamientos no hubo diferencia significativa, sin embargo, el mayor promedio de pH se observa en el tratamiento al 5 % en forma descriptiva.

Prueba post test para DBO5

DBCA	GRUPOS		
	Grupo Control	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Pistia stratiotes</i>
Tratamiento 1	86	2	5
Tratamiento 2	86	5	3
Tratamiento 3	86	4	6

Figura 21. Matriz DBCA para DBO5

Interpretación

Los valores obtenidos de DBO5 al final del experimento, el cual nos debe proporcionar heterogeneidad en los resultados que es el objetivo de esta investigación científica; es decir que los medios son controlados por los investigadores para testear las posibles diferencias entre grupos y tratamientos.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	<u>13396,444^a</u>	4	3349,111	1722,400	,000
Intersección	8898,778	1	8898,778	4576,514	,000
Grupos	13394,889	2	6697,444	3444,400	,000
Tratamientos	1,556	2	,778	,400	,694
Error	7,778	4	1,944		
Total	22303,000	9			
<u>Total corregida</u>	13404,222	8			

Figura 22. Resultados post test para DBO5 – DBCA

Interpretación

Como el valor de significancia del modelo (0,000) es menor al error (0,05); rechazamos la hipótesis nula, y aceptamos la hipótesis alterna de que si hay diferencia significativa entre los grupos o tratamientos de la investigación; los grupos y tratamientos son heterogéneos, podemos observar para el valor de significancia de los grupos (0,000) el cual nos indica diferencia significativa; y en los tratamientos (0,694), no lo son.

(I) Grupos		Sig.	(I) Tratamientos		Sig.
Grupo Control	<i>Eichhornia crassipes</i>	,000	al 5%	al 10%	,954
	<i>Pistia stratiotes</i>	,000		al 15%	,680
<i>Eichhornia crassipes</i>	Grupo Control	,000	al 10%	al 5%	,954
	<i>Pistia stratiotes</i>	,680		al 15%	,835
<i>Pistia stratiotes</i>	Grupo Control	,000	al 15%	al 5%	,680
	<i>Eichhornia crassipes</i>	,680		al 10%	,835

Figura 23. Comparaciones múltiples post test de DBO5 – Método Tukey

Interpretación

Existe diferencia significativa en la concentración de DBO5, en los grupos control, grupo *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*, sig. (0,000 < 0,05); En los tratamientos no existe diferencia significativa.

Grupos		Media Tratamientos	Media Grupo
Grupo Control	al 5%	86	86,00
	al 10%	86	
	al 15%	86	
<i>Eichhornia crassipes</i>	al 5%	2	3,67
	al 10%	5	
	al 15%	4	
<i>Pistia stratiotes</i>	al 5%	5	4,67
	al 10%	3	
	al 15%	6	

Figura 24. Resumen de promedios de DBO5

Interpretación

Se llegó a determinar que existe diferencia significativa entre grupos, teniendo las menores concentraciones de DBO5 en los grupos *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*; en los tratamientos no hubo diferencia significativa, sin embargo, podemos recalcar el grupo *Eichhornia crassipes* con el tratamiento al 10 %.

Prueba post test para SST

DBCA	GRUPOS		
	Grupo Control	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Pistia stratiotes</i>
Tratamiento 1	45	18	4
Tratamiento 2	45	29	4
Tratamiento 3	45	32	16

Figura 25. Matriz DBCA para SST

Interpretación

Los valores obtenidos de SST al final del experimento, el cual nos debe proporcionar heterogeneidad en los resultados que es el objetivo de esta investigación científica; es decir que los medios son controlados por los investigadores para testear las posibles diferencias entre grupos y tratamientos.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2167,111 ^a	4	541,778	23,785	,005
Intersección	6293,778	1	6293,778	276,312	,000
Grupos	2053,556	2	1026,778	45,078	,002
Tratamientos	113,556	2	56,778	2,493	,198
Error	91,111	4	22,778		
Total	8552,000	9			
Total corregida	2258,222	8			

Figura 26. Resultados post test para SST – DBCA

Interpretación

Como el valor de significancia del modelo (0,005) es menor al error (0,05); rechazamos la hipótesis nula, y aceptamos la hipótesis alterna de que si hay diferencia significativa entre los grupos o tratamientos de la investigación; los grupos y tratamientos son heterogéneos, podemos observar para el valor de significancia de los grupos (0,002) el cual nos indica diferencia significativa; y en los tratamientos (0,198), no lo son.

(I) Grupos		Sig.	(I) Tratamientos		Sig.
Grupo Control	<i>Eichhornia crassipes</i>	,019	al 5%	al 10%	,647
	<i>Pistia stratiotes</i>	,002		al 15%	,180
<i>Eichhornia crassipes</i>	Grupo Control	,019	al 10%	al 5%	,647
	<i>Pistia stratiotes</i>	,020		al 15%	,474
<i>Pistia stratiotes</i>	Grupo Control	,002	al 15%	al 5%	,180
	<i>Eichhornia crassipes</i>	,020		al 10%	,474

Figura 27. Comparaciones múltiples post test de SST – Método Tukey

Interpretación

Existe diferencia significativa en la concentración de SST, en los grupos control, grupo *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*, sig. (0,002, 0,019, 0,020 < 0,05); En los tratamientos no existe diferencia significativa.

Grupos		Media Tratamientos	Media Grupos
Grupo Control	al 5%	45	45
	al 10%	45	
	al 15%	45	
<i>Eichhornia crassipes</i>	al 5%	18	26,33
	al 10%	29	
	al 15%	32	
<i>Pistia stratiotes</i>	al 5%	4	8
	al 10%	4	
	al 15%	16	

Figura 28. Resumen de promedios de SST

Interpretación

Se llegó a determinar que existe diferencia significativa entre grupos, teniendo las menores concentraciones de SST en el grupo *Pistiastratiotes*; en los tratamientos no hubo diferencia significativa, sin embargo, podemos recalcar el tratamiento al 5 %.

Análisis comparativo de los parámetros

Estadísticos	pH	DBO ₅	SST
Media pre test	6,339	136,000	77,000
Media post test	7,548	31,444	26,444
Estadístico t	-13,264	7,663	9,027
P(T<=t) una cola	0,000	0,000	0,000
Valor crítico de t (una cola)	-1,860	1,860	1,860

Figura 29. Diferencias de medias T Student para los parámetros

Interpretación

Al realizar el contraste del pre y post test de los parámetros en estudio, podemos observar que existe diferencia significativa en los resultados, debido a que la probabilidad T Student de una cola (0,000) es menor al error (0,05). Al analizar la diferencia de medias del parámetro pH, observamos que el post test es mayor al pre test, y en los parámetros DBO5 como SST es al contrario, obteniendo promedios menores en el post test comparado al pre test que es lo que se espera.

DISCUSIÓN

La disposición de los residuos sólidos en botaderos, genera lixiviados con alta capacidad contaminante, provocando graves impactos ambientales sobre las fuentes de agua tanto en las superficiales y las subterráneas, como también en el suelo, por lo que se considera que este proyecto es importante para contribuir con la conservación de los recursos naturales.^(28,29)

Las características de los lixiviados fueron identificados a través de factores, como la composición, la edad del botadero y la cantidad de residuos ingresados, además se realizó un análisis físico – químico, orgánico y biológico, donde los resultados señalaron que efectivamente existe alta concentración de estos compuestos (SST, DBO5, DQO y Coliformes totales) también se encontró un pH ligeramente ácido, los valores de OD fueron cero, en cuanto a la temperatura se obtuvo valores normales respectivamente, típico del clima de la zona, tal como lo señala; Pellón et al.⁽⁶⁾, su objetivo fue caracterizar los lixiviados y estimar su generación en un vertedero de la Habana (ciudad), demostraron de igual manera que los lixiviados se caracterizan por su alta concentración de compuestos principalmente orgánicos (DBO5 y DQO), SST y microorganismos patógenos (coliformes), los valores de OD fueron casi cero igualmente la temperatura se adecuó al clima de la zona, por lo que se puede deducir que no existe mucha variación en los lixiviados que se forman en botaderos de distintos territorios.^(30,31)

El diseño de los estanques fue creado previamente en un formato 3D con la finalidad de tener el modelo con las dimensiones de cada lado para facilitar su construcción, los materiales empleados como la madera y la cinta fueron reciclados, reduciendo los costos, y al término de la ejecución del proyecto, los estanques fueron donados a un investigador que realizará un proyecto similar, Fasani et al.⁽⁷⁾ mencionan que su experimento fue realizado en macetas para contención de fugas de lixiviados, es decir, que el diseño para los tratamientos fue diferente en cada investigación.

Durante los 15 días de tratamiento, se realizaron 5 monitoreos a los parámetros de campo, también se observó la evolución de las plantas y de los lixiviados, a partir del día 3 de monitoreo, las plantas de la especie *Pistia stratiotes* presentaban una ligera degradación en las hojas, en el 5to monitoreo estos cambios fueron más notorios ya que sus hojas se degradaron casi en su totalidad y los lixiviados presentaban un color más claro; la *Eichhornia crassipes* no mostraba ningún cambio en sus plantas pero si en los lixiviados, ya que su tonalidad oscura fue aclarándose, en cambio en el monitoreo 5 se presentaba una tonalidad oscura en sus raíces y tallos, la aclaración de los lixiviados fue más notoria en este tratamiento.^(32,33)

Luego de obtener los resultados del monitoreo y de laboratorio se realizó la comparación de los componentes evaluados, entre ambas especies, en la se puede observar que existe diferencia significativa entre grupos, teniendo el pH más básico el grupo de *Pistia stratiotes*, aun así el promedio de pH más alto (7930) se observa en el tratamiento con 5 plantas en forma descriptiva, en la figura 16 se muestran que en los tratamientos no hubo diferencia significativa, sin embargo se debe recalcar el grupo *Eichhornia crassipes* que DBO5 de 86 descendió a 5 en el tratamiento de 10 plantas; se observa la diferencia de medias del parámetro pH, donde el post test es mayor al pre test, y en los parámetros DBO5 como SST es al contrario, obteniendo promedios menores en el post test comparado al pre test que es lo que se esperaba en los resultados finales, de acuerdo a esto se puede decir que *Pistia stratiotes* resulta más eficiente en la fitorremediación de lixiviados; de la misma manera Sari et al.⁽⁸⁾ en su investigación: “The Effectiveness of Filter Media and *Echinodorus palaefolius* on Phytoremediation of Leachate” demostraron que hubo efecto significativo en la calidad del lixiviado al aplicar medios filtrantes y la especie *Echinodorus palaefolius* para su tratamiento, concluyendo que *Echinodorus palaefolius* es mejor para los medios de fitorremediación de lixiviados.^(34,35)

CONCLUSIONES

Se evaluó la eficiencia de las especies *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en la cual se obtuvo como resultado que la *Pistia stratiotes* es fue más eficiente que *Eichhornia crassipes*, ya que tiene una mayor remoción de contaminantes para mejorar la calidad de estas aguas, dando que la aplicación de estas especies macrófitas en lixiviados formados en los botaderos si es una alternativa de tratamiento, lo que permitiría darle una disposición final diferente.

Se identificaron que las características de los lixiviados, fueron, pH con 6,6, CE con 1506, OD con 41,23, DBO5 con 136 mg/L, DQO con 351 mg/L, SST con 77 mg/L, coliformes totales con 2400 y la Temperatura fue de 21,57°, estos valores nos indicaron que las aguas se encontraban excediendo cualquier LMP, a excepción de la Temperatura y el pH, en la cual se podría identificar o posterior al análisis de los valores evaluados en campo las cuales se encontraban dentro de los LMP, estos aguas lixiviados corresponden al botadero de Cuñumbuqui.

El diseño fue estructurado inicialmente en un formato modelo 3d virtual, considerando el volumen necesario de 20 litros para las especies, la altura para la aeración de las mismas y la cantidad de especies, posterior a ello se hizo de forma física utilizando los materiales de madera y hule reciclado teniendo las dimensiones de 40 cm x 30 cm x 25cm, la estructura resultó finalmente funcional para el desarrollo de la investigación.

De la comparación entre las especies *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*, se concluye que fue la especie *Pistia stratiotes*, en el tratamiento 2 con 10 especies fue la que mejor eficiencia resultó.

RECOMENDACIONES

A la municipalidad del distrito de Cuñumbuqui, realizar una mejor gestión en cuanto al manejo de sus residuos sólidos, implementando programas de reciclaje, segregación e incluso la reutilización, con propuestas innovadoras dirigidas a la población.

A las municipalidades que se ubican en zonas rurales, implementar este tipo de tratamiento en los lixiviados que se generan en sus botaderos respectivamente, con la finalidad de detener o reducir la producción de este líquido contaminante, recalcando que es un sistema de bajos costos, sin inconvenientes y con muy buenos resultados, las especies empleadas se encuentran en la zona por lo que adquirirlo no es complicado.

A los profesionales responsables del área ambiental de la municipalidad distrital de Cuñumbuqui, realizar un tratamiento de aguas de lixiviado, para evitar la contaminación directa de los recursos naturales y darle una alternativa de reusar las aguas de lixiviado.

Informar a la población sobre la situación actual del control y manejo de los residuos sólidos, pues según lo estudiado, el distrito carece de acción ante esta problemática, a partir de allí crear conciencia fomentando la educación ambiental realizando talleres sobre la importancia y beneficios de un buen manejo de los residuos sólidos.

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Libia Belén Arévalo-Saavedra, Carlos Mauricio Lozano-Carranza, Andi Lozano-Chung.

Curación de datos: Libia Belén Arévalo-Saavedra, Carlos Mauricio Lozano-Carranza, Andi Lozano-Chung.

Análisis formal: Libia Belén Arévalo-Saavedra, Carlos Mauricio Lozano-Carranza, Andi Lozano-Chung.

Redacción – borrador original: Libia Belén Arévalo-Saavedra, Carlos Mauricio Lozano-Carranza, Andi Lozano-Chung.

Redacción – revisión y edición: Libia Belén Arévalo-Saavedra, Carlos Mauricio Lozano-Carranza, Andi Lozano-Chung.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Saenz J. Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. Rev Omnia. 2014;20(3):123-5. <https://www.redalyc.org/pdf/737/73737091009.pdf>
2. ONU. Medio Ambiente. Perspectiva de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe. 1ª ed. Panamá: Shutterstock.com; 2018. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26448/Residuos_LAC_ES.pdf?sequence=1&isAllowed=y
3. Tello P, et al. Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010. México: Inter-American Development Bank; 2010. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Informe-de-la-evaluaci%C3%B3n-regional-del-manejo-de-residuos-s%C3%B3lidos-urbanos-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-2010.pdf>
4. OEFA. Fiscalización ambiental en aguas residuales. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental; 2014. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=6471
5. Hernández R, et al. Metodología de la investigación. 6ª ed. México: Interamericana Editores; 2014. ISBN: 9786071502919.
6. Pellón A, López M, Espinosa M, González O. Propuesta para tratamiento de lixiviados en un vertedero de residuos sólidos urbanos. Rev Ing Hidrául Ambient. 2015;36(2):3-16. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382015000200001
7. Fasani E. Phytoremediatory efficiency of Chrysopogon zizanioides in the treatment of land-fill leachate: a case study. Environ Sci Pollut Res. 2018;1(1). https://vetiver.org/ITA_Leachate%20Italian.pdf
8. Sari E. The effectiveness of filter media and echinoderms palaeofolius on phytoremediation of leachate. IOP Conf Ser Earth Environ Sci. 2018;175(1). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/175/1/012096/pdf>
9. Becerra C. Inauguración de planta de valorización de residuos sólidos en Tarapoto. Andina. Lima: Agencia Peruana de noticias; 2019;1(1). <https://andina.pe/agencia/noticia-san-martin-inauguran-planta-valorizacion-residuos-solidos-tarapoto-754813.aspx>
10. Chandra P, Vinuprakash K, Arun S. Treatment of domestic wastewater using Vermi-Biofiltration system with and without wetland plants. Int J Civil Eng Technol. 2018 abr;9(4). http://www.iaeme.com/MasterAdmin/uploadfolder/IJCIET_09_04_046/IJCIET_09_04_046.pdf

11. Delgadillo A, et al. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Uni-versidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Rev Int Contam Ambient. 2011;14(2):12-4. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-04622011000200002&script=sci_arttext
12. Díez J. Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: evaluación de plan-tas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas. Santiago de Compostela (ES): Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Biología; 2008. https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/2540/9788498872026_content.pdf?sequence=1&isAllowed=y
13. Environmental Protection Agency (EPA). Environmental Management Support, Inc.; 1999. <https://clu-in.org/download/remed/phytoresgude.pdf>
14. CRQ. Especie. En: Glosario de Términos Ambientales. Oficina de Comunicaciones. p.17. <https://www.crq.gov.co/Documentos/GLOSARIO%20AMBIENTAL/GLOSARIO%20AMBIENTAL.pdf>
15. Espinoza MC, et al. Análisis del comportamiento de los lixiviados generados en un verte-dero de residuos sólidos municipales en La Habana. Rev Int Contam Ambient. 2010;26(4). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992010000400006
16. Ghosh M, Singh SP. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its by products. Asian Energy J. 2005;6(4). <http://www.asian-energy-jour-nal.info/Abstract/A%20review%20on%20phytoremediation%20of%20heavy%20metals%20and%20utilisation%20of%20its%20by%20products.pdf>
17. Gómez H. La fiscalización ambiental en los residuos sólidos. OEFA. Ministerio del Am-biente. 2014;1(1):4-23. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=6471
18. Jerez J. Remoción de metales pesados en lixiviados mediante fitorremediación [tesis de grado]. Costa Rica: Universidad de Costa Rica; 2013. <http://www.ciencias.ucr.ac.cr/sites/default/files/Jos%C3%A9%20Jerez-2013-Remo-ci%C3%B3n%20de%20metales%20pesados%20en%20lixiviados%20mediante%20fitorremediaci%C3%B3n.pdf>
19. Madera C, et al. Efecto de la concentración de metales pesados en la respuesta fisiológi-ca y capacidad de acumulación de metales de tres especies vegetales tropicales empleadas en la fitorremediación de lixiviados. Ing Competitividad. 2014;16(2):179-88. <http://www.scielo.org.co/pdf/inco/v16n2/v16n2a16.pdf>
20. Medina Y, et al. Optimización del proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados de re-llenos sanitarios. Rev Soc Quím Perú. 2016;82(4):454-66. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2016000400007
21. Méndez. Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. Rev Int Con-tam Ambient. 2009;25(3). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000300002
22. Obeidat M. Impact of a domestic wastewater treatment plant on groundwater pollution, north Jordan. Rev Mex Cienc Geol. 2013;30(2). <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcg/v30n2/v30n2a9.pdf>
23. Padmavathiamma P. Phytoremediation technology: hyper-accumulation metals in plants. Water Air Soil Pollut. 2007;1(1):12-6. doi:10.1007/s11270-007-9401-5. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/225710092_Phytoremediation_Technology_Hyper-Accumulation_Metals_in_Plants
24. Pinaffi JV, et al. Seasonal performance of aquatic macrophytes in improving physico-chemi-cal parameters of swine wastewater. Rev Bras Biol. 2019. https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842019005020104&lang=es
25. Púa A, et al. Análisis de nutrientes de la raíz de la malanga en el trópico seco de Colom-bia. Rev Chil Nutr. 2019;30(4). https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000400069
26. Reichenauer T, Germida J. Phytoremediation of organic contaminants in soil and groundwa-ter. PubMed. 2008;1(1):8-9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18698569/>
27. Rezanian S, et al. The efficient role of aquatic plant (water hyacinth) in treating domestic wastewater in continuous system. Int J Phytoremediation. 2016;18(7). https://www.researchgate.net/publication/287286161_The_Efficient_Role_of_Aquatic_Plant_Water_Hyacinth_in_Treating_Domestic_Wastewater_in_Continuous_System
28. Romero R. Evaluation of Cajanus cajan for phytoremediation of landfill leachate contain-ing chromium and lead. Int J

Phytoremediation. 2016 may;18. doi:10.1080/15226514.2016.1186592. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15226514.2016.1186592>

29. Singh O, Jain RK. Phytoremediation of toxic aromatic pollutants from soil. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2003;63(2):128-35. https://www.researchgate.net/profile/Om_Singh/publication/10607730_Phytoremediation_of_toxic_aromatic_pollutants_from_soil/links/0f317538a8a8b3c5b8000000.pdf

30. Torrez V, et al. Caracterización de lixiviados como alternativa que contribuya a la mitigación de contaminantes. *Rev ION*. 2018;31(1). <http://www.scielo.org.co/pdf/rion/v31n1/0120-100X-rion-31-01-59.pdf>

31. Tuset S. Tratamiento de lixiviados de vertederos. Tratamiento de aguas residuales, efluentes y aire al servicio del medio ambiente. 2017;1(1). <https://blog.condorchem.com/tratamiento-de-lixiviados-de-vertedero/>

32. Valderrama C, et al. Optimización del proceso frentón en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. *Rev Soc Quím Perú*. 2016;82(4):43-7. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2016000400007

33. Villemain C. Cómo la basura afecta el desarrollo de América Latina. *Noticias ONU*. 2018;1(1):1-5. <https://news.un.org/es/story/2018/10/1443562>

34. Yavus S. Phytoremediation of landfill leachate using *Pennisetum clandestinum*. *Rev Environ Biol*. 2005;26(1):13-20. https://www.researchgate.net/profile/Reyhan_Erdogan/publication/7647219_Phytoremediation_of_landfill_leachate_using_Pennisetum_clandestinum/links/54460df20cf22b3c14ddf99b/Phytoremediation-of-landfill-leachate-using-Pennisetum-clandestinum.pdf

35. Yusoff M. Leachate characterization and phytoremediation using water hyacinth in Pulau Burung, Malaysia. *Bioremediat J*. 2012;16. doi:10.1080/10889868.2011.628350. <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net>.