

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



REMOCIÓN DE Cd, Cr Zn y Pb MEDIANTE SISTEMA BATCH CON PRESENCIA
***Cajanus cajan* (L.) Huth (FRIJOL PALO) A NIVEL DE LABORATORIO**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

HOWAR BILLY AGUILAR FLORES

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

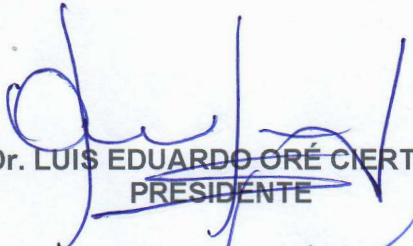
Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 14 de Noviembre de 2019, a horas 9:00 a.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Ciencias Ambientales, para calificar la Tesis titulada:

REMOCIÓN DE Cd, Cr Zn y Pb MEDIANTE SISTEMA BATCH CON PRESENCIA *Cajanus cajan* (L.) Huth (FRIJOL PALO) A NIVEL DE LABORATORIO”

Presentado por el Bachiller, **AGUILAR FLORES, Howar Billy**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara APROBADA con el calificativo de **“BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO AMBIENTAL**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 29 de Noviembre de 2019


Dr. LUIS EDUARDO ORÉ CIERTO
PRESIDENTE


Ing. MSc. VICTOR M. BETETA ALVARADO
MIEMBRO


Blgo. CÉSAR AUGUSTO GOZME SULCA
MIEMBRO


Ing. MSc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



REMOCIÓN DE Cd, Cr Zn y Pb MEDIANTE SISTEMA BATCH CON PRESENCIA

***Cajanus cajan* (L.) Huth (FRIJOL PALO) A NIVEL DE LABORATORIO**

Autor	: Aguilar Flores Howar Billy
Asesor	: Ing. M. Sc. Dionisio Montalvo Franklin
Programa de investigación	: Biorremediación y recuperación de ambientes degradados
Línea de investigación	: Ciencia y tecnologías ambientales.
Eje temático	: Fitorremediación
Lugar de ejecución	: Laboratorio de microscopia -Universidad Nacional Agraria de la Selva.
Duración del trabajo	: seis meses
Financiamiento	: s/. 4960.55
Propio	: Si

Tingo María – Perú

2018

DEDICATORIA

A Dios, por haberme guiado
y permitirme el haber llegado hasta este
momento tan importante de mi vida.

A mi papá Marcelino
Aguilar, por su invaluable apoyo
incalculable que siempre me ha
ofrecido.

A todas las personas que
me han apoyado y han hecho que el
trabajo se realice con éxito en especial

a aquellos que compartieron sus
conocimientos.

A mi mamá Elvira Flores,
quien con su comprensión, valor y
esfuerzo me ha permitido llegar a
cumplir hoy un sueño más, gracias el
ejemplo de esfuerzo y perseverancia,
de no temer las adversidades.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables – Escuela profesional de Ingeniería Ambiental, que contribuyó en mi formación profesional.

A mi asesor de tesis el Ing. M.Sc. Franklin Dionisio Montalvo, docente de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por su apoyo desinteresado, valiosas sugerencias, acertados aportes brindados y supervisión durante el desarrollo de la investigación.

A miembros integrantes del jurado de tesis: Dr. Luis Eduardo Oré Cierzo, Ing. M. Sc. Víctor Manuel Beteta Alvarado y Ing. M. Sc. José Luis Paredes Salazar por su apoyo, comprensión y sugerencias ofrecidos en la investigación.

A mi querida Alicia R. por la comprensión y apoyado incondicional que de una u otra forma colaboraron en la investigación.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Objetivos.....	15
1.1.1. Objetivo General	15
1.1.2. Objetivos Específicos	16
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
2.1. Antecedentes.....	17
2.2. Caracterización de lixiviado en rellenos sanitarios	18
2.3. Toxicidad de los metales pesados.....	22
2.3.1. Plomo	23
2.3.2. Zinc	24
2.3.3. Cromo	25
2.4. Cadmio.....	25
2.5. Tratamiento de lixiviados	26
2.5.1. Tratamiento por procesos biológicos.....	26
2.5.2. Procesos aerobios.....	27
2.6. Sistema hidropónico.....	28
2.6.1. Soluciones nutritivas para hidroponía	28

2.6.2. Hidroponía en tratamiento de aguas residuales	30
2.7. Propiedades físico, químicas y biológicas en tratamiento	31
2.7.1. Temperatura.....	31
2.7.2. Potencial de hidrógeno (pH).....	31
2.7.3. Sólidos totales en suspensión (SST).....	31
2.7.4. Oxígeno disuelto (OD).....	32
2.7.5. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	32
2.8. Coliformes totales.....	34
2.9. Límites máximos permisibles (LMP)	34
2.10. Fitorremediación.....	35
2.10.1. Tipos de hiperacumulación de metales en planta	35
2.10.2. Mecanismo	36
2.10.3. Ventajas y desventajas.....	37
2.10.4. Aplicación de la fitorremediación en tratamiento de lixiviados.....	38
2.11. <i>Cajanus cajan</i> (L.) Huth.....	38
2.11.1. Características	39
III. MATERIALES Y MÉTODOS	40
3.1. Descripción de la zona de trabajo.....	40
3.1.1. Lugar de ejecución.....	40

3.1.2. Aspectos ambientales	40
3.2. Materiales y equipos.....	41
3.2.1. Materiales.....	41
3.2.2. Equipos	41
3.3. Metodología.....	41
3.3.1. Fase de pre- campo	41
3.3.2. Fase de campo.....	42
3.3.3. Fase gabinete.....	52
3.3.4. Variables	53
3.3.5. Análisis estadístico.....	54
IV. RESULTADOS	55
4.1. Determinación de los metales Cd, Cr, Pb y Zn con mayor presencia en el lixiviado del botadero.	55
4.2. Determinación de la propiedad física, composición química y microbiológica del efluente tratado.....	58
4.2.1. Temperatura.....	58
4.2.2. Determinación del pH.....	59
4.2.3. Determinación sólidos totales disueltos (SDT)	61
4.2.4. Determinación del oxígeno disuelto (OD).....	62

4.2.5. Determinación de la conductividad eléctrica	64
4.2.6. Determinación demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	65
4.2.7. Determinación de coliformes totales	67
4.3. Efecto en la concentración del lixiviado respecto a la planta	68
4.4. Remoción de metales pesados.....	72
4.4.1. Determinación del Zinc.....	72
4.4.2. Determinación del plomo.....	73
4.4.3. Eficiencia de remoción	73
4.5. Comparación de los límites máximos permisibles (LMP) de efluentes de infraestructuras de residuos sólidos en los metales Zinc y plomo.....	77
V. DISCUSIÓN	78
5.1. Metales pesados en sistema batch.....	78
5.2. Propiedades físico, química y biológica en el efluente.....	79
5.3. Efecto del lixiviado un botadero sobre la planta.....	82
5.4. Remoción de metal zinc y plomo.....	83
5.5. Comparación con los límites máximos permisibles de efluentes de residuos sólidos.....	84
VI. CONCLUSIÓN.....	85
VII. RECOMENDACIONES.....	86

VIII.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	87
IX.	ANEXO	97

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Contaminantes encontrados frecuentemente en lixiviados.	19
2. Ámbitos de concentración de metales pesados más comúnmente encontrados en lixiviados.....	20
3.Comparación de características típicas de los lixiviados de rellenos sanitarios en función de su edad	20
Cuadro 4. características físico – químicas típicas de un lixiviado y su variación con el tiempo.....	21
5. Clasificación de los sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales	28
6. Solución nutritiva	29
7. Disponibilidad de nutrientes.	29
8. Diluciones recomendadas para diferentes valores esperados de DBO	33
9. Comparación entre tecnologías para el tratamiento de lixiviados.	33
10. Ventajas y desventajas de tecnologías de fitorremediación.....	37
11. Formato utilizado en la evaluación de los parámetros	47
12. Resumen de variables de evaluación.....	50
13. Descripción de los tratamientos.	53
14. análisis de variancia (ANOVA)	54
15. Concentración de los metales Cd, Cr, Pb y Zn en el lixiviado del botadero	55
16. Número de hojas en cada individuo por tratamiento.	70
17. Concentración de metal Pb y Zn en la semilla de <i>Cajanus cajan</i> (L.) Huth.....	72

18. Resultados de metales pesados encontrados en el inicio y final de sistema.	74
19. ANOVA en la eficiencia de remoción de zinc.	74
20. Prueba de Tukey para la eficiencia de remoción del metal Zinc.	75
21. ANOVA en la eficiencia de remoción de plomo.	76
22. Prueba de Tukey para la eficiencia de remoción del metal Plomo.	76
23. Resultados preliminares de las concentraciones de los metales Pb, Zn, Cr, Cd.	97
24. Determinación de temperatura en el proceso de tratamiento.	98
25. Determinación de pH en el proceso de tratamiento.	99
26. Determinación de conductividad eléctrica en el proceso de tratamiento.	100
27. Determinación de solidos disueltos totales en el proceso de tratamiento.	101
28. Determinación de oxígeno disuelto en el proceso de tratamiento.	102
29. Determinación de oxígeno disuelto en el proceso de tratamiento.	103
30. Evaluación de doliformes totales en el proceso de tratamiento.	104
31. Resultado del vástago en el proceso de tratamiento.	105
32. Resultados de los metales zinc y plomo a inicio y final de evaluación	106
33. Concentración de metales e Pb, Zn, Cd y Cr en la semilla.	106
34. Resultado del número de individuos vivos en el proceso de tratamiento	107
35. Prueba de normalidad del metal zinc y plomo	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Procesos que se llevan a cabo en el mecanismo de hiperacumulación de metales en plantas por medio de fitoextracción.	36
2. Flujograma de operación.....	43
3. Diseño experimental.....	52
4. Eficiencia de remoción del cadmio respecto al tiempo.....	56
5. Eficiencia de remoción del Cromo total respecto al tiempo.....	56
6. Eficiencia de remoción del Zinc respecto al tiempo.....	57
7. Eficiencia de remoción del plomo total respecto al tiempo.....	57
8. Remoción de metales pesados respecto al tiempo.....	58
9. Variación de la temperatura en diferentes concentraciones de lixiviado.	59
10. Variación del pH en diferentes concentraciones de lixiviado por dilución.	60
11. Variación del pH por tratamiento.	60
12. Sólidos disueltos totales en diferentes tratamientos respecto a tiempo.	61
13. Eficiencia de remoción del SDT por tratamiento.	62
14. Variación del oxígeno disuelto en los tratamientos respecto al tiempo.	63
15. Variación del OD por tratamiento.	63
16. Variación de la conductividad eléctrica en diferentes concentraciones de lixiviado.	64
17. Eficiencia de remoción de la conductividad eléctrica por tratamiento.	65

18. Variación del DBO ₅ en diferentes concentraciones de lixiviado respecto al tiempo.	66
19. Eficiencia de remoción de la DBO ₅ por tratamiento.....	66
20. Variación de coliformes totales en diferentes tratamientos.	67
21. Eficiencia de remoción de coliformes totales por tratamiento.....	68
22. Variación del vástago en diferentes tratamientos.....	69
23. Variación de la altura de vástago por tratamiento.	69
24. Variación en el número de individuos en el tiempo.	71
25. Porcentaje del número de individuos vivos.	71
26. Variación de la concentración del Zinc en diferentes concentraciones de lixiviado.	72
27. Variación de la concentración de plomo total en diferentes concentraciones de lixiviado.	73
28. Verificación del LMP de efluentes de infraestructuras de residuos sólidos, concentración de los metales zinc y plomo total.	77
29. Histograma para el zinc.....	108
30. Histograma para plomo.	109
31. Gráfico de significativa en la eficiencia de remoción de zinc en los tratamientos.	109
32. Gráfico de significativa en la eficiencia de remoción del Plomo.	110
33. Selección de plantas (a) individuos con condiciones para su evaluación, (b) individuos no germinados (c) individuos enfermos.....	118
34. Instalación de la cámara de germinación	118

35. Recolección de lixiviado de un botadero controlado del Distrito José Crespo y Castillo.	119
36. Agregados de solución hidropónica.	119
37. Verificación de la ejecución del proyecto por jurado.	120
38. Inoculación de la muestra para la determinación de coliformes totales.	120
39. Lectura de las variables de evaluación.	121
40. Lectura OD para la Demanda bioquímica de oxígeno por cinco días.	121
41. Inicio puesto en marcha de la evaluación.....	122
42. Observación del desarrollo de las raíces.....	122
43. Observación de biopelículas adheridas a las raíces de las plantas.....	123
44. Observación morfológica de las plantas a final de la evaluación.	123
45. Efecto morfológico en la especie <i>Cajanus cajan</i> (L.) Huth	124
46. Lectura de las muestras con el equipo ICP-OES	124

RESUMEN

Se determinó la remoción del Cr, Cd, Pb, Zn en un sistema batch con *Cajanus cajan* (L.) Huth en tres disoluciones a 25%, 50%, 75% v/v de lixiviado y un testigo en el lixiviado de botadero municipal. Como estudios preliminares se adaptó la especie en sistemas flotantes además se determinó que el Pb y Zn se encuentra en mayor concentración que el Cr y Cd, realizó la cinética de remoción a disolución al 50% v/v de lixiviado durante 15 días.

Posteriormente, se realizaron las evaluaciones en los parámetros en el agua, encontrándose la eficiencia de remoción de sólidos, demanda bioquímica de oxígeno, conductividad eléctrica, coliformes totales al 54.99%, 77.94%, 56.25% 98.22% respectivamente. También se observó la variación de temperatura, pH, oxígeno disuelto que influenciaron en los tratamientos. En la determinación de plomo al 25% v/v de lixiviado fue 0.2541 mg/ L, al 50% v/v de lixiviado fue 0.3742 mg/ L a 75% v/v de lixiviado 0.9627 mg/ L y en el zinc al 25% v/v de lixiviado 0.0518 mg/ L, al 50% v/v de lixiviado 0.0708 mg/ L al 75% v/v de lixiviado 0.0819 mg/ L, la mayor remoción de plomo y zinc que se encontró en el sistema batch fue de 70.54 y 73.31% respectivamente sin embargo al 25% v/v de lixiviado se encontró a mínimas concentraciones por lo cual no hubo un efecto de remoción en ambos elementos. Asimismo, en los tratamientos se cumplieron con el límite máximo permisible determinado por el MINAM (2009) en el plomo y zinc.

Palabras claves: Remoción, metales pesados, lote discontinuo, *Cajanus cajan* (L.) Huth, lixiviado de botadero.

I. INTRODUCCIÓN

En la operación de disposición final de residuos sólidos presenta dos impactos ambientales de mayor importancia, el efecto invernadero y los lixiviados (ÁVILA y SILVA, 2010). Los lixiviados es un problema ambiental por las dificultades en su tratamiento por el exceso de contaminantes (CHAVARRO *et al.*, 2006). Por sus elevados en materia orgánica, presencia abundante de patógenos y sustancias tóxicas como metales pesados, entre otros compuestos (GIRALDO, 2001).

La contaminación en el agua y el suelo por fuentes de contaminación con metales a ocasionado ya sea por causas antrópica y natural está perjudicando la salud pública y seguridad alimentaria (HUANG *et al.*, 2014). Estudios reportan presencia de metales pesados como Hg, Pb, Cd, Zn, Cr, en las hortalizas (lechuga, repollo, calabaza y papa (SINGH *et al.*, 2010; CHEN *et al.*, 2013). Proveniente del riego de aguas afectadas (FRANSISCA *et al.*, 2015). En carne, leche, peces por bioacumulación (SINGH *et al.*, 2010). Por su toxicidad, consecuencias en la salud por exposición prolongada por bioacumulación resulta peligroso, dependiendo del tipo de metal que van desde problemas en los órganos hasta el desarrollo de cancerígenos (COMBARIZA, 2009).

La toxicidad de los metales pesados está conectada por su acción directa sobre los seres vivos, debidos al bloqueo de las actividades biológicas, causando daños severamente irreparables en los organismos (WANG *et al.*, 1992). El tratamiento de los lixiviados es un serio problema de prioridad en su depuración y por la tanto es necesario establecer métodos que consideren una alternativa en su real entorno.

Mediante la fitoremediación en sistemas de tratamiento eliminan una variedad de los contaminantes (FERNANDEZ, 2006). Por las plantas acuáticas que son grandiosas depuradoras de aguas (EPA,1993). En estudios realizados en tratamientos de lixiviados con especies acuáticas muestran la mejora en los parámetros para la existencia de vida en el agua (CARRION, 2009). Se debe a ciertas características como (absorción, secreción de sustancias, superficie de biopelícula, etc. Hacen que remueva mayores contaminantes (MARTINEZ, *et al.*, 2015). Se realizaron remociones de metales pesados mediante cultivos hidropónicos o sistemas discontinuos con plantas de alta generación de biomasa (BAESCOECHEA y FERNANDEZ, 2005).

El tratamiento del lixiviado generados en los botaderos nos ayudara a mejorar los impactos ambientales (ÁVILA y SILVA, 2010). dado el significativo impacto que poseen, ambientalmente y en la salud de las personas (ASTORGA, 2018). Debe ser la adecuada, para evitar la contaminación en fuentes de agua y suelos (GIRALDO, 1997).

La utilización de agentes biológicos para la eliminación de metales pesados mediante sistemas suspendidos (MORALES, 2007). Como el *Cajanus cajan* (L.) Huth utilizado en tratamientos como removedores de metales pesados resulta satisfactorio en la solución del problema (JEREZ, 2013).

La presente contribución es conocer el grado de remoción de contaminantes en tratamiento de lixiviado joven de 4.6 años, del botadero de la Municipalidad Distrital de José Crespo y Castillo. Las características del lixiviados desde los parámetros, información en remoción de metales pesados para posteriores tratamientos de los lixiviados de rellenos sanitarios. Esta investigación se realizó a nivel de laboratorio en la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Como interrogante se planteó, ¿Cuánto es la eficiencia de remoción del Cd, Cr, Zn y Pb en el sistema batch con presencia *Cajanus cajan* (L.) Huth (frijol palo) a nivel de laboratorio?

Se planteó como hipótesis que la eficiencia de remoción de Cd, Cr, Zn y Pb en el sistema batch con presencia *Cajanus cajan* (L.) Huth (frijol palo) a nivel de laboratorio es superior al 50%.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

- Determinar la remoción de metales pesados mediante sistema batch con presencia *Cajanus cajan* (L.) Huth (frijol palo), provenientes del lixiviado de residuos sólidos.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar de los metales Cd, Cr, Zn y Pb con mayor presencia en el lixiviado del botadero.
- Determinación la propiedad física, composición química y coliformes totales del efluente tratado en el sistema batch.
- Evaluar el efecto de la concentración del lixiviado sobre el *Cajanus cajan* (L.) Huth (frijol palo).
- Determinar la eficiencia de remoción de metales pesados mediante sistema batch.
- Comparar con los límites máximos permisibles de los metales de efluentes de infraestructuras de residuos sólidos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

La hidroponía al principio consistía en solo agregar en el agua elementos nutritivos; a quien se le reconoce al profesor profesor Gericke por comenzado en 1938, desde ese monte ha mejorado su aplicación logrando mayores resultados; basado en cultivar plantas en agua en movimiento, con controles en el suministro de nutrientes y otros factores para el desarrollo de extensas masas reticulares (TORRES, 2009).

Por la investigación evaluada en el proceso de extracción de los metales pesados, generalmente encontrados en Aguas Residuales Industriales como el Cobre, Cromo, Mercurio y Plata, por el uso de plantas acuáticas vasculares, la remoción de metales lo realiza la planta en proporciones diferentes de acuerdo a la parte de la planta; en el mayor de los casos se observa se observa en las raíces que en tallos (GUERRERO, 1985).

Los tratamientos de aguas residuales que se utilizaron micrófitos se ha determinado ser eficientes depuración de aguas con agregados de nutrientes, sustancias toxicas como arsénico zinc, cromo, mercurio, cadmio, cobre, plomo y materia orgánica; su importancia es su aplicación en núcleos rurales por su bajo

consumo de energía convencional y su ensamblaje y operación del sistema de tratamiento (MARTELO y LARA, 2012).

2.2. Caracterización de lixiviado en rellenos sanitarios

Los lixiviados de rellenos sanitarios es el producto de la percolación de los líquidos durante el proceso de estabilización, aquellos, fluidos que expulsan hacia la superficie o penetran hacia el terreno donde encuentran los rellenos sanitario o botadero (MÉNDEZ *et al.*, 2009). Aquellos contaminantes de consideración importante, debido a sus cantidades significativos de compuestos orgánicos volátiles fenoles y materia orgánica de la misma manera arrastran grandes cargas de materia en descomposición (JEREZ, 2013).

La producción de lixiviados es diferente de un lugar a otro y varía por varios factores por: grado de humedad inicial de la basura, compactación de los desechos, precipitación pluvial, humedad atmosférica, evaporación, entre otros (MÉNDEZ *et al.*, 2004). De manera que la composición química, las cargas biológicas son altamente variables que consecuentemente se genera olor fétido considerado por los desechos de los contaminantes y por el tedio que afecta al personal que debe (MÉNDEZ *et al.*, 2009).

El lixiviado mayormente muestra alta demanda química de oxígeno, así como una alta variabilidad en contaminantes inorgánicos (sólidos totales, metales pesados, nitrógeno amoniacal, cloruros, entre otros) y orgánica (fenoles, bifenilos policlorados, dioxinas) (ÖMAN *et al.*, 2007).

Cuadro 1. Contaminantes encontrados frecuentemente en lixiviados.

Grupo de contaminantes en lixiviados	Componentes
Materia Orgánica	Ácidos, alcoholes, aldehídos, y otros usualmente cuantificados como demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), o carbono orgánico total (COT). Se incluyen igualmente ácidos grasos y otros como ácidos húmicos y fúlvicos.
Materia Inorgánica	Sulfatos, cloruros, amonio, calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, hierro, manganeso y metales pesados como plomo, níquel, cobre, cadmio, cromo y zinc.
Compuestos orgánicos (Xenobióticos)	Hidrocarburos aromáticos, fenoles, hidrocarburos alifáticos clorados, pesticidas y plastificantes como bifenilos policlorados (BPCs), dioxinas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, entre otros.

Fuente: HENG *et al.* (2010).

Respecto al contenido de metales varia en los diferentes botaderos y rellenos sanitarios de manera que algunos metales pesados se pueden observar concentraciones bajas en los lixiviados de los rellenos sanitarios municipales por ejemplo el cadmio (Cd), níquel (Ni), zinc (Zn), cobre (Cu), cromo (Cr) y plomo (Pb) GONZÁLEZ *et al.* (2009).

Cuadro 2. Concentración de metales pesados más comunes encontrados en
lixiviados

Metal	Rango de concentración (µg/L)
Cadmio	2 – 20
Níquel	100 – 400
Zinc	500 – 2000
Cobre	20 – 100
Cromo	100 – 500
Plomo	50 – 200

Fuente: JENSEN *et al.* (1999)

La edad del lixiviado es un indicador que influye mucho en la concentración del contaminante o composición química (HENG *et al.*, 2010). El grado de biodegradabilidad de los lixiviados es inversamente proporcional a su edad, siendo más biodegradables los jóvenes y menos los maduros FÁTIMA *et al.* (2012) y RAMÍREZ *et al.* (2013), conocer la cantidad y la composición de los lixiviados es importante en el desarrollo de sus sistemas de gestión (ABUQDAIS *et al.*, 1997)

Cuadro 3. Comparación de las características de los lixiviados de rellenos sanitarios
en función su permanencia

Característica	Lixiviado Joven	Lixiviado Viejo
Demanda química oxígeno (mg/L)	3,641.2	875.4
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	2,031.6	195.8
pH	6,2	5.72
Amonio (mg /L)	288.6	260.0

Característica	Lixiviado Joven	Lixiviado Viejo
Nitrito (mg/L)	1.8 0	0.72
Fenol (mg/L)	783.8	175.4
Nitrato (mg/L)	1,8	0.73
Nitrógeno total (mg/L)	474.8	304.46
Calcio (mg/L)	421,4	181,9
Cloruro (mg/L)	893.8	735.1
Hierro (mg/L)	32.1	11.2
Magnesio (mg/L)	153.6	132.8
Sodio (mg/L)	764.2	688
Sulfato (mg/L)	196.8	81.7

Fuente: HENG *et al.* (2010)

El Cuadro 3 muestra la composición de un lixiviado joven considerado menor de un año y el maduro es superior de los 5 años, las concentraciones varían debido a que no es atravesado a la etapa de estabilización (HENG *et al.*, 2010).

Cuadro 4. características físico – químicas y su permanencia en el tiempo de una lixiviado

Edad del Relleno	Joven		Maduro		Media
	Media	Rango	Media	Rango	
pH	6.1	4.5 – 7.5	8	7.5 - 9	
DBO5 (mg/L)	13,000	4,000 – 40,000	180	20 - 550	
DQO(mg/L)	18,000	100-500	3,000	500 – 4,500	
DBO5/DQO(mg/L)	0.58		0,06		

Edad del Relleno	Joven		Maduro		Media
	Media	Rango	Media	Rango	
Sulfatos (mg/L)	500	70 – 1,750	80	10 - 420	
Calcio (mg/L)	1,200	10 – 2,500	60	20 - 600	
Magnesio (mg/L)	470	50 – 1.150	180	40 - 350	
Hierro (mg/L)	780	20 – 2.100	15	3 - 280	
Amonia – N					740
Cloro (mg/L)					2,120
Cadmio (mg/L)					0.005
Cromo (mg/L)					0.28
Cobalto (mg/L)					0.05
Cobre (mg/L)					0.065
Plomo (mg/L)					0.09
Níquel (mg/L)					0.17
Zinc (mg/L)	5	0.1 - 120	0.6	0.03 - 4	

Fuente: Ehrig, (1988)

2.3. Toxicidad de los metales pesados

La referencia a los metales pesados es a grupos de metales y metaloides asociado a l potencial de contaminación, toxicidad y ecotoxicidad; además a los que se consideran con una densidad superior de los 5 g/cm³ en el medio, por lo general estos elementos incluyen como el arsénico, cadmio, cobalto, cromo, cobre, hierro, mercurio, manganeso, molibdeno, níquel, plomo y zinc MCLAUGHLIN (2005). Debido a que no se disuelven fácilmente en soluciones superiores al neutra, varias plantas han desarrollado habilidades que de los metales desde su fase sólida ha facilitado la remoción por sus raíces. (MCLAUGHLIN, 2005; WIRÉN, 2000).

2.3.1. Plomo

2.3.1.1. Características físicas y químicas

Peso atómico de 207,19 uma, número atómico 82, densidad 11,3 g cm³, punto de fusión de 327.5 °C, con estados de oxidación conocidos de +2 y +4, y con 4 isótopos conocidos (NORDBERG, 2012).

Las formas como el plomo son comúnmente solubles en agua blanda y levemente ácida. en contacto con el oxígeno y agua, el plomo se trasforma en hidróxido de plomo (KOWANGA et al., 2012)

2.3.1.2. Aplicación

Su uso es amplio en gasolina, pigmentos para pinturas, baterías, barnices, equipos de armas, componente de soldadura, pintura, industria automovilística, como insecticida, revestimiento de cables, en la fabricación de vidrios y cerámica, empaste para el automovilismo (RODRÍGUEZ, 2017).

2.3.1.3. Consecuencias toxicológicas

La vía de ingreso al organismo es por las bebidas y alimentos e inhalación de partículas de plomo. Sus efectos en la salud: con niveles altos de exposición afecta el desarrollo de hemoglobina, el tracto gastrointestinal, aticulaciones y sistemas nerviosos, la intoxicación aguda causa trastornos digestivos, alteraciones renales y hepáticas, convulsión, dolores epigástricos y abdominales, vómitos en cuanto a la intoxicación crónica puede causar neuropatías, dolor muscular, fatiga, nefritis crónica, encefalopatía, cefalea, aminoaciduria, glucosuria, alteraciones renales, irritabilidad,

temblor, alucinaciones entre otros (RODRÍGUEZ, 2017). El plomo inhibición de la síntesis clorofílica de las plantas (PÉREZ, CÁNEPA y RICHTER, 1984)

El elemento plomo puede penetrar al feto por medio de la placenta de la madre, a consecuencia de esto causa serios daños en el cerebro y sistema nervioso de los niños al nacer RAMALHO (2003)

2.3.2. Zinc

2.3.2.1. Características físicas y químicas

Reacciona con iones H^+ por lo que las sales de zinc causan turbidez cuando están presentes en grandes cantidades en el agua, por eso sucede a partir de concentraciones de $2 \text{ mg Zn}^{2+}/\text{L}$ (RUSSELL, 2012).

2.3.2.2. Fuente y aplicación

Los más trascendente es la producción de los acero para los instalaciones de agua residuales e industriales, los fertilizantes, químicos para el control biológico en el campo de la agricultura, pinturas, cosméticos, entre otros, su acumulación en la cadena trófica se ocurre de forma similar como el cobre (GALLO Y CAMPOS, 1997).

2.3.2.3. consecuencias toxicológicas

La acumulación del zinc puede contener consecuencias en el nacimiento de feto, es elemento puede dañar a los niños en su etapa de crecimiento después de su nacimiento por la ingesta en la leche materna (RAMALHO, 2003). Es un elemento esencial alimenticio para seres humanos y animales; pero sus excesivas acumulaciones de zinc pueden perjudicar la salud de ambos, como trastornos en el

varios partes del cuerpo por lo tanto las concentraciones de zinc no deben superar los 3g por kilogramo las pruebas eco toxicológicas determinan como niveles a concentraciones totales de 150-200 µg/L de zinc en el flujo (PÉREZ, CÁNEPA y RICHTER, 1984).

2.3.3. Cromo

2.3.3.1. Aplicación

Se utiliza en la metalurgia, en la galvanización, pinturas, para conservación de madera e industria química. En el trabajo de curtido de la piel se utilizan el cromo (RODRÍGUEZ, 2017).

2.3.3.1. Consecuencias toxicológicas

El cromo III es un importante para los humanos y sus ausencias de este puede causar daños en el corazón, pero en concentraciones altas puede ocasionar trastornos metabólicos y diabetes, reacciones alérgicas, sangrado después de ser respirado, daño en los riñones e hígado, úlceras, cáncer al pulmón y además la muerte (RODRÍGUEZ, 2017).

2.4. Cadmio

2.4.1.1. Aplicación

Se utiliza en la pigmentación de pinturas y vidrios, baterías, aleaciones comúnmente utilizados en las viviendas (RODRÍGUEZ, 2017).

2.4.1.2. Consecuencias toxicológicas

Se acumula en los riñones y causa hipertensión arterial, a exposición prolongada causa disfunción renal, conlleva enfermedades pulmonares y provocar osteoporosis en humanos y animales. Ha sido sindicado en el desarrollo del cáncer en animales y cáncer de próstata en los humanos (RODRÍGUEZ, 2017).

2.5. Tratamiento de lixiviados

Determinar el tratamiento adecuado para los lixiviados de dificultoso de manera que cada efluente debes ser independientemente evaluado y sometidos a ensayos de tratabilidad para el mejor sistema en su manejo (MÉNDEZ, 2009).

En la minoría de los procesos que se aplican son de forma fisicoquímica, generando gastos por el costo de los reactivos químicos y la acumulación de lodos de difícil disposición (MÉNDEZ, 2009). De manera que la selección de un tratamiento nos permite conocer los parámetros físicos y químicos que los caracterizan, entre los criterios que se deben tomar en cuenta para escoger una metodología de tratamiento (GIRALDO, 2001)

2.5.1. Tratamiento por procesos biológicos

2.5.1.1. Procesos anaerobios

Pueden reportar importantes reducciones de cargas razonables, estudios muestran descensos del 90–95% en DBO, comúnmente se usan en tratamientos secundarios, aunque se implementa como pretratamiento para tener eficiencias superiores (ANGENENT et al, 2002; GUPTA y SINGH, 2007).

2.5.1.2. Lagunas anaerobias

La prioridad de estos sistemas es la reducción del contenido en sólidos y materia orgánica del agua residual, y no la obtención de un efluente de alta calidad; produciendo la reducción de la materia orgánica en ausencia de oxígeno este proceso está contenida por hidrólisis, formación de ácidos y generación de metano (MIDDLEBROOKS *et al.* 1982).

2.5.2. Procesos aerobios

2.5.2.1. Sistemas naturales

En estos sistemas se eliminan compuesto de las aguas contaminadas como las aguas contaminadas por usos industriales, sin el uso de energía ni aditivos químicos, pero con mayor uso de superficies de tratamientos, en estos sistemas son comunidades de organismos que se encargas el proceso de descontaminación, en la que se puede utilizar en pretratamientos hasta tratamientos terciario (GARCÍA y CORZO, 2008).

Constan en el uso de plantas, entre ellos las cañas, además como los sauces, micrófitos, para la en el tratamiento biológico natural de estas especies que cumplen una función importante del tratamiento con altas cargas con contaminantes de compuestos que hacen la usencia la vida de en en el agua por lo que es importantes en lixiviados de rellenos sanitarios por la peculiaridades en el efluente GRISEY *et al.* (2012).

Cuadro 5. Sistemas naturales en los tratamientos

Basados en la aplicación del agua en el terreno		Basados en los procesos que suceden en la masa de agua		
Aplicación subsuperficial	Aplicación superficial			
Zanjas y lechos filtrantes	Filtros verdes infiltración–percolación	Sistemas con plantas flotantes	Lagunaje natural	Humedales construidos (flujo superficial)
Humedales construidos (flujo subsuperficial)	filtro de arena			

Fuente: GARCÍA y CORSO (2008)

2.6. Sistema hidropónico

Son conocidos por la producción de cultivos en medios acuáticos es decir sin suelo, por lo que está constituido por nutrientes agregados por sustancias de varios orígenes orgánicos como inorgánicos, inertes en la nutrición de la planta, esta técnica evita los impedimentos que representa el suelo en la agricultura convencional, mediante el uso de sustratos (LOZITA, 2015).

2.6.1. Soluciones nutritivas para hidroponía

Existen sendas soluciones pero por lo general se usan soluciones de aplicación general que por la experiencia en la aplicación es estos se an especializando para el cultivo ya sea por etapas de crecimiento y de la (GILSANZ, 2007).

Cuadro 6. Solución nutritiva

Solución A		Solución B	
Fosfato de Amonio	492 g	Sulfato de Magnesio	492 g
Nitrato de Calcio	2.100 kg	Sulfato de Cobre	0.48 g
Nitrato de Potasio	1.100 kg	Sulfato de Manganeso	2.5 g
		Sulfato de Zinc	1.2 g
		Ácido Bórico	6.2 g
		Molibdato de Amonio	0.02 g
		Nitrato de Magnesio	920 cc
		Quelato Hierro	8.5 g

Fuente: FAO (1996)

La clasificación de los cultivos hidropónicos ha evolucionado hacia formas abiertas o cerradas, por lo tanto, se debe controlar algunos parámetros de importancia Cuadro 7 (TORRES, 2009).

Cuadro 7. Disponibilidad de nutrientes.

Parámetros	Descripción
Aireación	La presencia de oxígeno es importante para el fortalecimiento y desarrollo de la planta, por lo que se observa en sus raíces, para el normal crecimiento se requieren por los menos de 8-9 mg O ₂ /lt de solución nutritiva.

Alcalinidad o acidez El en pH influye de manera directa sobre la absorción de nutrientes por parte la planta los valores adecuados deben ser de 5.5-7.0 pH, que se encuentra la mayor disponibilidad de nutrientes.

Temperatura La tasa de absorción de sales aumenta con la temperatura, hasta los 40°C aproximadamente, para dejar a temperaturas mayores. Superior de los 40°C produce una disminución de la absorción.

Fuente: LOZITA, 2015

2.6.2. Hidroponía en tratamiento de aguas residuales

La Técnica de la Película Nutritiva (TPN), la cual se caracteriza porque las raíces se encuentran sobre el fondo de fluido, impermeable y ligeramente direccionado que a través de los cuales, fluye uniforme para una adecuada oxigenación sin oxidación, es necesario que las raíces estén parcialmente sumergido en la solución nutritiva y resto en contacto con la atmosfera (PENNINGSFELD y KURZMAN, 1983).

Esta técnica se ha probado, en cultivos hortenses, en plantas ornamentales y en aromáticas, su importancia, como tratamiento radica en formación de un denso desarrollo de raíces que actúa como filtro para la retención de sólido y beneficia el crecimiento de los microorganismo aerobios degradadores de residuos presentes en el agua para tratar por absorción radical que remueven nutrientes y metales pesados (CHAVARRO, 1992).

Investigaciones anteriores se realizó como sistema de tratamiento de para el cromo y el plomo en la fuente en el sistema hidroponico con una disolución al 25 % evaluados durante 16 días, y en suelos a una disolución al 30% de lixiviado evaluados por más de tres meses (JEREZ, 2013).

2.7. Propiedades físico, químicas y biológicas en tratamiento

2.7.1. Temperatura

Según DELGADILLO (2010) indica que la temperatura de las aguas residuales, la temperatura media varía entre 10 C° y 21 C°, una temperatura adecuada para el desarrollo de microorganismos aerobios esta entre los 25 y los 35 C°.

2.7.2. Potencial de hidrógeno (pH)

Indica el comportamiento de iones hidróxido y oxidrilo del agua, es un parámetro para determina la calidad del agua, comúnmente el agua tiene un medio básico con valores de pH correspondidos entre 6.5 a 8.5 (ROMERO, 1998).

2.7.3. Sólidos totales en suspensión (SST)

La cantidad de solido se expresa en mg/L en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos (SEOANEZ, 1999 y RHEINHEIMER, 1987).

En estudios realizados en agua residuales municipales por CORONEL (2016) en sistemas biológicos flotantes por *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* muestra una remoción en sólidos totales disueltos (SDT) en un 95.79% y 78.92% respectivamente.

2.7.4. Oxígeno disuelto (OD)

Según MOSCOSO y LEÓN (1996). el indicador oxígeno disuelto es importante en el agua; por lo cual su falta indica contaminación, exceso de materia orgánica de manera que se puede considerar como pronóstico de contaminación. Según la EPA, (1988), desarrollaron un procedimiento con especies flotantes en macrofitas ya que representa la mayoría de las especies flotantes que han sido construidos ciertas características como el contenido de oxígeno y el método de aireación:

- Sistemas aerobios con Jacinto sin aireación adicional en tratamientos secundarios en remoción de nutrientes.
- Sistemas aerobios con Jacinto con aireación suplementarias, tolera altas cargas orgánicas con áreas menores de trabajo, en tratamientos primario.
- Sistemas con Jacinto con altas cargas orgánicas en tratamientos secundarios.

2.7.5. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Según el CEPIS (2004), indica que la cantidad de oxígeno necesario para degradar la materia orgánica, un método cuando hay altas concentraciones de materia orgánica se recomienda hacer diluciones previamente preparada para su desarrollo en el medio microbiano que degrada la materia orgánica en el agua, muestra que fue recolectada.

Cuadro 8. Diluciones recomendadas para valores esperados

ml. De muestra	Rango de DBO	ml. De muestra	Rango de DBO
0.02	30,000-105,000	2	300-1,050
0.05	12,000-42,000	5	120-420
0.1	6,000-21,000	10	60-210
0.2	3,000-10,500	20	30-105
0.5	1,200-4,200	50	12-42
1	600-2,100	100	6-21

Fuente: AUAC-FCQ (s.d.)

Como se puede observar en el Cuadro 8, a valores altos de materia orgánica en el volumen de muestra se debe tomar el siguiente criterio para diluir, es sumamente pequeño.

Cuadro 9. Comparación entre tecnologías para el tratamiento de lixiviados.

Componente a eliminar en el lixiviado	Rendimiento del tratamiento						
	Aerobio	Anaerobio	Evaporación	Recirculación	Membranas	Sistemas Naturales	UASB
DBO	Muy alto	Alto	Muy alto	Intermedio	Muy alto	Muy alto	Muy alto
Nutrientes	Alto	Bajo	Muy alto	Bajo	No	No	Variable

Rendimiento del tratamiento							
Componente a eliminar en el lixiviado	Aerobio	Anaerobio	Evaporación	Recirculación	Membranas	Sistemas Naturales	UASB
			Muy				
Metales	Intermedio	Alto	alto	Intermedio	Alto	Alto	Alto
			Muy				
COV	Alto	+	alto	+	No	+	Variable
			Muy		Muy		
Patógenos	Bajo	Bajo	alto	Bajo	alto	Variable	Variable

Fuente: GIRALDO (2001)

2.8. Coliformes totales

Según AYALA *et al.* (2018) indica que la presencia de bacterias coliformes está relacionada con la cantidad de nutrientes, temperatura del agua, los cuales determinan las condiciones para su proliferación, en su estudio realizado en un sistema discontinuo en tratamiento de lixiviado con *Nymphoides humboldtiana* mostro una remoción un 93.46%, seguido por *Eichhornia crassipes* y *Nasturtium officinale*, con un 91.92% y 90.77%.

2.9. Límites máximos permisibles (LMP)

Según el MINAM (2009), el límite máximo permisible en efluentes provenientes de residuos sólidos de efluentes de residuos sólidos representa las condiciones en la no puede causar daños a la salud de hombre al ambiente sin

embargo al ser excedidos causa contaminación, para las descargas de efluentes líquidos para el plomo y zinc es de 0.5 mg/L.

2.10. Fitorremediación

Se refiere a una variedad de tecnologías o procesos mediante la aplicación de las plantas que a través de varios procesos remueve los contaminantes en medios en suelos, lodos y agua (VOLKE y VELASCO, 2002). Se ha determinado una serie de especies para el uso, pero aún se están buscando alternativas con una serie de especies ejemplares con las condiciones de remediación (DELGADILLO *et al.*, 2011).

Esta técnica consiste en atrapar contaminantes para evitar la propagación en las fuentes, agrupándolos o degradándolos o metabolizarlos en otros compuestos menos nocivas (VOLKE y VELASCO, 2002). Consiste en utilizar plantas para disminuir la concentración a partir de procesos por las plantas y microorganismos asociados en la parte de las raíces estos mecanismos conducen en la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos contaminantes (NÚÑEZ *et al.*, 2004).

2.10.1. Tipos de hiperacumulación de metales en planta

La hiperacumulación es remoción de los metales por plantas que tiene gran cantidad de biomasa, debido a sus acumulaciones, se trata de modificaciones en el equilibrio o la interacción entre el absorbente y el medio (SHEORAN *et al.*, 2011).

2.10.2. Mecanismo

La acumulación se realiza generalmente por la fitoextracción, en la que desarrollan un contacto del citoplasma de la células que luego es inactivado, de esta manera se previene en procesos celulares por lo que es tolerado por la planta (SHEORAN *et al.*, 2011).

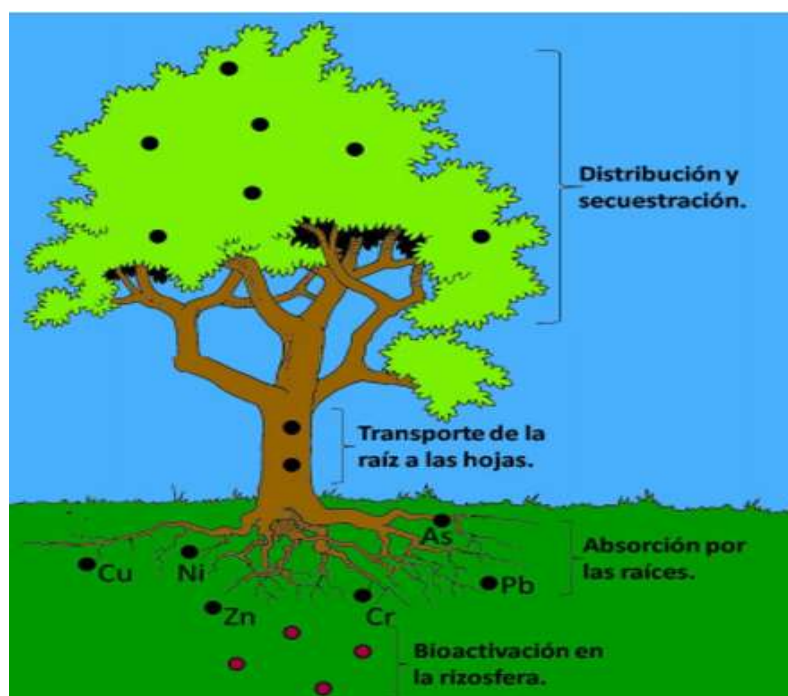


Figura 1. Procesos que se llevan a cabo en el mecanismo de hiperacumulación de metales en plantas por medio de fitoextracción

Fuente: SHEORAN *et al.* (2011)

2.10.2.1. Bioactivación de los metales en la rizósfera

El metal pesado tiene una afinidad con la materia orgánica disuelta, arcillas orgánicas la mayor cantidad de metales se encuentran en forma de iones en medio ácido (GHOSH y SINGH, 2005). La disponibilidad se debe a que tan solubles están en el medio contaminado (SHEORAN *et al.*, 2011):

1. Acidificación por la raíz: por la liberación iones en las raíces para la acidificación de la rizosfera es transportado por la membrana plasmática mediante la liberación de la enzima la que regula el pH dentro y fuera de las células, facilitando la absorción activa de nutrientes (MOYA y AGÜI, 1996).
2. Organismos en las raíces: Los microorganismos como las bacterias y los hongos aumenta la capacidad de la raíz la extracción de los metales, por liberación de compuestos orgánicos que estimulan la adquisición de los nutrientes como los iones metálicos (GHOSH y SINGH, 2005).

2.10.3. Ventajas y desventajas

Tiene numerosas ventajas como se expresa en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Ventajas y desventajas de tecnologías de fitorremediación.

Ventajas	Limitaciones o desventajas
- Aplicable a una gran cantidad de elementos, tanto orgánicos como inorgánicos en sustratos sólidos y líquidos.	- Su aplicación puede requerir de muchos años, condiciones climáticas.
- Su aplicación ejerce un mínimo impacto en el medio además reduce un 95 %.	- Requieren de una disposición adecuada de las plantas o biomasa, una utilizadas.
En aplicaciones a escala podría ser otra alternativa de uso como para generar energía térmica.	- Pueden afectar la biodiversidad si se introducen especies no nativas para remediar.

2.10.4. Aplicación de la fitorremediación en tratamiento de lixiviados

Hasta ahora se es común su uso como una tecnología en tratamientos de los lixiviados de relleno sanitario, sin embargo, se han hecho trabajos respecto a su aplicación, con árboles y pastos en la fitorremediación de lixiviados en la que se han observado prometedores resultados (JONES *et al.*, 2006).

Hay plantas en que se han identificado el potencial para el tratamiento el tipo de planta es amplio desde familias hasta por sus modificaciones genéticas en sus adaptaciones en la fitorremediación por contaminantes (DELGADILLO *et al.*, 2011).

2.11. *Cajanus cajan* (L.) Huth

Se refiere de una especie perenne en sequias que tolera terrenos arenosos a arcilloso, pedregosos, resistente a un alto grado de medio ácido, con pH desde los 4.5 - 8.5 con rangos de temperatura desde los 10 °C -35 °C. (CEDANO, 2006).

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Subfamilia: Faboideae

Tribu: Phaseoleae

Género: *Cajanus*

Especie: *Cajanus cajan* (L.) Huth

2.11.1. Características

El gandul es una leguminosa perenne que alcanza a una altura de 2.5 metros con flores amarilla y rojas, su crecimiento vegetativo es lento, pero se desarrolla cuando llega a la edad de 3 meses, sus raíces están adaptadas para la resistencia de (CEDANO, 2006).

2.11.1.1. Adaptabilidad

2.11.1.1.1. Temperatura

El gandul tolera temperaturas en el ambiente entre 18 y 30°C además crece a temperaturas por encima de los 35°C en suelos húmedos y fértiles, no se adapta a condiciones heladas (CEDANO, 2006).

2.11.1.1.2. Agua

Es más resistente en sequías, además tolerable en lluvias por que se generalmente su crecimiento se encuentra en los trópicos con alturas de 625 mm a 2000mm de precipitación característico en esta zona estos trópicos (CEDANO, 2006).

2.11.1.2. Suelo

Su desarrollo en suelos arenosos hasta arcillosos, con pH entre 5.0-7.0, sensibles en zona salinidades, necesita humedad en los primeros meses, se adapta en zonas sub humedad y sobrevive en suelos pobres bajos en nutrientes (CEDANO, 2006).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona de trabajo

3.1.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en la Universidad Nacional Agraria de la Selva en el laboratorio de Calidad de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) ubicado en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado y el departamento de Huánuco ver en el Anexo I.

3.1.2. Aspectos ambientales

Tingo María se ubica en la zona de formación vegetal bosque muy húmedo Pre-montano Tropical bmh-PT, correspondiente a la región Rupa Rupa, el comportamiento climático es muy variables, con precipitaciones anuales de 3328mm en los meses de septiembre a abril y alcanza un máximo extremo en el mes de febrero (HOLDRIDGE, 1982).

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Los materiales que se usaron para la ejecución fue: plástico cloruro de polivinilo, Cubetas de plástico, Agua destilada, espátula, vaso precipitado de 25 ml, pintura negra, piseta, solución hidropónica, ácido nítrico al 65% (concentrado) , Ácido perclórico al 72% p/p, espuma agrícola UTRAFORM, grifo de policloruro de vinilo, papel absorbente, tecnopor de polietileno, manguera de pecera, pipetas volumétricas, fioles, probetas, matraces Erlenmeyer (150 ml, 250ml), espátula, papel filtro, pinzas, tubos de ensayo, frascos esterilizados de 50 ml.

3.2.2. Equipos

Bomba de aire de pecera (modelo HP 400), incubadora de DBO₅, incubadora microrganismos, extractor de gases, balanza analítica marca PRECISA modelo XB 120A, Plancha eléctrica, Espectrometría de Emisión Óptica de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) (HORIBA Ultima Expert LT), Oxímetro marca HANNA modelo HI 9146, multiparámetro marca HANNA (modelo HI2550).

3.3. Metodología

3.3.1. Fase de pre- campo

Se recopiló información bibliográfica disponible acerca de mecanismo de remoción de la planta y la capacidad de resistencia en un medio extremo, la preparación de cronogramas y los permisos para el análisis en el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad

Nacional Agraria de la Selva (UNAS) y en el Laboratorio Central de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS).

3.3.2. Fase de campo

Se recolectó el lixiviado del botadero de la Municipalidad Distrital de José Crespo y Castillo, ver el Anexo J, la recolección fue de varios puntos por donde es drenado el lixiviado, para mantener una muestra homogénea del botadero, se realizó en las horas de la mañana en ausencia de lluvia, Para el transporte se utilizó un trimovil hasta ciudad de Aucayacu ya que el botadero se encuentra alejada a la ciudad luego se trasladó en auto hasta la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Ya en el Laboratorio de Calidad de Suelos se procedió a pasar con un filtro para eliminar objetos de mayor tamaño.

3.3.2.1. Determinación de los metales Cd, Cr, Zn y Pb con mayor presencia en el lixiviado del botadero

Para ello se procedió hacer el ensamblado de la cámara germinadora para la selección y el crecimiento del *Cajanus cajan* (L.) Huth para esto se tuvo en cuenta los siguientes pasos que se observa en la Figura 2.

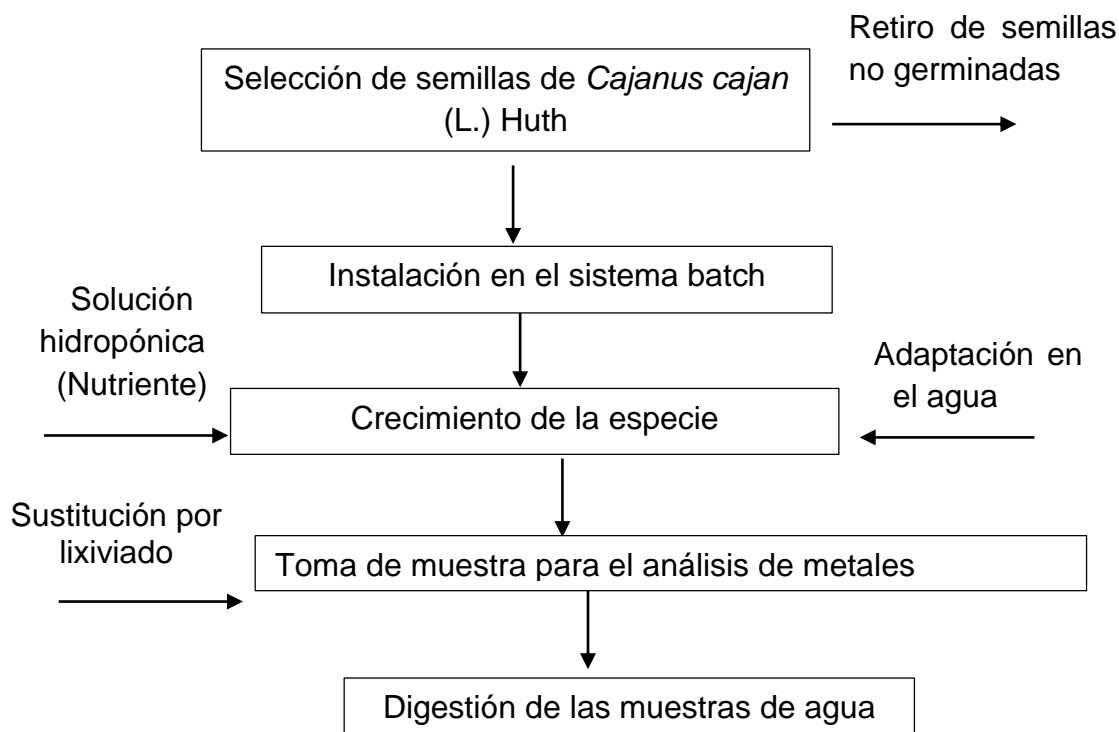


Figura 2. Flujograma de operación

Selección de las semillas de *Cajanus cajan* (L.) Huth

Se adquirió las semillas de *Cajanus cajan* (L.) Huth provenientes de la de la venta local de la ciudad de Tingo María.

La homogenización de los individuos de *Cajanus cajan* (L.) Huth *germinados* en la espuma agrícola se determinó de la siguiente manera con deformaciones, inhibición en su crecimiento o crecimiento de hongos se descartaron, además que las especies se encuentren en un rango 10 a 11 cm en el quinto día después de la germinación, las que presentaron mejores condiciones en su

crecimiento fueron puesto por diez individuos por cada sistema para tener mayor densidad de raíces.

Ensamblado del sistema batch

Se contó con un recipiente cuya capacidad fue de 10 litros que estuvo pintado de color negro para prevenir la entrada de la luz, además se instaló un grifo de policloruro de vinilo para la toma de muestra. Los individuos de *Cajanus cajan* (L.) Huth *estuvieron* suspendidos en una lámina de poliestireno, se usó un aireador que funcionó las 24 horas durante el ensayo que fueron instalados en la cámara de germinación que se expuso a 8 horas de luz de 100W por diodos emisores de luz (LED) seguidas por 16 horas de sombras consecutivamente.

Crecimiento de la especie

Para esto se agregó agua tratada (ozonizada) en los recipientes agregando 8 litros a cada recipiente para su adaptación en el agua, agregando 1.5 ml /L de solución hidropónica cada 10 días hasta los 19 días cumplidos para su adaptación ya que hasta ese momento las leguminosas se encuentran en la fase reproductiva empiezan a acumular mayores nutrientes (FALLAS et al. 2010) que luego será remplazado por el lixiviado como fuente de nutriente.

Toma de muestra

Se remplazó como fuente de nutriente por lixiviado, la proporcionalidad de dilución fue al 50% de lixiviado / 50 % de agua tratada en la selección de metales con

mayor concertación. La toma de muestra se realizó cada tres días que fueron dispuestos en frascos esterilizados para su posterior digestión en el laboratorio.

Para las siguientes evaluaciones a concentraciones de 25%, 50%, 75% de lixiviado en dilución se consideró el mismo criterio expuesto anteriormente.

Digestión de las muestras en agua

Agregar 10 ml del ensayo en un erlenmeyer de 100 ml. Agregar 15 ml de la mezcla de ácido nítrico-perclórico (relación 4:1) (NIOSH, 1994). Se digirieron durante 2 horas aproximadamente a (80 – 90) °C hasta la manifestación de la presencia de vapores blancos y la reacción violenta del ácido. Pasado este tiempo, las muestras fueron enrasadas con agua destilada en fiólas de 25 ml para su posterior trasvase a frascos, donde se mantendrán hasta el momento del análisis por el equipo de Espectrometría de Emisión Óptica de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES).

Cálculo de la concentración del metal de la muestra analizada en ICP-OES

La concentración del metal y la curva de calibración en mg/l. se observa en la pantalla del monitor acoplado al ICP-OES. En muestras diluidas se multiplica dicha concentración por el factor de dilución y teniendo en cuenta la cantidad de muestra que hemos recolectado para la realización del análisis, Norma UNE-EN ISO 11885 (ISO, 1996):

$$\text{mg Metal / L} = (C \times F)/P \quad (1)$$

Dónde:

C = Concentración de metal leída directamente en el instrumento o en la curva de calibración, en mg/l.

F = Factor de dilución.

P = Peso de la muestra en ml cogidos para realizar el análisis.

El resultado se expresa en mg/l o mg/Kg con cuatro cifras decimales.

Determinación de los metales Cd, Cr, Zn y Pb con mayor presencia

La muestra recolectada en el lixiviado del botadero de la Municipalidad Distrital de José Crespo y Castillo se procedió hacer la lectura en el ICP-OES para determinar cuál de estos metales Cd, Cr, Zn y Pb se encuentra con mayor concentración.

Determinación del tiempo de remoción de los metales Cd, Cr, Zn y Pb

Se realizó la cinética de remoción de los metales Cd, Cr, Zn y Pb para determinar hasta qué grado el sistema batch con presencia *Cajanus cajan* (L.) Huth puede remover y que porcentaje de remoción llegaría, las evaluaciones se realizaron de manera gradual a su capacidad de remoción en los metales para determinar el día donde la concentración de los metales se mantiene relativamente constante.

3.3.2.2. Determinación de la propiedad física, composición química y coliformes totales del efluente tratado

Los parámetros indicados se evaluaron en los diferentes tratamientos a 25% v/v lixiviado, 50% v/v lixiviado, 75% v/v lixiviado y el testigo se realizaron por un periodo de 15 días, las variables se detallan en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Formato utilizado en la evaluación de los parámetros

T1-T2-T3- TESTIGO						
Parámetro	E0	E1	E3	E4	E5	E6
Temperatura (°C)						
Potencial de hidrogeno (Ph)						
Sólidos totales disueltos (mg/l)						
Oxígeno disuelto (mg/l)						
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)						
Conductividad (us /cm)						
Coliformes totales (NMP/100ml)						

T_{1,2,3} = Tratamientos; E_{0, 1...6} = Evaluación de cada parámetro respecto a los días

Determinación de temperatura

Se realizó por el método electrométrico, ex situ con el multiparámetro (HANNA HI2550). Acuerdo al Estándar Methodos for the Examination of Water and Wastewater parte 4500 - OG (APHA, 2005), unidad de medida (°C) grados Celsius.

Determinación de pH

La determinación del pH se realizó de acuerdo al método al Estándar Methodos for the Examination of Water and Wastewater parte 4500-H+ - B, (APHA ,2005). La lectura del pH se tomó de igual manera que la temperatura incorporado en el multiparámetro (HANNA HI2550), ex situ.

Determinación de sólidos totales disueltos (STD)

Se determinó el contenido de sólidos suspendidos totales presentes en una muestra de agua, por método al Estándar Methodos for the Examination of Water and Wastewater parte 2540-D (APHA-2005), se realizó con el multiparámetro (HANNA HI2550), los resultados se evaluaron en mg/L.

Determinación de oxígeno disuelto (OD)

Se realizó por el método electrométrico, ex situ utilizando el Oxímetro (OD HANNA HI 8424) modelo al Estándar Methodos for the Examination of Water and Wastewater parte HI 9146 APHA-2005), Los resultados se reportaron en mg/L.

Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno

Se realizó por el Método de dilución, 5 días a 20°C, de acuerdo al Estándar Methodos for the Examination of Water and Wastewater parte 5210 B (APHA-2005). El oxígeno disuelto se midió por método electrométrico con el Oxímetro (OD HANNA HI 8424), antes y después de la incubación.

Para determinar la DBO₅ con contenido de alta carga orgánica de contaminante se debe de utilizar diluciones, empleando la siguiente formula.

$$DBO_5 = (OD_{\text{testigo}} - OD_{\text{diluida}}) * \left(\frac{V_b}{V_m}\right) + (OD_{\text{diluida}} - OD_{\text{muestra}}) \quad (2)$$

OD_{testigo} = OD final del testigo, frasco con agua de dilución, mg/L

OD_{diluida} = OD final de la muestra diluida, mg/L

OD_{testigo} = OD inicial de la muestra sin diluir, mg/L

Determinación de conductividad

Se realizó con el multiparámetro modelo (HANNA HI2550), por el método (APHA, 1992). Los resultados se evaluaron en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Aplicando el siguiente procedimiento.

1. Enjuagar la celda de conductividad con una o más porciones de la muestra a medir.
2. Ajustar la temperatura de la muestra a $25.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ o realizar las correcciones necesarias para que el valor quede determinado a 25°C . Medir la resistencia o la conductividad de la muestra.

3.3.2.2.1. Determinación del número más probable de coliformes totales

Se utilizó la técnica del número más probable (NMP) con serie de tres tubos y en dos etapas, según el método 9221B (APHA 1999).

Etapa presuntiva: Se utilizaron tres diluciones (10^1 a 10^3) a partir original de la muestra de agua, cada dilución con una serie de tres tubos o repeticiones teniéndose un total de 108 tubos conteniendo caldo Lactosa Bills Verde Brillante (BRILA) y un tubito de Durham invertido para la captura de gas. se incubaron a una temperatura de 35°C a 37°C por un promedio de 24 a 48 horas.

Etapa de confirmación: De los tubos de gas positivos de la etapa anterior, se tomó una anzada como inóculo y se sembró en tubos que contiene 9 ml de caldo LACTOSADO con tubitos Durhan para la verificación nuevamente de la producción de gas, se incubaron a una temperatura de 35°C a 37°C por un promedio de 24 a 48 horas. Se determinó el índice Numero Más Probable tubos positivos a gas, calculándose posteriormente el Numero Más Probable por 100ml aplicando la fórmula:

$$\text{NMP}/100\text{ml} = \frac{\text{Indica NMP} \times \text{dilución intermedia}}{100\text{ml}} \quad (3)$$

3.3.2.3. Evaluación del efecto de la concentración del lixiviado sobre el *Cajanus cajan* (L.) Huth

Cuadro 12. Resumen de variables de evaluación

Concentración de Lixiviado	25, 50, 75 % v/v lixiviado y Testigo
Variable	Altura del vástago
a	Número de hojas al final de tratamiento
evaluar	Número de plantas vivas

Las evaluaciones fueron hechas cada tres días, la del vástago, el número el número de individuos y el número de hojas fueron tomadas al final de la evaluación.

3.3.2.4. Eficiencia de remoción de metales pesados mediante sistema batch

Se calculó mediante una correlación porcentual, la variación de la concentración final e inicial de los metales, según los tratamientos, mediante la ecuación (4):

$$E_r = \left(\frac{c_i - c_f}{c_i} \right) * 100 \quad (4)$$

Donde:

E_r = Eficiencia de remoción (%)

C_i = concentración inicial del metal (mg/L)

c_f = concentración final del metal (mg/L)

3.3.2.5. Comparación con los límites máximos permisibles de los metales de efluentes de infraestructuras de residuos solidos

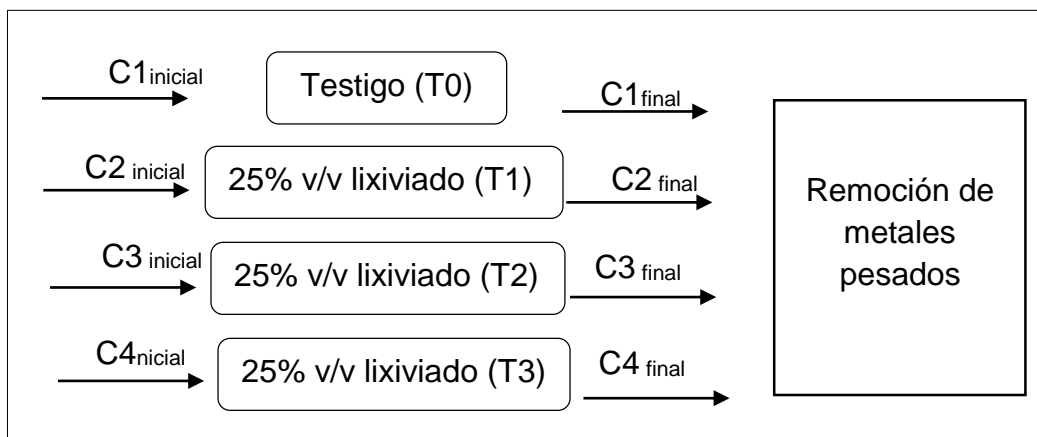
Los metales con mayor concentración en el lixiviado, ya que la concentración de plomo y zinc no deben superar el 0.5 mg/l y el cadmio y cromo no debe ser superior al 0.1 mg/l de manera que se comparó con las concentraciones después de haber realizado en cada tratamiento con los establecido por el MINAM (2009).

3.3.3. Fase gabinete

Se realizó el análisis estadístico para la significancia de los resultados mediante una prueba estadística, posteriormente se procedió a la interpretación de los datos, hasta llegar a la conclusión de la hipótesis en su veracidad y su discrepancia en ella.

3.3.3.1. Diseño experimental

Se trabajó un diseño experimental, en el cual se empleó el sistema batch, con tres concentraciones de lixiviado de residuos sólidos con los siguientes porcentajes (25% v/v de lixiviado, 50% v/v de lixiviado, 75% v/v de lixiviado) y el testigo, con tres repeticiones de manera que se evaluó la eficiencia de remoción de los metales pesados.



Tn= tratamientos, Cn= concentraciones

Figura 3. Diseño experimental

3.3.3.2. Tratamientos de estudio

Los Tratamiento en estudios utilizados fueron:

Cuadro 13. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Concentración lixiviado	Repeticiones
Testigo (T0)	0%	3
25% v/v de lixiviado (T1)	25%	3
50% v/v de lixiviado (T2)	50%	3
75% v/v de lixiviado (T3)	75%	3

3.3.4. Variables

3.3.4.1. Variable dependiente

- Eficiencia de remoción metales pesados

3.3.4.2. Variable interviniente

- Sistema batch del *Cajanus cajan* (L.) Huth
- Concentración de lixiviado (Testigo= 0% v/v, T1= 25% v/v, T2= 50% v/v, T3= 75% v/v)
- Lixiviado del botadero de la Municipalidad Distrital de José Crespo y Castillo
- Laboratorio de Calidad de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva

3.3.4.3. Indicadores y unidades de la variable

- Volumen de solución hidropónica [L]
- Temperatura [°C]
- Potencial de hidrogeno [pH]
- Conductividad eléctrica [μ S/cm]
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) [mg/L]

- Oxígeno disuelto [mg/L]
- Sólidos disueltos totales [mg/L]
- Coliformes totales [NMP/100ml]
- Altura de vástago [cm]

3.3.5. Análisis estadístico

Se distribuyeron las variables estadísticas y tratamientos, con respecto al diseño experimental se aplicó el modelo estadístico completamente al azar (DCA), con tres repeticiones, utilizando el programa estadístico Infostat clave de activación (E7MO-MP6R-MXXD-TK33), para un nivel de confianza del 5%.

Cuadro 14. análisis de variancia (ANOVA)

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Signif
Tratamientos	t-1	SC-tra	$\frac{S_{tra}}{t}$	$\frac{C_{mtra}}{C_{me}}$	$F_c > F_t$
Error	t(r-1)	$\frac{S_{error}}{G_l}$			
TOTAL	t.r-1				

El resultado se realizó mediante una prueba estadística por TUKEY, para determinar cuál de ellos es de mayor significancia para un nivel de significación del 5%, lo cual determinará el tratamiento donde se obtendrá la remoción.

IV. RESULTADOS

4.1. Determinación de los metales Cd, Cr, Pb y Zn con mayor presencia en el lixiviado del botadero.

Cuadro 15. Concentración de los metales Cd, Cr, Pb y Zn en el lixiviado del botadero

Concentración Cadmio (mg/L)	Concentración cromo (mg/L)	Concentración Plomo total (mg/L)	Concentración Zinc total (mg/L)
0.0010	0.0372	0.6496	0.6847

En el Cuadro 15 se observa mayor concentración de en el lixiviado recolectado en el botadero en el plomo y zinc y en el cadmio y cromo en bajas concentraciones.

En las siguientes figuras la cinética de remoción es expresado en porcentaje, de los metales Cd y Cr que se muestra en la Figura 4 y 5 se observa un efecto de remoción y a la vez una supuesta desorción estas se observan con concentraciones bajas, sin embargo, en la Figura 6 y 7 en concentraciones mayores muestra una remoción progresiva del metal Pb y Zn respecto al tiempo.

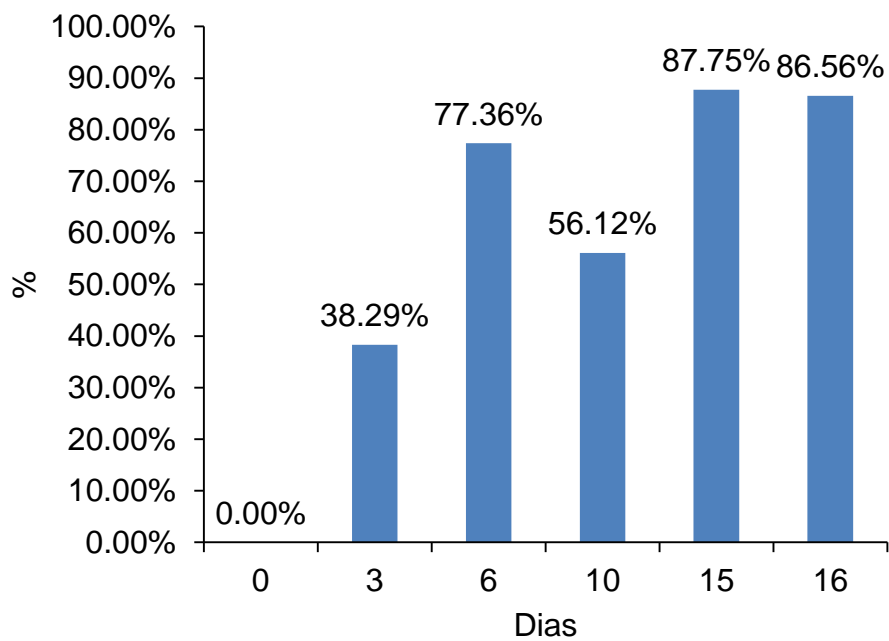


Figura 4. Eficiencia de remoción del cadmio respecto al tiempo

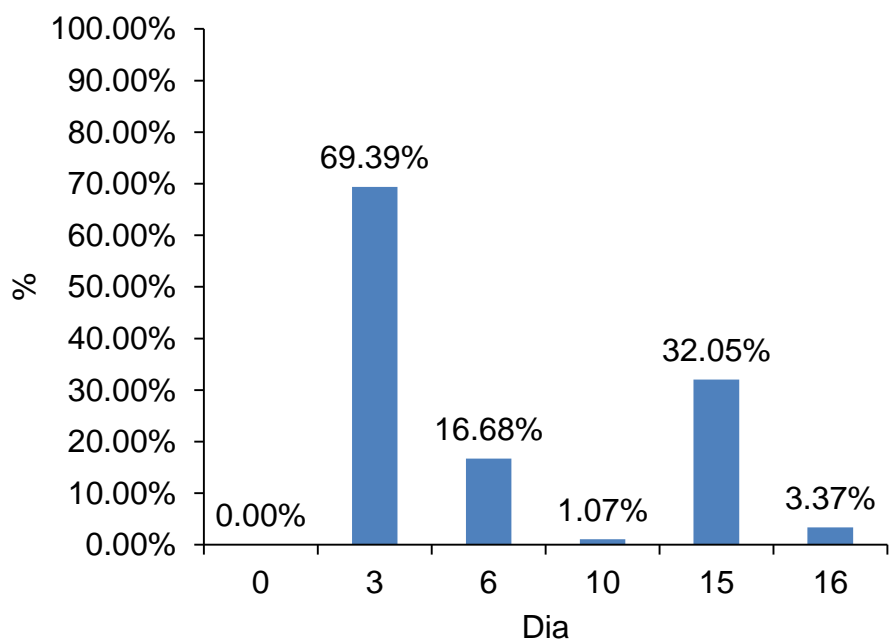


Figura 5. Eficiencia de remoción del Cromo total respecto al tiempo

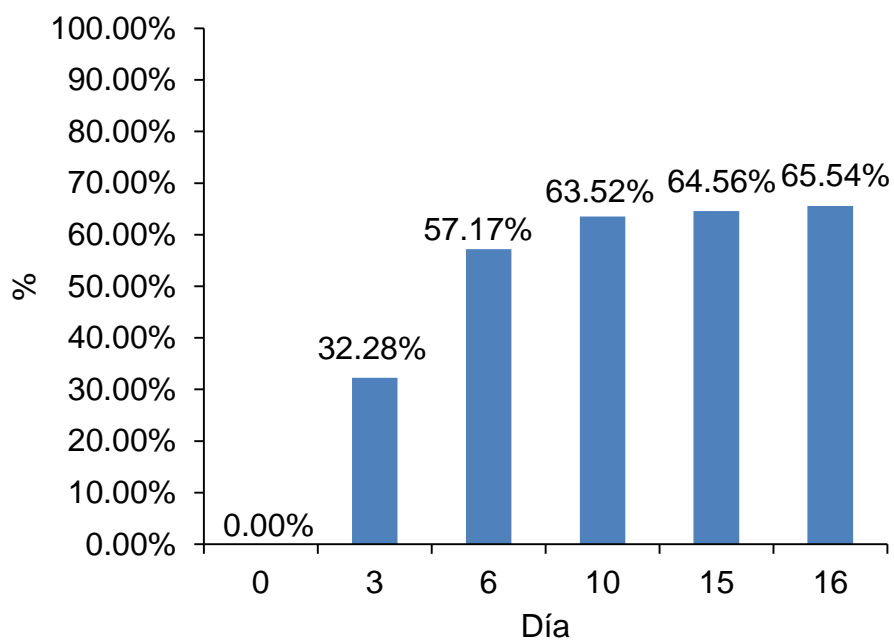


Figura 6. Eficiencia de remoción del Zinc respecto al tiempo

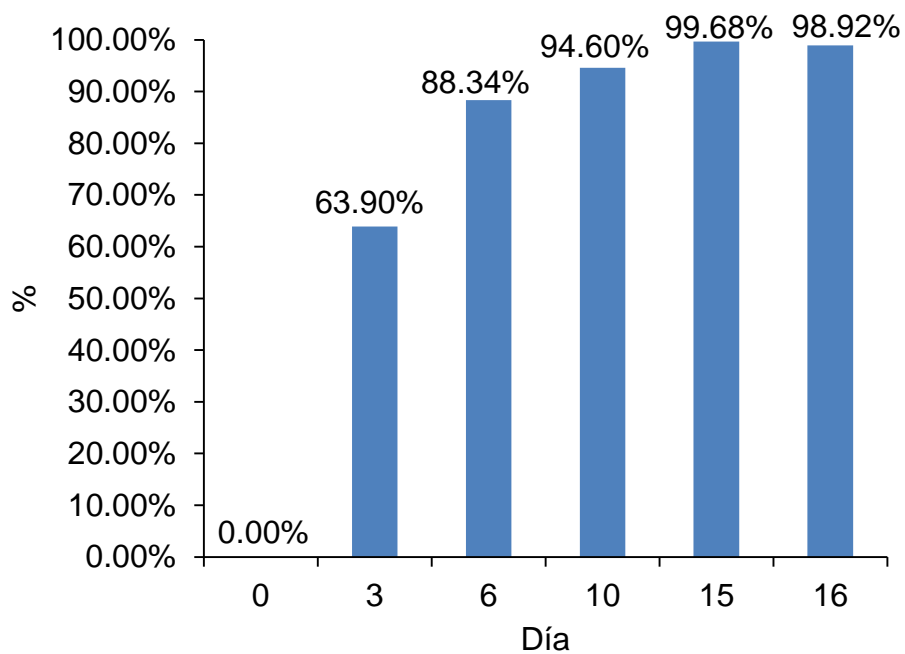


Figura 7. Eficiencia de remoción del plomo total respecto al tiempo

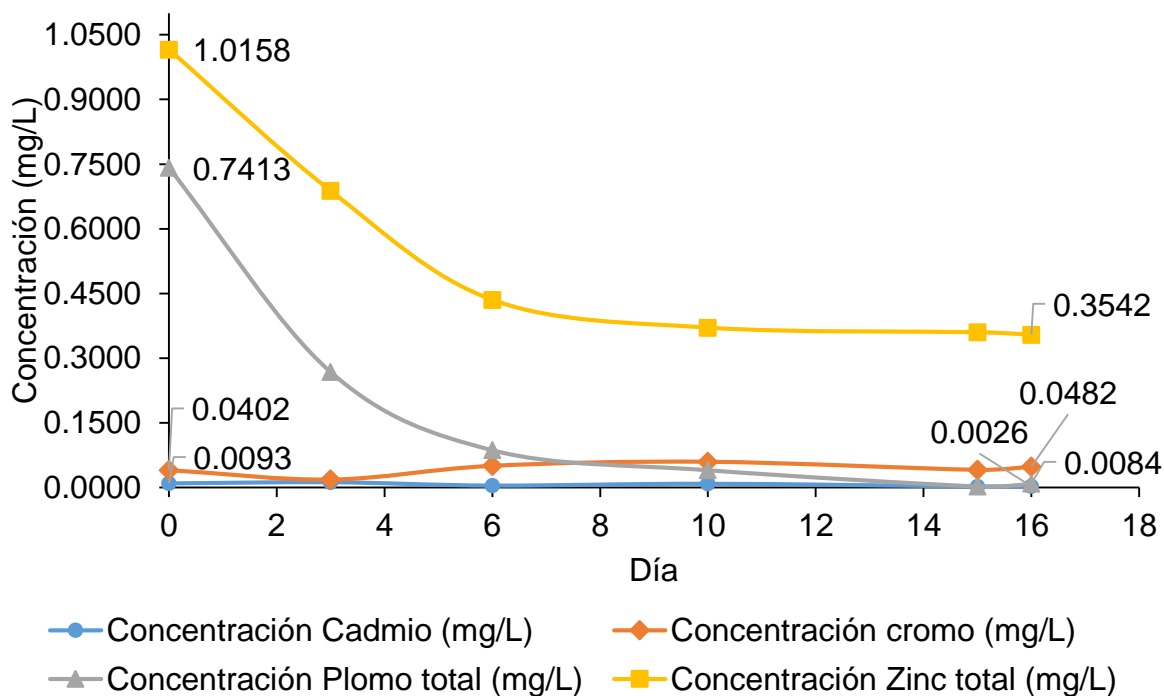


Figura 8. Remoción de metales pesados respecto al tiempo

En el Figura 8 se expresa las concentraciones de cada metal y como estas varían en el tiempo, al parecer a concentraciones bajas no son asimiladas por no superar la capacidad de tolerancia en la planta, sin embargo, a concentraciones altas son removidas hasta el día 15 donde la remoción se mantiene constante.

4.2. Determinación de la propiedad física, composición química y microbiológica del efluente tratado

4.2.1. Temperatura

En la Figura 9, presenta los promedios registrados en el tiempo en el efluente del tratamiento, muestra una reducción en los días primeros 6 días, pero en los días posteriores mantiene estable.

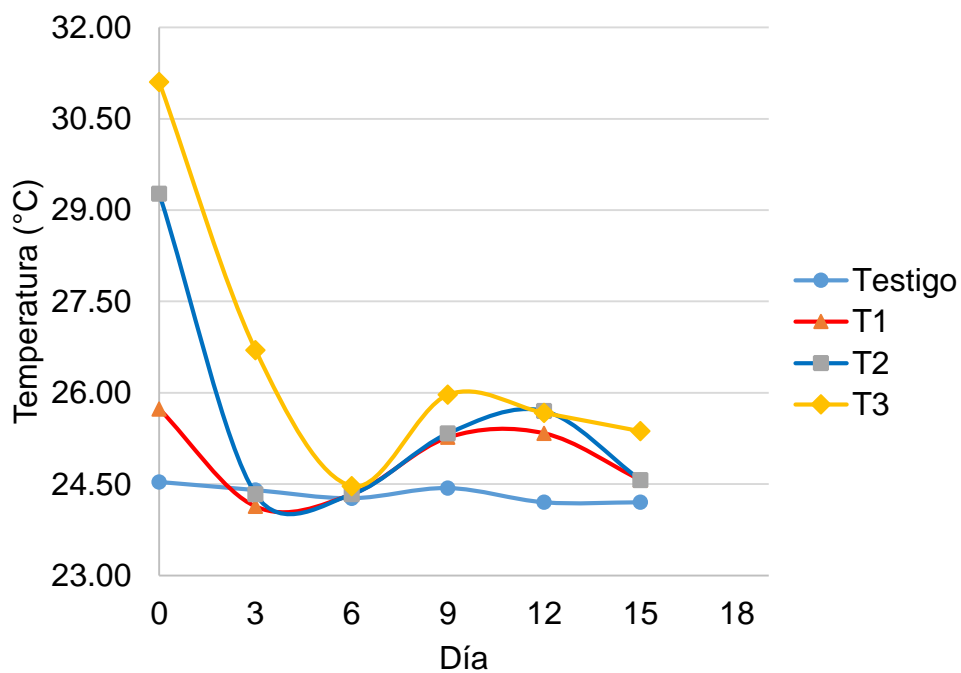


Figura 9. Variación de la temperatura en diferentes concentraciones de lixiviado.

4.2.2. Determinación del pH

La Figura 10 muestra la relación del pH respecto al tiempo en las diferentes concentraciones de lixiviado de botadero, los tratamientos al inicio se encuentran en un medio ácido sin embargo en el proceso cambió a un medio básico, relativamente neutro, en comparación con el testigo que se mantuvo con un medio neutro

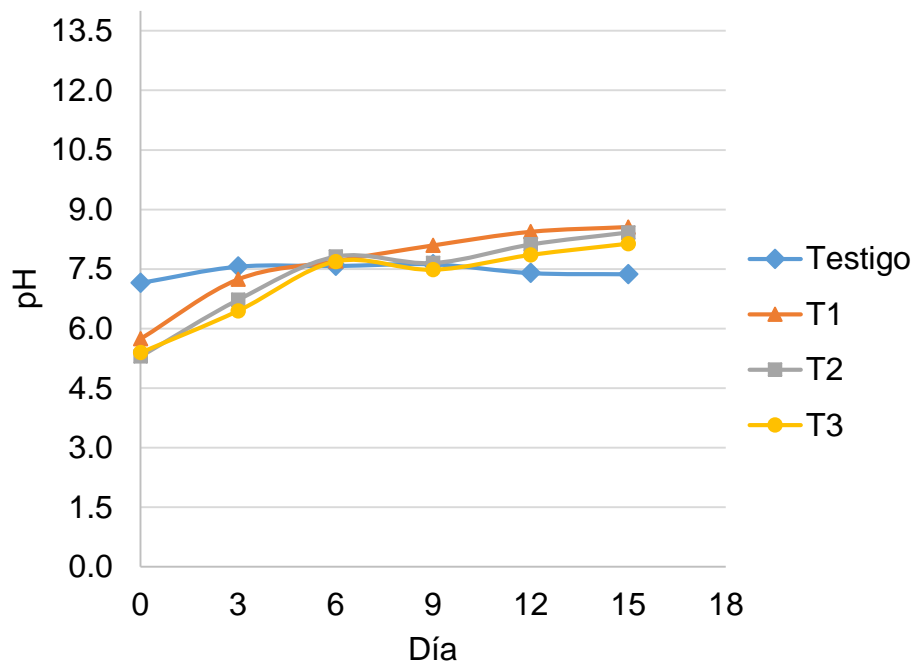


Figura 10. Variación del pH en diferentes concentraciones de lixiviado por dilución

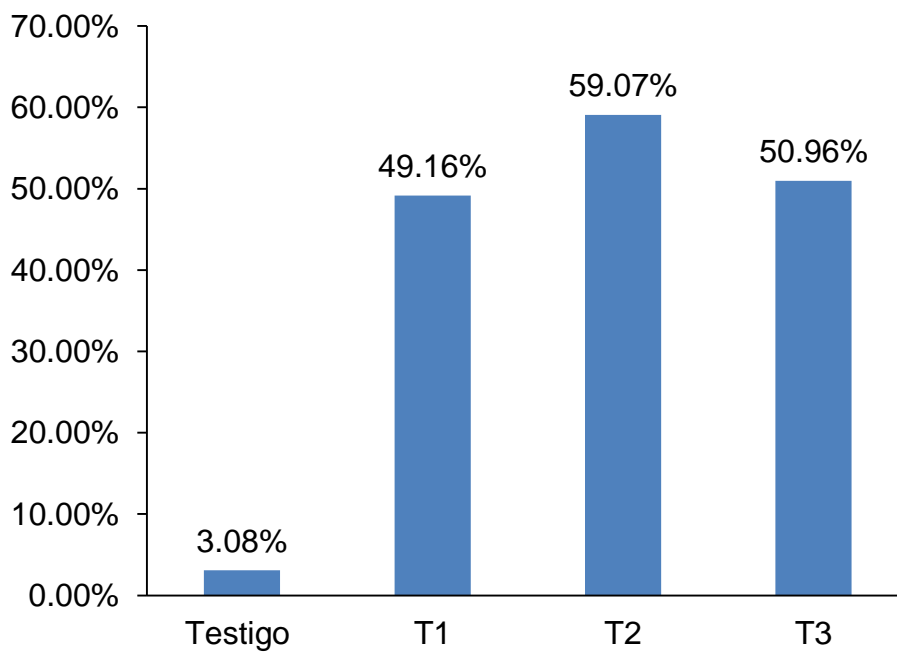


Figura 11. Variación del pH por tratamiento

En la Figura 11 se muestra la variación de pH en la que mayor variación se encontró en T2 con 59.07 % y la menor variación fue en el T1 con 49.16%. sin embargo, en el testigo se mantuvo casi estable.

4.2.3. Determinación sólidos totales disueltos (SDT)

En la Figura 12 se muestra la concertación de sólidos totales disueltos en cada tratamiento respecto al tiempo se reducen de forma prolongada sin embargo en ultimas evaluaciones se mantienen relativamente constante en los tratamientos T2 y T1 sin embargo el respecto al testigo que se mantiene estable.

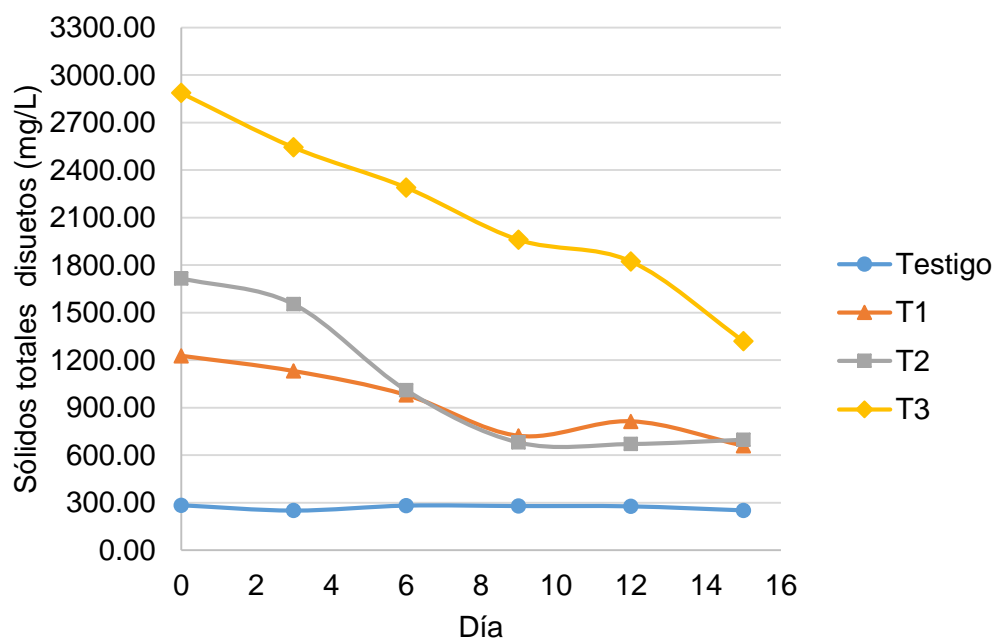


Figura 12. Sólidos disuelto totales en diferentes tratamientos respecto a tiempo

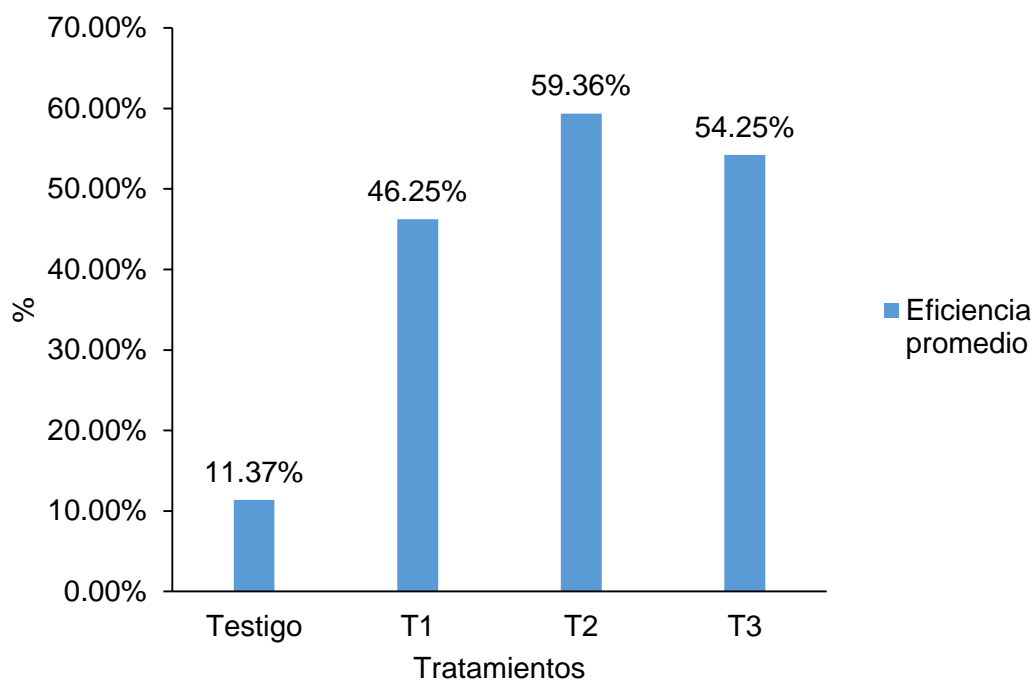


Figura 13. Eficiencia de remoción del SDT por tratamiento

En la Figura 13 se muestra la eficiencia de remoción de los sólidos totales disueltos, que mayor presencia de remoción fue en el T3 con una 55% de eficiencia y con menor remoción fue en el T1 con 34 %, en el Testigo se observa que remoción del 11 % esto es debido a que fue agregado solución hidropónica que contiene nutrientes se entran diluidos en el agua.

4.2.4. Determinación del oxígeno disuelto (OD)

En la Figura 14 muestra la variación promedio de oxígeno disuelto respecto al tiempo en los tratamientos, de manera que se observa un incremento de la concertación de oxígeno disuelto en el T2 y T1 pero en el T3 hubo un aumento no significativo, además que el testigo mantuvo constante en el tiempo.

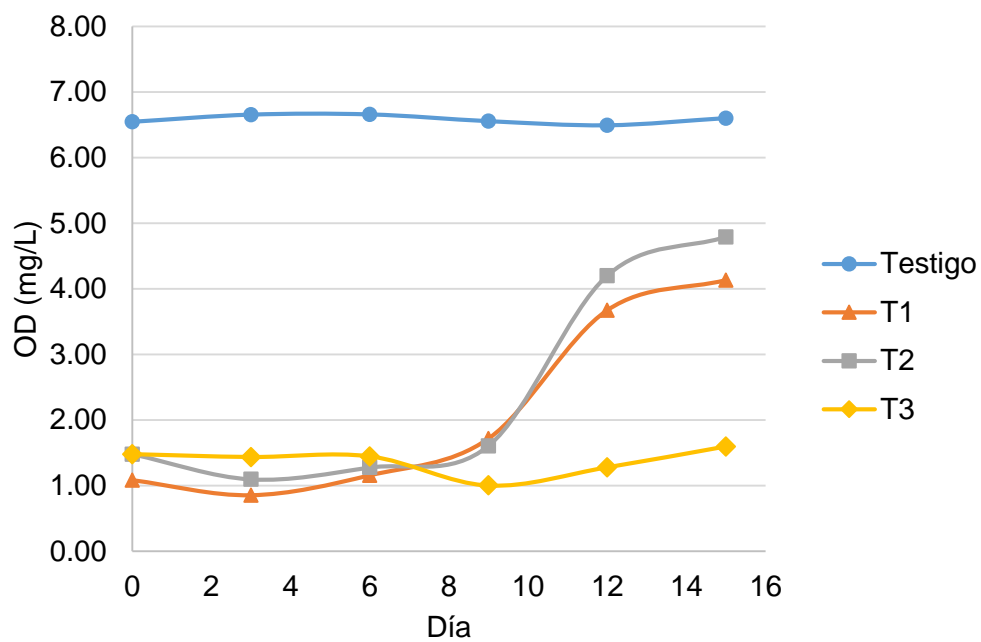


Figura 14. Variación del oxígeno disuelto en los tratamientos respecto al tiempo

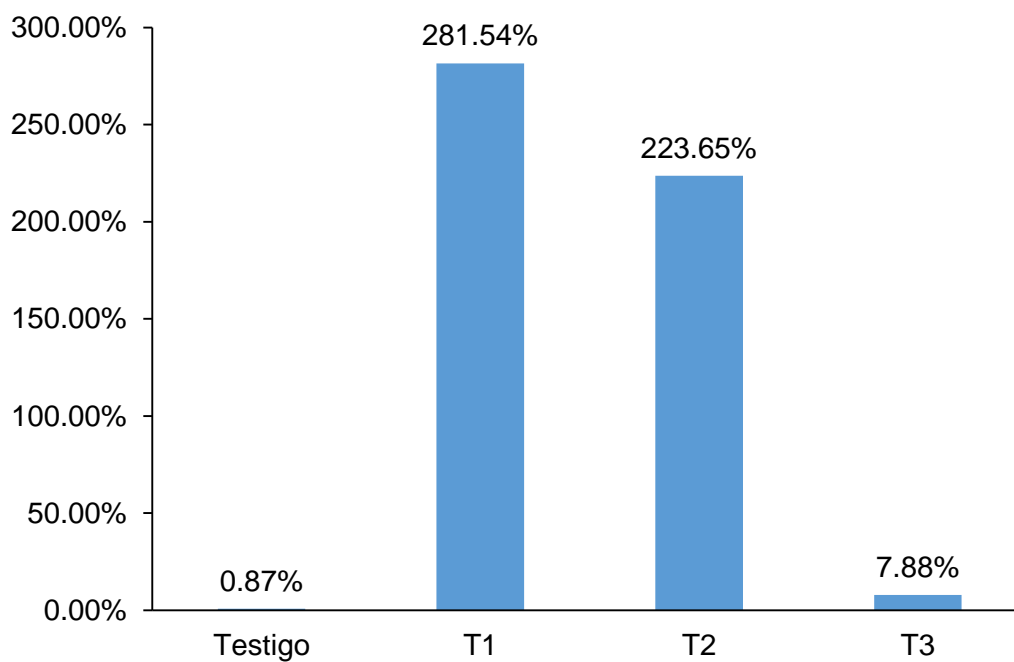


Figura 15. Variación del OD por tratamiento

En la Figura 15 se observa que el T1 y el T2 la variación de oxígeno disuelto fue 282 % y 224 % en comparación con el T3 solo aumento un 7.88 %.

4.2.5. Determinación de la conductividad eléctrica

En la Figura 16 muestra la conductividad eléctrica de cada tratamiento hay una reducción constante respecto al tiempo más significativa en el T2 y T3 no obstante en el T1 no se redujo considerablemente, su concertación en sales fue superior en la última evaluación a comparación del T2.

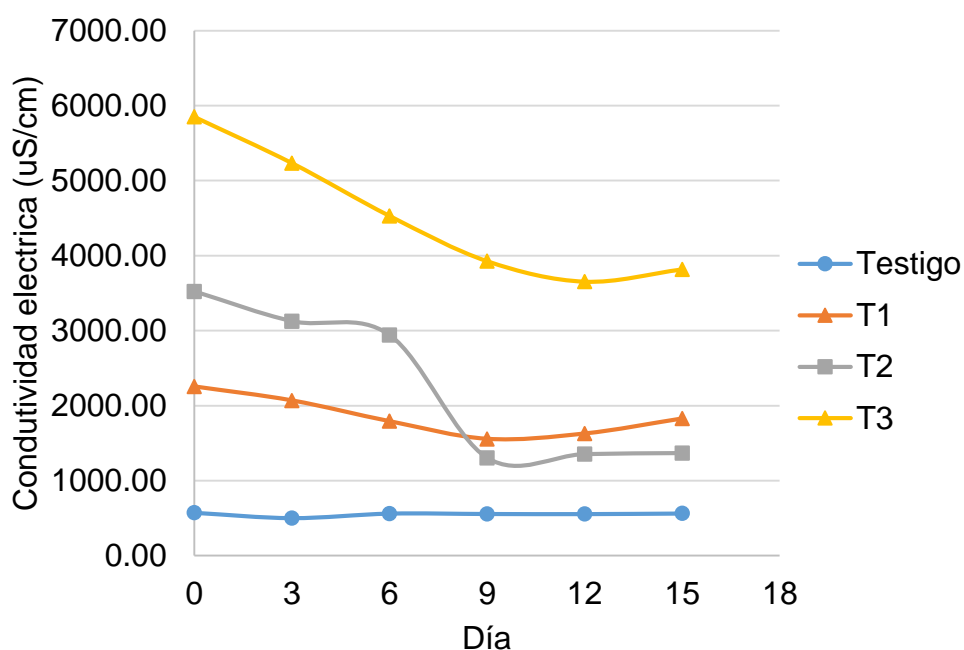


Figura 16. Variación de la conductividad eléctrica en diferentes concentraciones de lixiviado

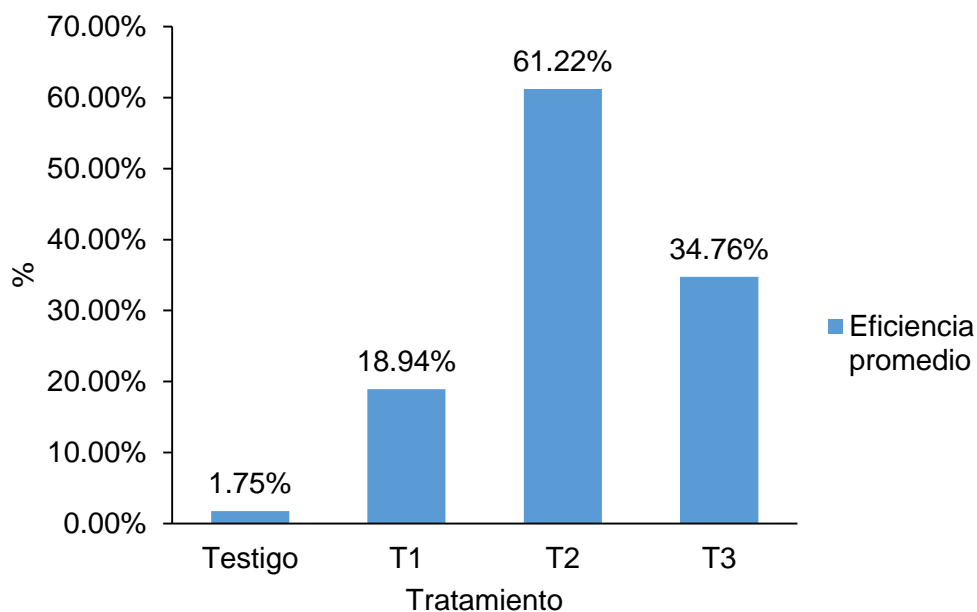


Figura 17. Eficiencia de remoción de la conductividad eléctrica por tratamiento

En la Figura 17 muestra la mayor eficiencia de los tratamientos fue en el T2 con un 56 % quien lo sigue es el T3 con un 30 % y T1 con un 19 %, en el testigo se observa una reducción de la conductividad eléctrica de 1.8 %.

4.2.6. Determinación demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

En la Figura 18 muestra la variación promedio de la DBO₅ en los tratamientos, lo que indica una reducción de materia orgánica en el tiempo, pero con reducción se observa en el T2, sin embargo, en el T2 y T3 en tercera evaluación se observa no hay mucha diferencia con respecto al segunda evaluación.

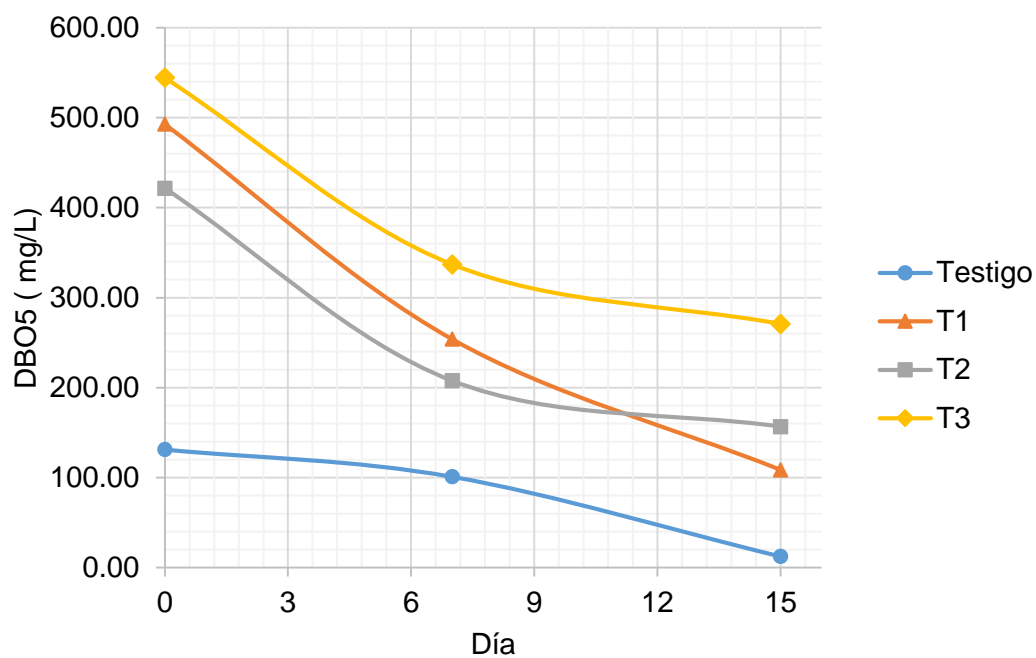


Figura 18. Variación del DBO_5 en diferentes concentraciones de lixiviado respecto al tiempo

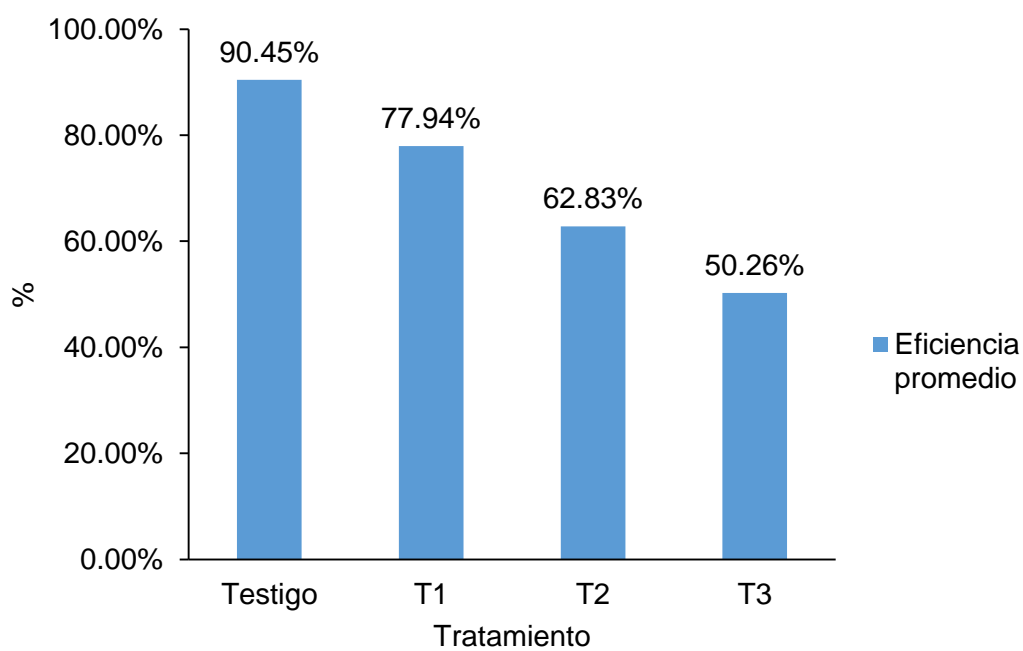


Figura 19. Eficiencia de remoción de la DBO_5 por tratamiento

En la Figura 19 muestra una eficiencia de remoción del T1 fue con 78 % superior a todos los demás tratamientos mientras que el T3 muestra una eficiencia de remoción de 50 %, en el testigo la reducción en la demanda oxígeno fue el 90 % esto es debido concentración baja de solución hidropónica agregado.

4.2.7. Determinación de coliformes totales

En la Figura 20 se muestra coliformes totales en concentraciones altas en proporción al % de dilución en los tratamientos, en la Figura 22 muestra la mayor reducción en el T2 con un 98 % de eficiencia.

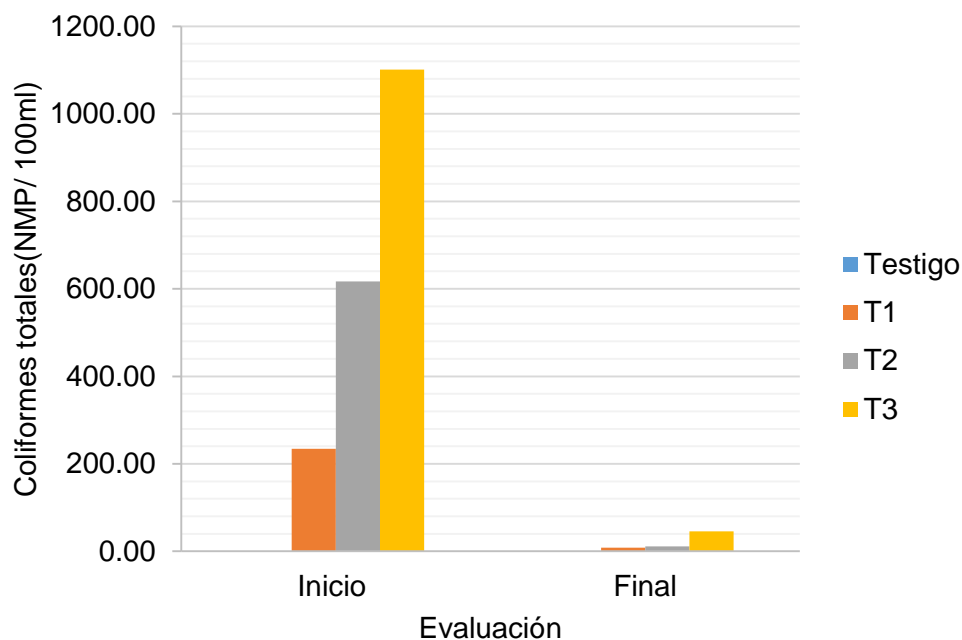


Figura 20. Variación de coliformes totales en diferentes tratamientos

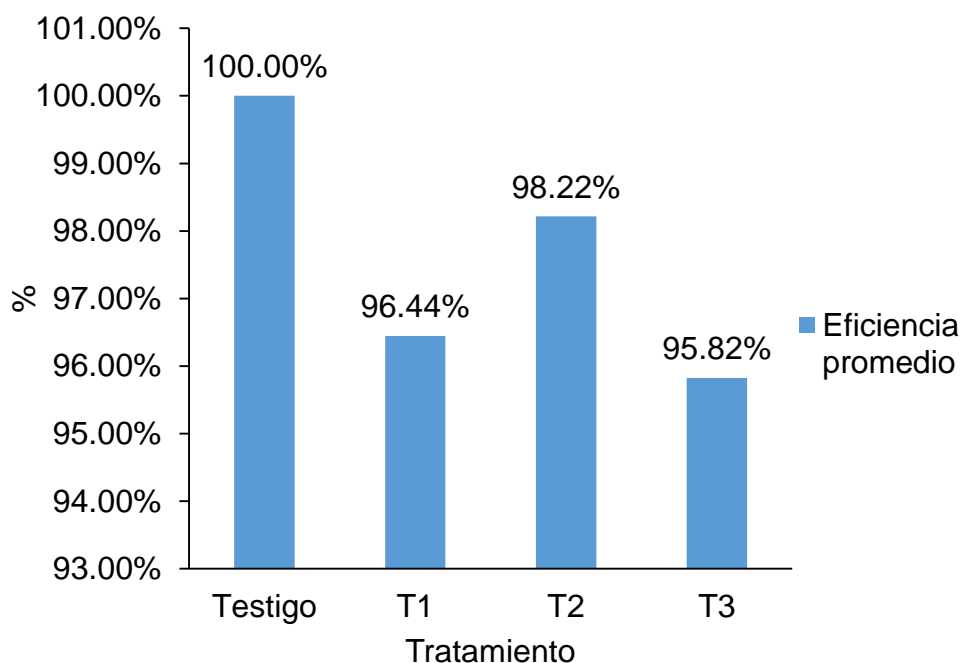


Figura 21. Eficiencia de remoción de coliformes totales por tratamiento

4.3. Efecto en la concentración del lixiviado respecto a la planta

4.3.1.1. Altura promedio del vástago respecto al tiempo

En la Figura 22 se muestra la variación de la altura del vástago respecto al tiempo, con un crecimiento exponencial variable, en la Figura 23 se observa una mayor variación al 16.88% en el T2 demostrando ser con mayor crecimiento de los individuos respecto a los tratamientos T1 y T3.

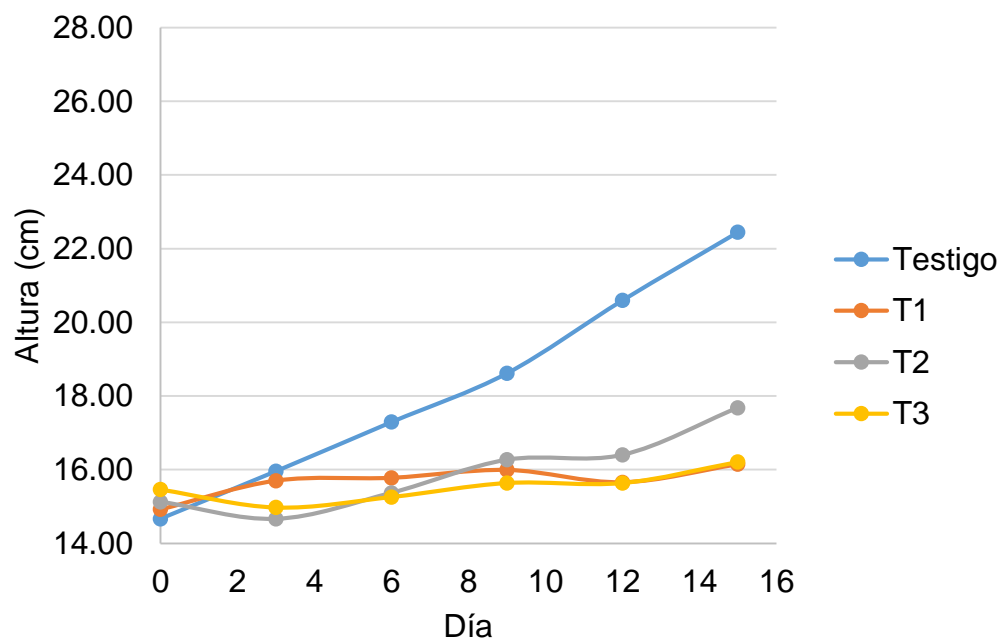


Figura 22. Variación del vástago en diferentes tratamientos

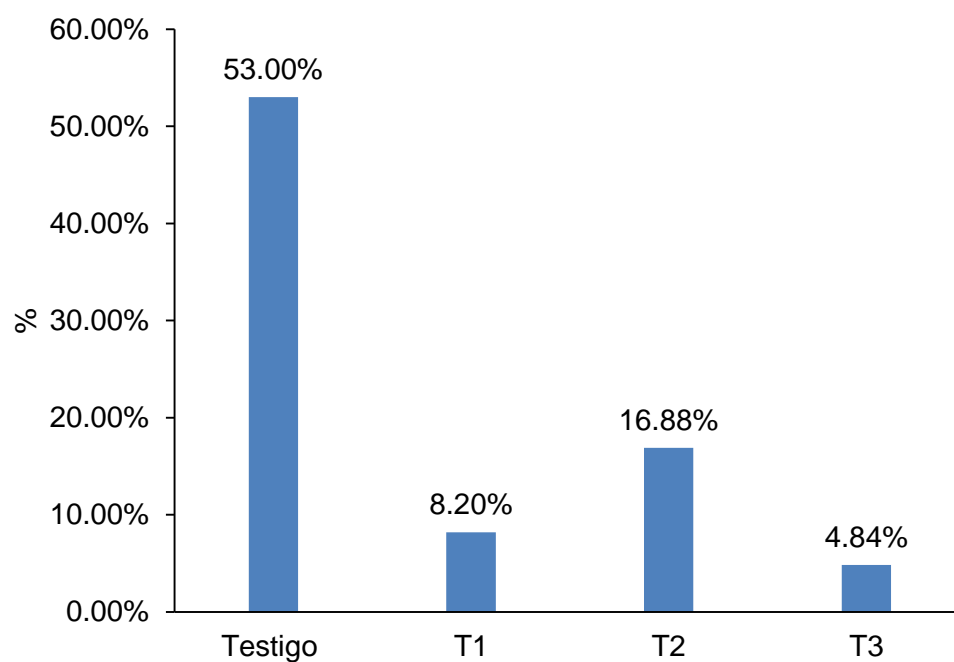


Figura 23. Variación de la altura de vástago por tratamiento

4.3.1.2. Número de hojas al final del tratamiento

Cuadro 16. Número de hojas en cada individuo por tratamiento

	Testigo	T1	T2	T3
R1	4 plantas con 4 hojas verdes	2 plantas con 4 hojas verdes	1 planta con 4 hojas verdes	5 plantas con 3 hojas verdes
			7 plantas con 3 hojas verdes	3 plantas muertas con 3 hojas secas
	6 plantas con 3 hojas verdes	8 plantas con 3 hojas verdes	2 plantas muertas con 3 hojas secas	2 plantas muertas con 2 hojas secas
R2	5 plantas con 4 hojas verdes	1 planta con 4 hojas verdes	7 plantas con 3 hojas verdes	5 plantas con 3 hojas verdes
	5 plantas con 3 hojas verdes	8 plantas con 3 hojas verdes	2 plantas muertas con 2 hojas secas	2 plantas muertas con 3 hojas secas
		1 planta con 3 hojas secas	1 planta muerta con 3 hojas secas	3 plantas muertas con 2 hojas secas
R3	3 plantas con 4 hojas verdes	1 planta con 4 hojas verdes	3 plantas con 4 hojas verdes	6 plantas con 3 hojas verdes
	7 plantas con 3 hojas verdes	8 plantas con 3 hojas verdes	5 plantas con 3 hojas verdes	4 plantas muertas con 2 hojas secas
		1 planta con 2 hojas secas	2 planta muerta con 3 hojas secas	1 plantas muertas con 3 hojas secas

4.3.1.3. Número de individuos promedio respecto al tiempo

En la Figura 24 se muestra un descenso en el número de individuos, en tiempo respecto a los tratamientos, en la Figura 25 se observa la variación del porcentaje de individuos muertos, de la manera que mostró hasta el 47 % en la muerte de los individuos.

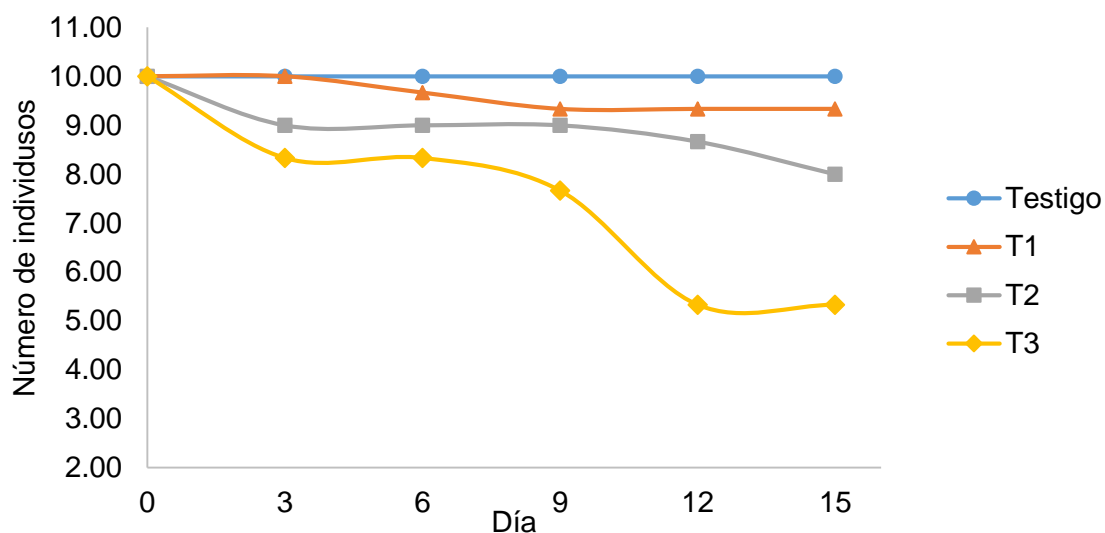


Figura 24. Variación en el número de individuos en el tiempo

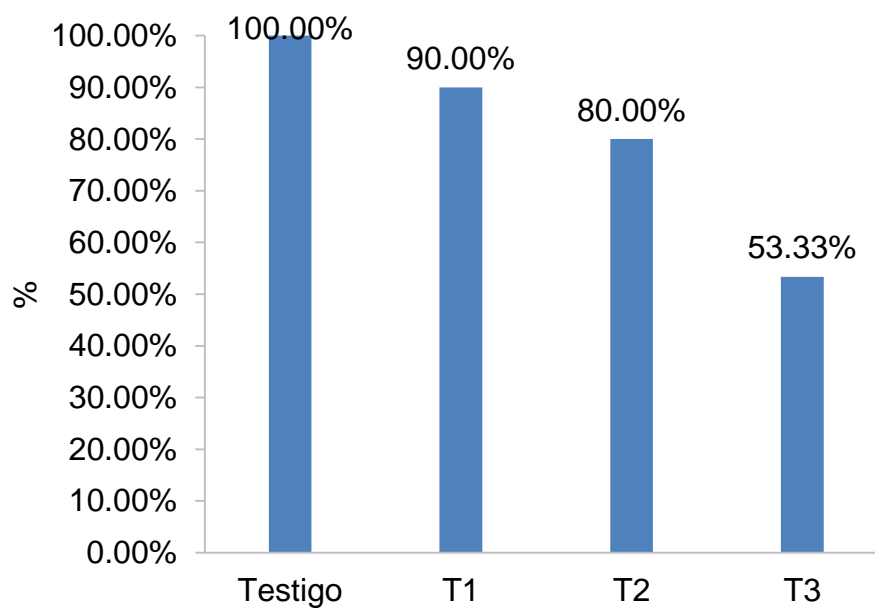


Figura 25. Porcentaje del número de individuos vivos

4.4. Remoción de metales pesados

Cuadro 17. Concentración de metal Pb y Zn en la semilla de *Cajanus cajan* (L.) Huth

Datos de la Muestra	Pb	Zn
Muestra	mg/Kg	mg/Kg
Semilla	0.5565	0.010

En el cuadro 17 se muestra la concentración de los metales Pb y Zn, encontrados en las semillas de *Cajanus cajan* (L.) Huth.

4.4.1. Determinación del Zinc

Como se muestra en la Figura 26 una posible desorción del metal zinc en bajas concentraciones en el tratamiento T1 y el testigo, sin embargo, en concentraciones superiores de observa la remoción del metal.

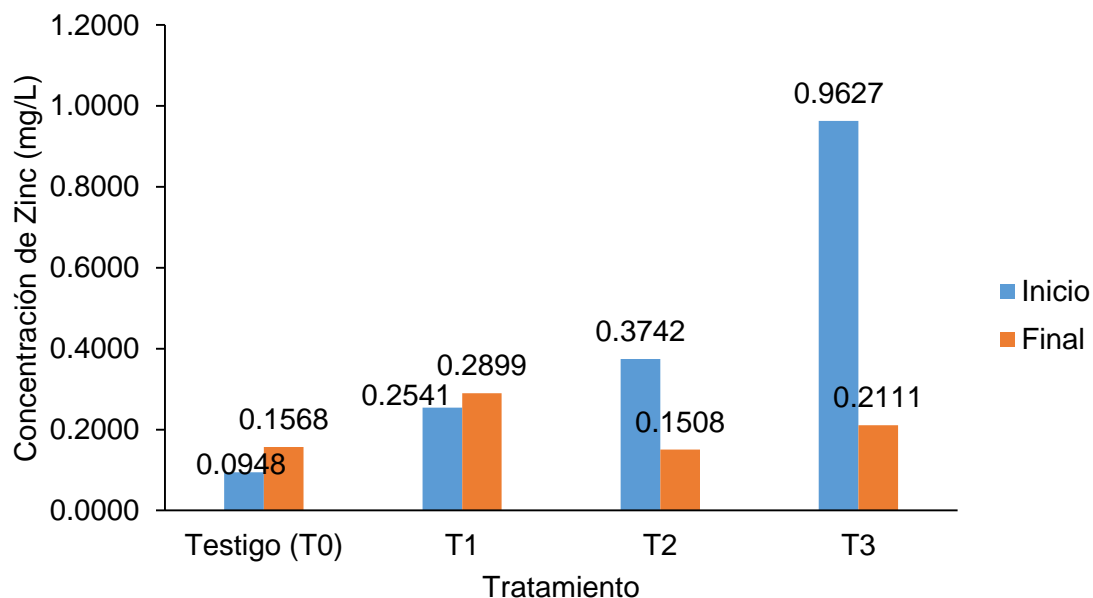


Figura 26. Variación de la concentración del Zinc en diferentes concentraciones de lixiviado

4.4.2. Determinación del plomo

Como se muestra en la Figura 27 hay una posible desorción del metal plomo a bajas concentraciones, sin embargo, en concentraciones altas se observa la remoción del metal.

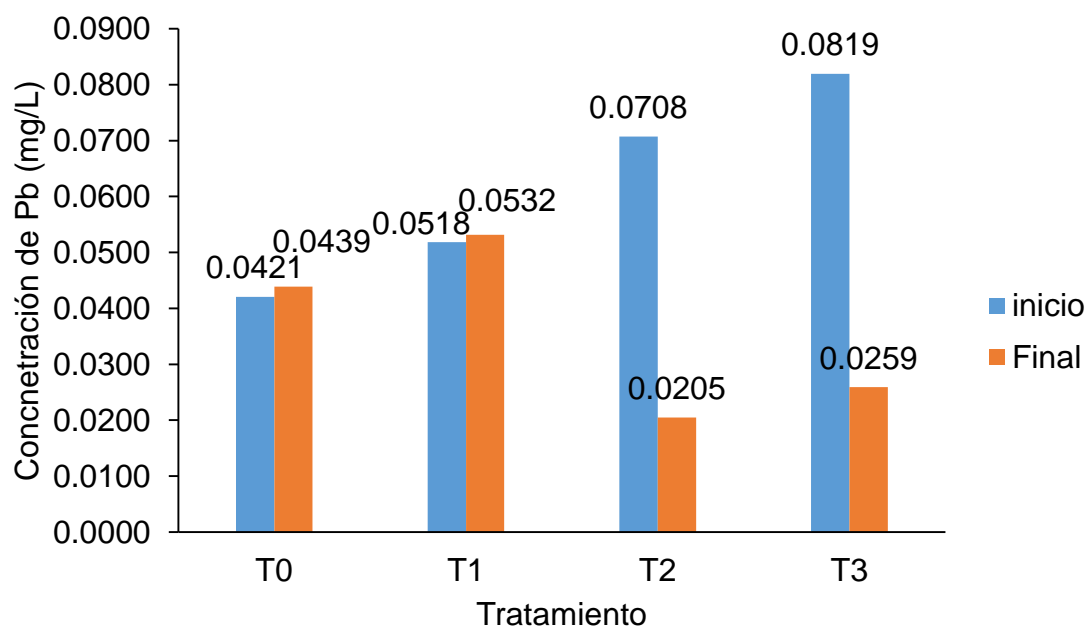


Figura 27. Variación de la concentración de plomo total en diferentes concentraciones de lixiviado

4.4.3. Eficiencia de remoción

En el Cuadro 18 se presentan los resultados promedios de metales pesados, hallados en las muestras tomadas en el inicio y final de la evaluación, para tres tratamientos y el testigo, muestran la eficiencia de remoción de los metales pesados en un sistema reactor discontinuo.

Cuadro 18. Resultados de metales pesados encontrados en el inicio y final de sistema

Tratamientos	Inicio de evaluación (zinc) (mg/L)	Final de evaluación (zinc) (mg/L)	Eficiencia Promedio (%)	Inicio de evaluación (Plomo) (mg/L)	Final de evaluación (Plomo) (mg/L)	Eficiencia Promedio (%)
T0	0.0948	0.1568	0.00%	0.0421	0.0439	0.00%
T1	0.2541	0.2899	0.00%	0.0518	0.0532	0.00%
T2	0.3742	0.1508	57.83%	0.0708	0.0205	60.12%
T3	0.9627	0.2111	73.31%	0.0819	0.0259	70.54%

El análisis de varianza resulto con un valor de $F = 17.99$, muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Eficiencia de remoción de zinc entre un nivel de Tratamiento y otro con un 95.0% de nivel de confianza, es decir la eficiencia de remoción de plomo es superior al 50 % como se observa en el Cuadro 19.

Cuadro 19. ANOVA en la eficiencia de remoción de zinc

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre tratamientos	13257.4	3	4419.14	17.99	0.0006*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Error	1965.63	8	245.704		
Total	15223.0	11			

Gl: Grados de libertad

* Significativo

En la prueba de Tukey en la comparación de los tratamientos respecto a las concentraciones de lixiviados, sobre la eficiencia de remoción del Plomo total, en el Cuadro 20, se observa en el tratamiento T2 y T3 no son estadísticamente diferente, pero son estadísticamente diferente con el T0 y T1.

Cuadro 20. Prueba de Tukey para la eficiencia de remoción del metal Zinc

Tratamiento	Medias(%)	Repeticiones	Error	Grupos Homogéneos
T1	0	3	9.05	A
T0	0	3	9.05	A
T2	57.83	3	9.05	B
T3	73.31	3	9.05	B

El análisis de varianza resulto con un valor de $F = 9.259$, muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media en la eficiencia de remoción de plomo total entre un Tratamiento y otro a un 95.0% de nivel de confianza, es decir la eficiencia de remoción de plomo es superior al 50 % como se observa en el Cuadro 21.

Cuadro 21. ANOVA en la eficiencia de remoción de plomo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre tratamientos	12966.7	3	4322.23	9.26	0.0056*
Error	3734.53	8	466.816		
Total	16701.2	11			

Gl: Grados de libertad

* Significativo

En la prueba de Tukey en la comparación de los tratamientos respecto a las concentraciones de lixiviados, sobre la eficiencia de remoción del Plomo total, en el Cuadro 22 se observa en el tratamiento T2 y T3 no son estadísticamente diferente, pero son estadísticamente diferente con el T0 y T1.

Cuadro 22. Prueba de Tukey para la eficiencia de remoción del metal Plomo

Tratamiento	Medias (%)	Repeticiones	Error	Grupos Homogéneos
T1	0	3	12.47	A
T0	0	3	12.47	A
T2	60.12	3	12.47	B
T3	70.54	3	12.47	B

4.5. Comparación de los límites máximos permisibles (LMP) de efluentes de infraestructuras de residuos sólidos en los metales Zinc y plomo

En la Figura 28 se observa que no superó los LMP en los efluentes a una concentración de 50% y 75% de lixiviado.

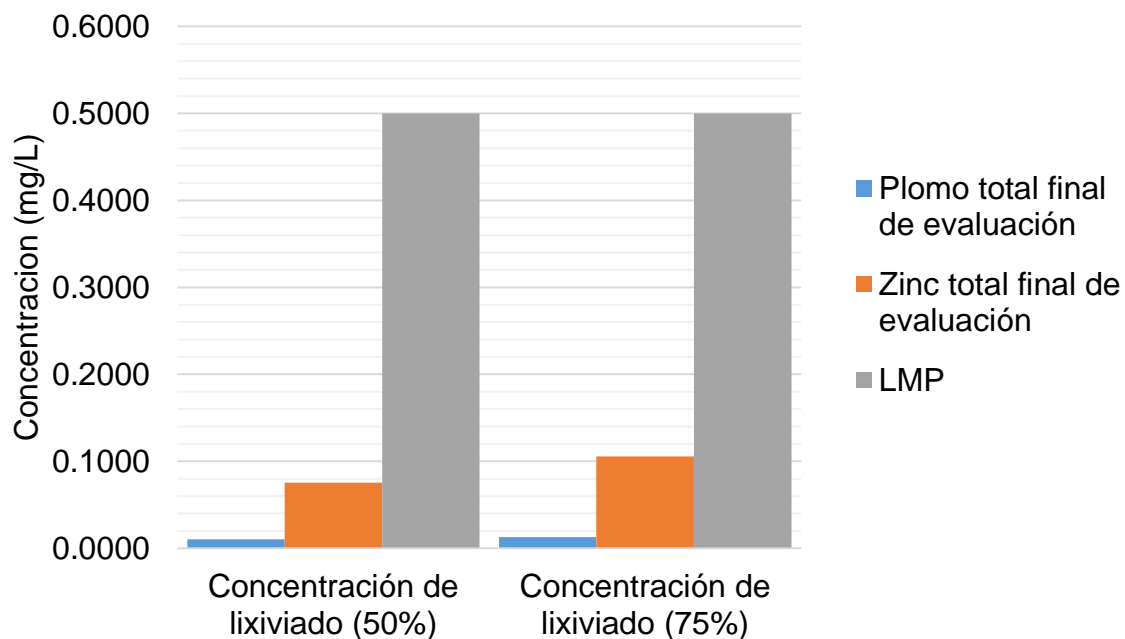


Figura 28. Verificación del LMP de efluentes de infraestructuras de residuos sólidos, concentración de los metales zinc y plomo total

V. DISCUSIÓN

5.1. Metales pesados en sistema batch

GILES *et al.*, (1960) muestra que a bajas concentraciones del soluto en la solución existe poca atracción, debido a una moderada afinidad intermolecular entre el ion metal y se produce una gran competencia en los centros de absorción con las moléculas de disolvente o otros adsorbatos. En nuestro caso se obtuvo situaciones similares, respecto a los metales evaluados a una concentración al 50% de lixiviado en disolución se encontraron en cantidades bajas. Las concentraciones finales presento la siguiente tendencia Cd ((II) > Cr (VI, III, II).

Según KJELDSEN *et al.* (2005) indica que la calidad de lixiviado varia en un mismo sitio y obedece de los desechos que han sido agregados al botadero, influyen en la inmovilidad de los metales y reducen en la concentración de metales. Situaciones similares se encontraron elementos metálicos cadmio, cromo, zinc y plomo, debido a la particularidad del botadero en los desechos depositados, como el contenido de la materia y la condición geográfica del sitio.

En otras investigaciones han utilizado sistemas discontinuos como un agente disponible para estudiar una manera más común el potencial de remoción, así como el efecto de toxicidad en la planta IANNACONE y ALVARIÑO (2005), en la

investigación se corrobora que en el sistema batch se puede realizar la remoción de los metales y sus efectos en las plantas.

Según OPORTO *et al.* (2001) indica que el punto de saturación es característico por su capacidad máxima de remoción, el cual después de un cierto periodo de contacto con la solución, la cual llega a nivel de saturación donde la cantidad del elemento de interés es constante. Situaciones similares se observó en la investigación cuando se evaluó la concentración del plomo y zinc, después de 15 días se observa la concentración en el efluente relativamente constante.

5.2. Propiedades físico, química y biológica en el efluente

Temperatura

Según DELGADILLO (2010) indica que la temperatura adecuada para crecimiento de las bacterias esta se sitúa entre los 25 y los 35 C°. en procesos aerobios. En nuestro caso la temperatura fue 24 a 27°C manteniéndose en medios favorables propiciando una digestión en condiciones aerobias.

Concentración de hidrogeno (pH)

Según (GHOSH y SINGH, 2005) indica que el mayor incremento de los metales en disolución se encuentran forma de iones entre 5.0 y 9.0 favorable para la remoción de los metales. Situaciones similares se observó en el pH, para una concentración al 25% v/v de lixiviado fue 8.56 donde la variación porcentual fue de 49.16 %, para una concentración al 50% v/v de lixiviado fue 8.42 donde la variación

porcentual fue de 49.16 %, para una concentración al 75% v/v de lixiviado de disolución fue 8.14 donde la variación porcentual fue de 50.96 %.

Sólidos disueltos totales

Según LEÓN y LUCERO (2009) y LONDOÑO y MARIN (2009) indica que en sistemas de plantas acuáticas flotantes como el Jacinto de agua, helecho de agua, lechuga de agua y lentejas cuyo objeto es la remoción de ciertos componentes en el agua por medio sus raíces que son un buen sustrato de tratamiento en el desarrollo de los microorganismos que facilita la sedimentación de las partículas. En la investigación fue similar, las raíces del *Cajanus cajan* (L.) Huth cumplió misma función en el tratamiento con abundantes raíces que facilita el desarrollo de los microorganismos como se observar en la Figura 42 y biopelículas adheridas a las raíces Figura 43.

Oxígeno disuelto

Según el CEPIS (2004) indica que a indicadores bajos de oxígeno disuelto menores de 5 mg/l en el agua expresa contaminación orgánica, condiciones sépticas o una actividad bacteriana intensa, En nuestro caso se observó en el testigo se mantuvo estable con un OD promedio 6.60 mg/L, con una variación promedio 0.87 % sin embargo a una concentración al 25% v/v de lixiviado fue 281.54 % con un OD promedio 4.13 mg/L, a una concentración al 50% v/v de lixiviado fue 223.65 % con un OD promedio 4.79 mg/L, a una concentración al 75% v/v de lixiviado fue 7.88 % con

un OD promedio 1.60 mg/L al final de la evaluación, en cada tratamiento fue superior a lo recomendado por lo que aún está contaminado.

Conductividad eléctrica

Según CAMACHO y ORDOÑEZ (2008) indica la facilidad en que la corriente eléctrica en el agua que por la presencia de minerales mostrando más concentraciones disueltas, lo que se recomienda mantener a 1000 $\mu\text{S/cm}$ que es aceptable en cuerpos de agua. En nuestro caso se observa al 25% v/v de lixiviado a una concentración promedio 1,827.67 $\mu\text{S/cm}$ en el efluente con un 18.94% de remoción, al 50% v/v de lixiviado a una concentración promedio de 1,366.33 $\mu\text{S/cm}$ con una 56.25% de remoción, al 75% v/v de lixiviado a una concentración promedio de 3,816.67 $\mu\text{S/cm}$ con una 29.97% de remoción, por lo cual es diferente al recomendado y se necesita un pos tratamiento.

Demanda bioquímica de oxígeno

Según ROMERO (2002) citado por CAMACHO y ORDOÑEZ (2008) indica que las concentraciones de DBO_5 en las aguas residuales varían entre 100 y 300 mg/L, pero el efluente expulsado a los cuerpos de agua no debe superar los 100 mg/L, aunque la concentración más adecuada debe ser por debajo de 15 mg/L. En nuestro caso es diferente fueron superiores a una concentración al 25% v/v de lixiviado fue 108.72 mg/L cuya eficiencia promedio fue 77.94 %, para una concentración al 50 % v/v de lixiviado fue 156.68 mg/L cuya de eficiencia promedio fue 62.83%, a una

concentración de 75 % v/v de lixiviado fue 270.81 mg/L cuya de eficiencia promedio fue 50.26%.

Coliformes totales

Según AYALA *et al.* (2018) indica que la presencia de bacterias coliformes en un estudio realizado en un sistema discontinuo en tratamiento de lixiviado con *Nymphoides humboldtiana* mostro una remoción un 93,46%, seguido por *Eichhornia crassipes* y *Nasturtium officinale*, con un 91,92% y 90,77%. En nuestro caso es similar con otras especies a concentraciones promedios al 25%, 50%, 75% v/v de lixiviado fue 121.33; 314 y 573.50 NMP/100 mL, y la eficiencia promedio 96.44%, 98.22%, 95.82% respectivamente.

En tratamientos de lixiviados de rellenos sanitarios por medio de depósitos con plantas acuáticas ha sido importante en la depuración, logrando proveer un tratamiento completo en donde no necesariamente se remueven eficientemente material orgánico y sólidos suspendidos, sino que también se logran reducir nutrientes, sales disueltas, metales pesados y patógenos (GARCÍA, 2012). En nuestro caso se demostró las similitudes con otras especies acuáticas en el tratamiento de lixiviados ya que el *Cajanus cajan* (L.) Huth no es una especie propiamente acuática pero debido a sus condiciones de resistencia ha logrado ser efectiva en este tipo de sistema.

5.3. Efecto del lixiviado un botadero sobre la planta

En el estudio de CARRION (2009) realizado para el tratamiento de lixiviado de un relleno sanitario con diluciones menores al 10% por macrófitas acuáticas Jacinto

de Agua, Berro y elodea se desarrollaron de buena manera sin alteraciones en las hojas tallos y raíces por los metales o por otro compuesto presente en el lixiviado ya que sirve como fertilizante para las macrófitas. En nuestro caso fue diferente las diluciones fueron superiores al 25% en los ensayos, por lo que se mostró el secado de la hoja, la inhibición de las raíces y el crecimiento lento y la muerte de algunas plantas una más que otra en relación al porcentaje de dilución.

Según TORRES *et al.* (2007) indica que los indicadores más comunes son una disminución del crecimiento y el amarillamiento de las hojas estas variaciones fisiológicas son los indicativos a las respuestas para tolerar y por lo tanto tiene a sobrevivir. Lo cual se afirma en el estudio, las plantas redujeron su crecimiento para concentrar el desarrollo de sus raíces para mantenerse viva hasta una cierta tolerancia.

5.4. Remoción de metal zinc y plomo

JEREZ (2013) en trabajos realizados mencionan valores de (31.6 – 46.7) % de remoción del plomo al 25% v/v de lixiviado con concentraciones (5– 10) mg /kg. En nuestro caso fue superior el porcentaje de remoción al 62.10% con una concentración inicial promedio 0.0541 mg/l al 50% v/v de lixiviado, para el 75 % v/v de lixiviado fue 68.36 % con una concentración inicial promedio 0.0819 mg/l por lo fue similar en la remoción del metal.

Además, en nuestra investigación en la remoción del zinc fue del 59.71% con una concentración inicial promedio 0.3742 mg/l al 50% v/v de lixiviado, para el 75

% v/v de lixiviado fue 78.07 % con una concentración inicial promedio 0.9627 mg/l, sin embargo, a una dilución al 25 % v/v de lixiviado no hay presencia de remoción.

KADLEC y WALLACE (2009) representan mejoras en los procesos de reducción, fijación de elementos metálicos pesados y algunos metaloides por en la actividad del proceso biotecnológico. Situación similar se obtuvo mayores beneficios con respecto a la remoción del plomo y zinc y otros compuestos, en concentraciones significativas con signos aceptables de adaptación del *Cajanus cajan* (L.) Huth en el lixiviado de un botadero.

5.5. Comparación con los límites máximos permisibles de efluentes de residuos sólidos

Según el MINAM (2009) manifiesta que el LMP para los metales plomo total y Zinc de efluentes de infraestructuras de residuos sólidos debe ser menor a 0.5 mg/L. En la investigación para el Zinc a una dilución al 50 % v/v de lixiviado fue de 0.151mg/L, al 75 % v/v de lixiviado fue 0.211mg/L, para el plomo a una dilución al 50 % v/v de lixiviado fue de 0.205mg/L, al 75 % v/v de lixiviado fue 0.0259mg/L se comprueba que no superan los límites establecidos por el MINAM.

VI. CONCLUSIÓN

1. Los metales de mayor concentración fue el Zn y el Pb en el lixiviado del botadero.
2. Las características del efluente presento una temperatura y pH en condiciones adecuadas, el oxígeno disuelto se encontró en bajos niveles, la remoción de sólidos disueltos totales, demanda bioquímica de oxígeno, conductividad eléctrica y coliformes totales mostró una reducción superior 50%.
3. El efecto en el *Cajanus cajan* L.(Huth) fue el secado de las hojas, inhibición de las raíces, crecimiento lento y hasta la muerte de algunos individuos.
4. La eficiencia de remoción del plomo al 50 y 75 % v/v fue 60.12% y 70.54% respectivamente y en el zinc en el 50 y 75 % v/v fue 57.83% y 73.31% respectivamente.
5. La concentración del plomo y Zinc no superó el Límite Máximo Permisible (LMP) de efluentes de infraestructuras de residuos sólidos establecido por el MINAM.
6. El sistema batch con *Cajanus cajan* (L.) Huth demostró, que existe remoción en los metales pesados y fue superior al 50%.

VII. RECOMENDACIONES

1. Fomentar estudios similares con otras especies fitorremediadoras en el tratamiento de lixiviado de botadero con la finalidad de buscar estrategias para la selección adecuada en el manejo de este efluente que es un problema que nunca se eliminara por completo.
2. Fomentar investigaciones similares con especies locales para realizar comparaciones que pudieran diferir a contrastar con esta investigación.
3. Se recomienda realizar pruebas pilotos para ser aplicado esta tecnología que se observa buenos resultados para mitigar los impactos ambientales.
4. Se recomienda contar con las medidas de seguridad para evitar la contaminación de microorganismos patógenos ya que la fuente del contaminante proviene de un botadero donde se puede encontrar una gran variedad de patógenos que puedan atentar contra la salud.
5. Se recomienda que estas plantas después de haber realizado el tratamiento, sean incinerados y dispuesto en confinamientos adecuados para evitar la contaminación.

VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION). 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th Edition. Washington. 2-43 p.

ASTORGA, C. 2018. Tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario: propuesta y evaluación de un sistema de humedales artificiales. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Santiago de Chile. Universidad de Chile. 100p.

AUDESIRK, T., AUDESIRK, G. 2008. Biología: La vida en la tierra. Octava edición. México, Editorial Pearson Educación de México. 178p.

ÁVILA, D., SILVA, C. 2010. Tratamiento de lixiviados diluido con aguas residuales en una planta piloto a escala de un sistema de lodos activados con el fin de lograr un efluente óptimo. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Ambiental. Lima, Perú. 301 p.

AYALA, R., CALDERÓN, E., RASCÓN, J., GÓMEZ, G., COLLAZOS, R. 2018. Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM-A), Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva. Rev. de investig. agroproducción sustentable 2(3): 48-53.

- BAESCOECHEA, E., FERNANDEZ, J. 2005. La depuración de aguas mediante filtros verdes en medio rural: el problema de las aguas residuales. Reportaje ambiental. 57 p.
- CAMACHO, J., ORDOÑEZ, L. 2008. Evaluación de la eficiencia de un sistema de recuperación de aguas residuales con *Eichhornia crassipes* para el postratamiento del efluente del reactor anaerobio a flujo pistón de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga. Bucaramanga, Colombia. Universidad Pontificia Bolivariana. 27- 40 p.
- CARRIÓN, L., CUENCA, N. 2009. Bioensayo con macrófitas acuáticas para el tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Pichacay, Universidad del Azuay. 37 p.
- CEDANO, J. 2006. Guía Técnica Cultivo de Guandul. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc (CEDAF), Santo Domingo, República Dominicana.
- CEPIS (CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENT). 2004. Tratamiento de agua para consumo humano. Lima, Perú. 597 p.
- UAC (UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHICHUAHUA) Caracterización de agua residuales por DBO y DQO. [En línea]: UAC (<http://www.oocities.org/edrochac/residuales/dboydgo2.pdf>, 11 de Abr 2019).

- CHAVARRO, M., GARCES, J., GUERRO, J., SALAS, D. 2006. Evaluación de la tratabilidad de los lixiviados en el relleno sanitario de Pereira mediante filtros anaerobios de flujo ascendente a escala piloto *Scientia et Technica* Año XII.
- CHEN, Y. et al. 2013. Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. [En línea]: DOI (<http://www.dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.09.037>. 25 de Dic 2018).
- CORONEL, E. 2016. Eficiencia del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y lenteja de agua (*lemna minor*) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas- Chachapoyas, 2015. Chachapoyas-PERÚ. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. 96 p.
- DELGADILLO, A., GONZÁLEZ, C., PRIETO, F., VILLAGÓMEZ, J., ACEVEDO, O. 2011. Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14 (2011): 597- 612.
- DELGADILLO, C. PÉREZ, A. 2010. Proyecto de Agua programa alfa de la Unión Europea. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Universidad de San simón. Bolivia.
- EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). 1983. *Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes*. 2th Edition. Cincinnati, EPA, 120 p.

- EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). 1993. Pantanos contruidos para el tratamiento de aguas residuales y hábitat de vida silvestre. EE.UU.
- FALLAS, R., BERTSCH, F., ECHANDI, C., & HENRÍQUEZ, C. 2010. Caracterización del desarrollo y absorción de nutrimentos del híbrido de maíz HC-57. *Agronomía Costarricense*, 35(2), 33-47p.
- FERNANDEZ, M. 2006. Fitodepuración: Plantas acuáticas para limpiar residuos En [línea]: CONSUMER, (<http://www.consumer.es/medio-ambiente/fitodepuracion-plantas-acuaticas-para-limpiar-residuos.html>. 21 oct. 2019).
- FRANSISCA, Y., Small, M., Morrison, P., Spencer M., Ball A., Jones O, 2015. Assessment of arsenic in Australian grown and imported rice varieties on sale in Australia and potential links with irrigation practises and soil geochemistry. *Chemosphere*, 138, 1008–1013 p.
- GALLO, M., CAMPOS, N. 1997. Contenidos de Cd, Cu y Zn en rhizophora mangle y avicennia germinans de la ciénaga grande de santa marta y bahía de chengue, costa caribe colombiana, 21(79):73-90.
- GARCÍA, Z. 2012. Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 9-16 p.

- GHOSH, M., SINGH, S. 2005. A review of phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. *Applied Ecology and Environmental Research* 3(1): 1-18.
- GILES, C., MACEWAN, T., NAKHWA, S., SMITH D. 1960. Studies in adsorption. Part XI. A system of classification of solutions adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and in measurement of specific surface areas of solids. *Journal of the Chemical Society* 3993 p.
- GILSANZ, J. 2007. Hidroponía. Instituto nacional de Investigación Agropecuaria. Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología. Montevideo – Uruguay. 32 p.
- GIRALDO, E. 1997."Manejo Integrado de Residuos Sólidos Urbanos".
- GIRALDO, E. 2001. Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes. *Revista de Ingeniería*. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Colombia.
- GONZÁLEZ, E., TORNERO, M., ÁNGELES, Y., BONILLA, N. 2009. Concentración total y especiación de metales pesados en biosólidos de origen urbano. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25(1): 15-22.
- HUANG, Z., Pan, X., Wu, P., Han, J., Chen, Q. 2014. Heavy metals in vegetables and the health risk to population in Zhejiang, China. *Food Control*, 36(1),.248–252 p.

- IANNACONE, J., ALVARIÑO L. 2005. Selectividad del insecticida cartap empleando bioensayo con organismos no destinatarios. *Ecol. Appl.* 4:91-104.
- ISO. 1996. Determinación de 33 elementos por espectroscopia de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente [En línea] MET-ICP [www.cebas.csic.es/documentos/documentos_ionomica/MET-ICP%20Rev%201.11 Dic. 2018](http://www.cebas.csic.es/documentos/documentos_ionomica/MET-ICP%20Rev%201.11%20Dic.2018)).
- JENSEN, D., CHRISTENSEN, T. 1999. Colloidal and dissolved metals in leachates from four Danish landfills. *Wat. Res.* 33 (9): 2139 -2147.
- KADLEC, R., WALLACE, S. 2009. Treatment wetlands. 2 ed. U.S.A., Taylor Y Francis Group .1000 p.
- JEREZ, J. 2013. Remoción de metales pesados en lixiviados mediante fitorremediación. Costa Rica. San José . Universitaria Rodrigo Facio. 104 p.
- KAZA, S., YAO, L., BHADA, T., PERINAZ; VAN WOERDEN, F. 2018. What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development;. Washington, DC: World Bank. World Bank. [En línea]: Banco Mundial (<http://www.openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317> License: [CC BY 3.0 IGO](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/),13 oct. 2019).
- KHOSRAVI, S. 2005. Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals. Buenos Aires, Argentina: Chemosphere.

- KJELDSEN, P., BARLAZ, M., ROOKER, A., BAUN, A., LEDIN, A., CHRISTENSEN, T. 2002. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 32 (4).
- LEÓN, M., LUCERO, A. 2009. Estudio de *Eichhornia crassipes*, *Lernma gibba* y *Azolla filiculoides* en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del Cantón Cotacachi. Ibarra, Ecuador. Universidad Técnica del Norte, 29-37 p.
- LEÓN, M., LUCERO, A. 2009. Estudio de *Eichhornia crassipes*, *Lernma gibba* y *Azolla filiculoides* en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del Cantón Cotacachi. Ibarra, Ecuador. Universidad Técnica del Norte, 29-37 p.
- MARTINEZ, L., GOMES, R., VILLASEÑOR, J., MENA, J., 2005. Comparación de diferentes plantas acuáticas en la depuración de aguas residuales con humedales de subsuperficial . Encuentro internacional de Fito depuración. Murcia, España. 263p.
- MCLAUGHLIN, M. 2005. *Encyclopedia of Soil Science*. Segunda edición. Editorial RattanLal – CRC Press.
- MÉNDEZ, R., CASTILLO, E., SAURI, M., QUINTAL, C., GIANCOMAN, G., JIMÉNEZ, B. 2004. Tratamiento fisicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario. *Ingeniería*. 8(2):155-163.

- MÉNDEZ, R., CASTILLO, E., SAURI, M., QUINTAL, C., GIANCOMAN, G., JIMÉNEZ, B. 2009. Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. Rev. Int. Contam. Ambient. 25 (3):133-145.
- MINAM (MINISTERIO DEL AMBIENTE). 2009. Límites máximos permisibles (LMP) de efluentes de infraestructuras de residuos sólidos. [En línea]: MINAM (https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/311078/lmp_de_efluentes_de_residuos.pdf, 13 oct. 2019).
- MORALES, C. 2007. Estudio para la remoción de metales pesados en los lixiviados de rellenos sanitarios. Especialización en Ingeniería Ambiental. Colombia. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales Facultad de Ingeniería y Arquitectura. 96 p.
- NIOSH. 1994. Elements by ICP: Method 7300, Issue 2. In: Eller PM, Cassinelli ME, eds., NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 94-113.
- NORDBERG, G. 2012. 63 Metales: propiedades químicas y toxicidad. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). 78 p.
- NÚÑEZ, R., MEAS, Y., ORTEGA, R., OLGUÍN, E. 2004. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. Ciencia. 55(3): 69-83.

- ÖMAN, C., JUNESTEDT, C. 2007. Chemical characterization of landfill leachates – 400 parameters and compounds. Waste Management.
- OPORTO, C., ARCE, O., DE PAUW, N., VAN DER BROECK, E. 2001. Evaluación del potencial de Lemna minor para la remoción de Cr(VI) de aguas residuales. Revista Boliviana de Ecología, Bolivia. 1 (10): 17-27.
- PENNINGSFELD, F., KURZMANN, P. 1983. Cultivos hidropónicos y en turba. Madrid: Mundi-Prensa.
- RAMALHO, R. 2003. Tratamiento de Aguas Residuales. 1ra Ed ed., México: Reverté SA.
- ROMERO, J. 1998. Calidad de Aguas. Editorial, NOMOS S.A. Madrid, España. 410 p.
- ROMERO, L., RAMÍREZ, F., ALVAREZ, C. Y MIRANDA, M. 2011. Uso de Hidrófitas y un sistema anaerobio para el tratamiento de agua residual de Rastro. Mexico. Polibotánica, 157-167 p.
- RUSSELL, D. 2012. Tratamiento de Aguas Residuales - Un Enfoque Práctico (1ra ed.). México: Reverté.
- SEOANEZ, M. 1999. Aguas residuales. Ediciones Mundi - Prensa. Barcelona 420 p.
- SHEORAN, I., AGGARWAL, N., SINGH, R. 1990. Effects of cadmium and nickel on in vivo carbon dioxide exchange rate of pigeon pea (*Cajanus cajan*). Plant and Soil. 129(2):243-249.

- SINGH, A., SHARMA, R., AGRAWAL, M., MARSHALL, F., 2010. Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India. *Tropical Ecology*, 51(2 SUPPL.), 375–387 p.
- SINIA (SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL). 2018. En el Perú solo se recicla el 1.9% del total de residuos sólidos reaprovecharles. En línea]: MINAM, (<http://www.sinia.minam.gob.pe/novedades/peru-solo-se-recicla-19-total-residuos-solidos-reaprovechables>, 28 Oct. 2019).
- TORRES, G., NAVARRO, A., LANGUASCO, J., CAMPOS, K., CUIZANO, N. 2007. Estudio preliminar de la fitorremediación de cobre divalente mediante *Pistiastratioides* (lechuga de agua). *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, España. 3 (1): 13-20.
- VOLKE, T., VELASCO, J. 2002. *Tecnologías de Remediación para Suelos Contaminados*. Editorial Instituto Nacional de la Ecología, Distrito Federal, México, 62 p.
- YÁNEZ, F. 1992. *Criterios para la selección de procesos de tratamiento de aguas residuales*. 30 p.

IX. ANEXO

Anexo A. Resultados de la remoción de los metales respecto al tiempo.

Cuadro 23. Resultados preliminares de las concentraciones de los metales Pb, Zn, Cr, Cd.

Día	Concentración Cadmio (mg/L)	Concentración cromo (mg/L)	Concentración Plomo total (mg/L)	Concentración Zinc total (mg/L)
0	0.0093	0.0402	0.7413	1.0158
3	0.0119	0.0184	0.2676	0.6879
6	0.0044	0.0502	0.0864	0.4350
9	0.0085	0.0596	0.0401	0.3706
12	0.0024	0.0409	0.0024	0.3600
15	0.0026	0.0582	0.0884	0.2464

Cuadro 24. Determinación de temperatura en el proceso de tratamiento

Tratamiento	Temperatura (°C)						\bar{x}	σ	CV
	Día								
	0	3	6	9	12	15			
Testigo (T0) R1	24.5	24.3	24.2	24.2	24.1	24.4			
Testigo (T0) R2	24.4	24.5	24.1	24.7	24.3	24.4	24.34	0.22	0.01
Testigo (T0) R3	24.7	24.4	24.5	24.4	24.2	23.8			
25% v/v de lixiviado (T1) R1	24.5	24.6	24.4	24.4	25.5	24.6			
25% v/v de lixiviado (T1) R2	29	23.5	24.3	25.3	25.4	24.4	24.89	1.20	0.05
25% v/v de lixiviado (T1) R3	23.7	24.3	24.3	26.1	25.1	24.7			
50% v/v de lixiviado (T2) R1	31.1	23.8	24.2	25.3	25.3	24.6			
50% v/v de lixiviado (T2) R2	25.6	24.6	24.4	25.6	25.1	24.4	25.59	2.11	0.08
50% v/v de lixiviado (T2) R3	31.1	24.6	24.4	25.1	26.7	24.7			
75% v/v de lixiviado (T3) R1	31	26.1	24.4	25.6	25.5	25.5			
75% v/v de lixiviado (T3) R2	31.1	27.1	24.5	25.9	25.3	25.1	26.54	2.23	0.08
75% v/v de lixiviado (T3) R3	31.2	26.9	24.5	26.4	26.2	25.5			

\bar{x} = Promedio

σ = Desviación estándar

CV = Coeficiente de variación

Cuadro 25. Determinación de pH en el proceso de tratamiento.

Potencial de hidrogeno (pH)							\bar{x}	σ	CV
Tratamiento	Día								
	0	3	6	9	12	15			
Testigo (T0) R1	7.52	7.35	7.21	7.72	7.23	7.54	7.45	0.26	0.04
Testigo (T0) R2	6.77	7.71	7.83	7.6	7.34	7.23			
Testigo (T0) R3	7.16	7.62	7.69	7.54	7.63	7.34			
25% v/v de lixiviado (T1) R1	5.92	6.91	7.84	7.6	8.24	8.44	7.63	1.01	0.13
25% v/v de lixiviado (T1) R2	5.69	7.01	7.83	8.38	8.48	8.58			
25% v/v de lixiviado (T1) R3	5.6	7.79	7.42	8.3	8.59	8.65			
50% v/v de lixiviado (T2) R1	5.33	6.94	7.81	7.96	8.08	8.55	7.34	1.10	0.15
50% v/v de lixiviado (T2) R2	5.29	6.63	7.81	7.82	7.98	8.28			
50% v/v de lixiviado (T2) R3	5.26	6.59	7.81	7.17	8.29	8.43			
75% v/v de lixiviado (T3) R1	5.2	6.49	7.69	7.16	7.93	8.04	7.17	1.00	0.14
75% v/v de lixiviado (T3) R2	5.18	6.39	7.65	7.59	7.59	7.85			
75% v/v de lixiviado (T3) R3	5.79	6.45	7.72	7.69	8.04	8.52			

\bar{x} = Promedio

σ = Desviación estándar

CV = Coeficiente de variación

Cuadro 26. Determinación de conductividad eléctrica en el proceso de tratamiento.

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)									
Tratamiento	Día						\bar{x}	σ	CV
	0	3	6	9	12	15			
Testigo (T0) R1	600	676	599	594	587	593	551.72	63.42	0.11
Testigo (T0) R2	564	381	559	555	551	562			
Testigo (T0) R3	555	443	528	522	528	534			
25% v/v de lixiviado (T1) R1	2661	2784	2206	1418	1525	1545	1,854.5	426.65	0.23
25% v/v de lixiviado (T1) R2	2466	1932	1456	1624	1637	2221			
25% v/v de lixiviado (T1) R3	1637	1490	1714	1628	1720	1717			
50% v/v de lixiviado (T2) R1	3360	3090	2487	1203	1296	1280	2,269.1	984.31	0.43
50% v/v de lixiviado (T2) R2	3680	3200	3260	1398	1412	1435			
50% v/v de lixiviado (T2) R3	3530	3090	3080	1310	1350	1384			
75% v/v de lixiviado (T3) R1	5830	5230	4770	4050	3700	3600	4,501.7	856.33	0.19
75% v/v de lixiviado (T3) R2	5910	5180	4710	4290	3860	3940			
75% v/v de lixiviado (T3) R3	5810	5292	4110	3440	3400	3910			

\bar{x} = Promedio

σ = Desviación estándar

CV = Coeficiente de variación

Cuadro 27. Determinación de sólidos disueltos totales en el proceso de tratamiento.

Sólidos totales en suspensión (mg/L)							\bar{x}	σ	CV
Tratamiento	Día								
	0	3	6	9	12	15			
Testigo (T0) R1	298	341	291	300	291	255	270.94	32.44	0.12
Testigo (T0) R2	278	190	280	263	262	245			
Testigo (T0) R3	277	221	275	275	279	256			
25% v/v de lixiviado (T1) R1	1420	1582	1138	705	763	615	922.39	276.92	0.30
25% v/v de lixiviado (T1) R2	1218	1106	967	727	786	626			
25% v/v de lixiviado (T1) R3	1044	705	836	735	892	738			
50% v/v de lixiviado (T2) R1	1640	1560	1240	651	632	644	1,055.00	515.65	0.49
50% v/v de lixiviado (T2) R2	1780	1520	1640	733	705	757			
50% v/v de lixiviado (T2) R3	1730	1580	153	658	675	692			
75% v/v de lixiviado (T3) R1	2840	2500	2390	2030	1850	1820	2,137.33	634.37	0.30
75% v/v de lixiviado (T3) R2	2900	2590	2400	2140	2000	1960			
75% v/v de lixiviado (T3) R3	2920	2540	2080	1710	1620	182			

\bar{x} = Promedio

σ = Desviación estándar

CV = Coeficiente de variación

Cuadro 28. Determinación de oxígeno disuelto en el proceso de tratamiento.

Oxígeno disuelto (mg/L)								\bar{x}	σ	CV
Tratamiento	Día									
	0	3	6	9	12	15				
Testigo (T0) R1	6.55	6.12	6.74	6.28	6.26	6.54				
Testigo (T0) R2	6.38	6.87	6.42	6.55	6.42	6.76				
Testigo (T0) R3	6.7	6.97	6.81	6.83	6.79	6.5	6.58	0.24	0.04	
25% v/v de lixiviado (T1) R1	1.3	0.4	1.01	1.74	3.84	4.21				
25% v/v de lixiviado (T1) R2	1.21	0.74	1.08	1.64	3.97	4.32				
25% v/v de lixiviado (T1) R3	0.74	1.42	1.38	1.77	3.21	3.87	2.10	1.37	0.65	
50% v/v de lixiviado (T2) R1	1.71	1.08	1.61	2.06	3.44	4.27				
50% v/v de lixiviado (T2) R2	1.39	1.8	1.28	1.29	4.94	5.12				
50% v/v de lixiviado (T2) R3	1.34	0.41	0.94	1.47	4.22	4.98	2.41	1.60	0.66	
75% v/v de lixiviado (T3) R1	1.82	1.12	1.31	1.12	1.23	1.43				
75% v/v de lixiviado (T3) R2	1.27	1.63	1.3	0.83	1.38	1.89				
75% v/v de lixiviado (T3) R3	1.35	1.56	1.73	1.06	1.23	1.47	1.37	0.28	0.20	

\bar{x} = Promedio

σ = Desviación estándar

CV = Coeficiente de variación

Cuadro 29. Determinación de oxígeno disuelto en el proceso de tratamiento.

Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)						
Tratamiento	Día			\bar{x}	σ	CV
	0	7	15			
Testigo (T0) R1	143.11	123.03	15.91	81.67	55.75	0.68
Testigo (T0) R2	148.16	87.68	10.86			
Testigo (T0) R3	102.71	92.73	10.86			
25% v/v de lixiviado (T1) R1	526.50	240.75	105.35	285.14	170.16	0.60
25% v/v de lixiviado (T1) R2	493.17	253.88	70.00			
25% v/v de lixiviado (T1) R3	458.83	267.01	150.80			
50% v/v de lixiviado (T2) R1	458.22	270.16	238.32	261.96	139.85	0.53
50% v/v de lixiviado (T2) R2	467.31	236.83	163.58			
50% v/v de lixiviado (T2) R3	339.16	115.92	68.15			
75% v/v de lixiviado (T3) R1	561.24	344.06	252.30	384.07	125.43	0.33
75% v/v de lixiviado (T3) R2	538.01	348.10	312.90			
75% v/v de lixiviado (T3) R3	533.97	318.81	247.25			

\bar{x} = Promedio

σ = Desviación estándar

CV = Coeficiente de variación

Cuadro 30. Evaluación de coliformes totales en el proceso de tratamiento

Coliformes totales (NMP/100 mL)					
Tratamiento	Día		\bar{x}	σ	CV
	0	15			
Testigo (T0) R1	0.00	0.00			
Testigo (T0) R2	0.00	0.00	0.67	1.63	2.45
Testigo (T0) R3	4.00	0.00			
25% v/v de lixiviado (T1) R1	93.00	7.00			
25% v/v de lixiviado (T1) R2	460.00	14.00	121.33	175.89	1.45
25% v/v de lixiviado (T1) R3	150.00	4.00			
50% v/v de lixiviado (T2) R1	460.00	6.00			
50% v/v de lixiviado (T2) R2	1101.00	11.00	314.00	428.19	1.36
50% v/v de lixiviado (T2) R3	290.00	16.00			
75% v/v de lixiviado (T3) R1	1101.00	95.00			
75% v/v de lixiviado (T3) R2	1101.00	15.00	573.50	578.48	1.01
75% v/v de lixiviado (T3) R3	1101.00	28.00			

\bar{x} = Promedio

σ = Desviación estándar

CV = Coeficiente de variación

Cuadro 31. Resultado del vástago en el proceso de tratamiento

Tratamiento	Vástago (cm)						\bar{x}	σ	CV
	Día								
	0	3	6	9	12	15			
Testigo (T0) R1	13.9	15.8	16.3	18.7	20.0	23.5	20.6	1.87	0.09
Testigo (T0) R2	14.3	14.8	16.7	17.9	20.1	21.1			
Testigo (T0) R3	15.9	17.3	18.9	19.2	21.7	22.7			
25% v/v de lixiviado (T1) R1	15.4	14.1	14.5	15.0	15.0	15.8	15.9	1.08	0.07
25% v/v de lixiviado (T1) R2	14.2	17.0	17.1	17.2	17.2	17.5			
25% v/v de lixiviado (T1) R3	15.2	16.0	15.8	15.8	14.8	15.2			
50% v/v de lixiviado (T2) R1	15.8	16.3	16.6	16.9	17.3	17.5	16.8	0.88	0.05
50% v/v de lixiviado (T2) R2	14.0	15.1	15.6	16.3	16.3	17.4			
50% v/v de lixiviado (T2) R3	15.6	12.6	13.9	15.6	15.6	18.2			
75% v/v de lixiviado (T3) R1	15.2	13.4	13.7	14.0	14.0	14.5	15.8	1.29	0.08
75% v/v de lixiviado (T3) R2	15.1	16.2	16.3	16.5	16.5	16.8			
75% v/v de lixiviado (T3) R3	16.1	15.4	15.8	16.4	16.4	17.4			

\bar{x} = Promedio

σ = Desviación estándar

CV = Coeficiente de variación

Cuadro 32. Resultados de los metales zinc y plomo a inicio y final de evaluación

Tratamiento	Zinc total (mg/L)		Plomo total (mg/L)	
	Inicio	Final	Inicio	Final
Testigo (T0) R1	0.1583	0.0800	0.0628	0.0580
Testigo (T0) R2	0.0623	0.0920	0.0378	0.0418
Testigo (T0) R3	0.0638	0.2983	0.0258	0.0320
25% v/v de lixiviado (T1) R1	0.2910	0.1938	0.0820	0.0678
25% v/v de lixiviado (T1) R2	0.2910	0.3568	0.0518	0.0438
25% v/v de lixiviado (T1) R3	0.1803	0.3193	0.0218	0.0480
50% v/v de lixiviado (T2) R1	0.3195	0.1925	0.0438	0.0345
50% v/v de lixiviado (T2) R2	0.3525	0.1393	0.0685	0.0245
50% v/v de lixiviado (T2) R3	0.4505	0.1205	0.1000	0.0025
75% v/v de lixiviado (T3) R1	0.6555	0.3650	0.1053	0.0463
75% v/v de lixiviado (T3) R2	1.0910	0.2223	0.0710	0.0288
75% v/v de lixiviado (T3) R3	1.1415	0.0460	0.0695	0.0028

Cuadro 33. Concentración de metales e Pb, Zn, Cd y Cr en la semilla.

Datos de la Muestra	Pb	Zn	Cd	Cr
Muestra	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
Semilla	0.5565	0.010	0.0005	1.992

Cuadro 34. Resultado del número de individuos vivos en el proceso de tratamiento

Número de plantas vivas (unidad)								\bar{x}	σ	CV
Tratamiento	Día									
	0	3	6	9	12	15				
Testigo (T0) R1	10	10	10	10	10	10	10.00	0.00	-	
Testigo (T0) R2	10	10	10	10	10	10				
Testigo (T0) R3	10	10	10	10	10	10				
25% v/v de lixiviado (T1) R1	10	10	10	10	10	9	9.22	0.44	0.05	
25% v/v de lixiviado (T1) R2	10	10	10	9	9	9				
25% v/v de lixiviado (T1) R3	10	10	9	9	9	9				
50% v/v de lixiviado (T2) R1	10	9	9	9	10	8	8.56	0.73	0.08	
50% v/v de lixiviado (T2) R2	10	9	9	9	8	8				
50% v/v de lixiviado (T2) R3	10	9	9	9	8	8				
75% v/v de lixiviado (T3) R1	10	8	8	7	5	5	6.11	1.36	0.22	
75% v/v de lixiviado (T3) R2	10	8	8	7	5	5				
75% v/v de lixiviado (T3) R3	10	9	9	9	6	6				

\bar{x} = Promedio

σ = Desviación estándar

CV = Coeficiente de variación

Anexo B. Prueba de normalidad

Cuadro 35. Prueba de normalidad del metal zinc y plomo

Metal Zinc	Prueba	Estadístico	Valor-P
	Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.861234	0.0477161
Metal Plomo	Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.946253	0.541075

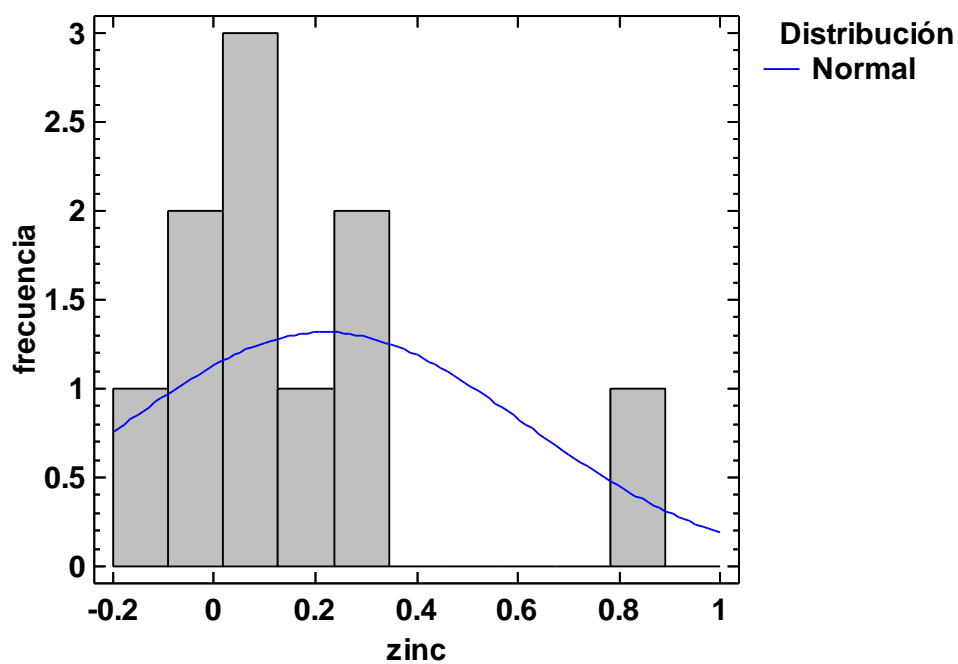


Figura 29. Histograma para el zinc.

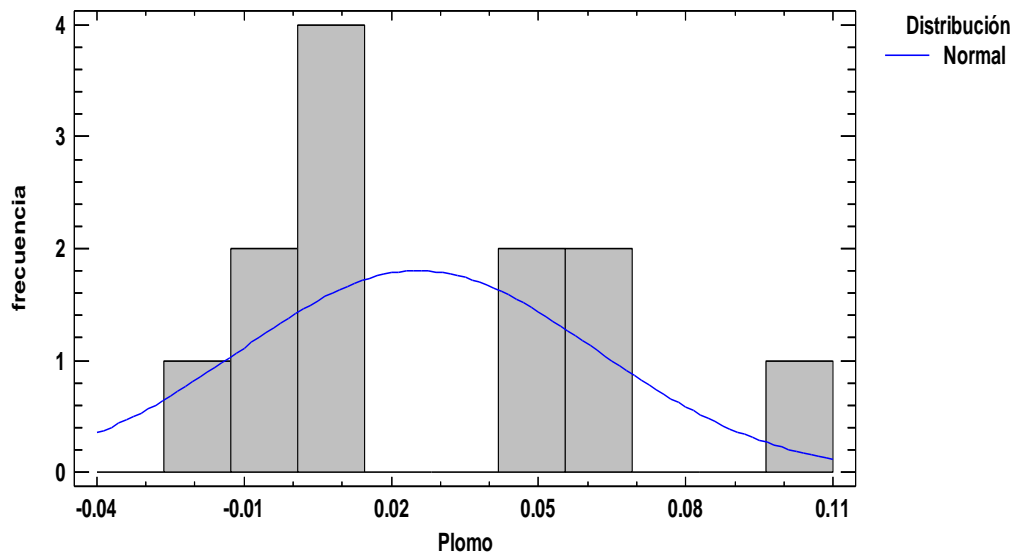


Figura 30. Histograma para plomo.

Anexo C. Gráfico de eficiencia de remoción del plomo y zinc

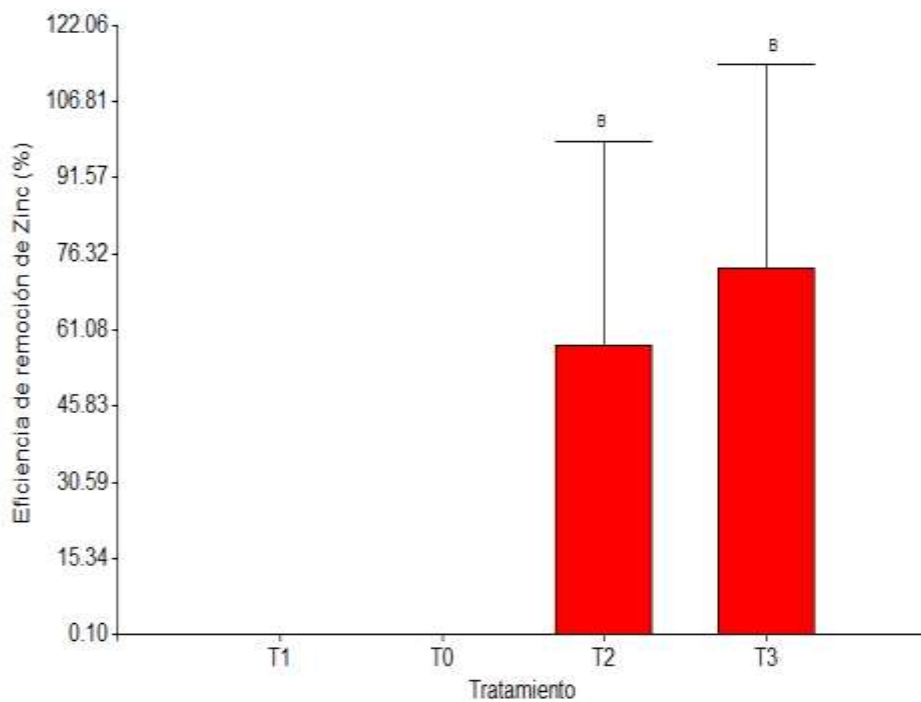


Figura 31. Gráfico de significativa en la eficiencia de remoción de zinc en los tratamientos.

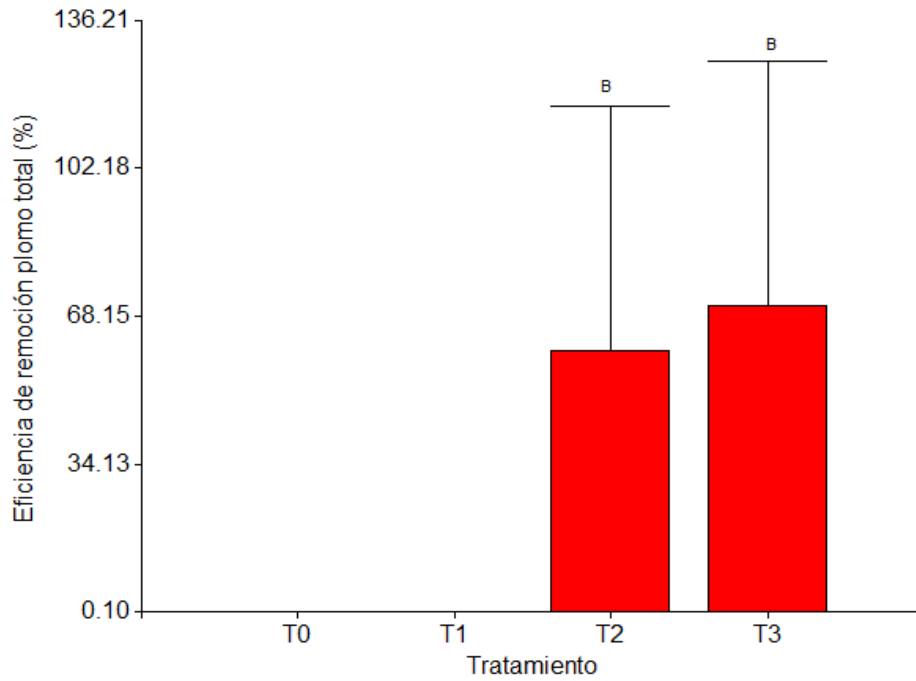


Figura 32. Gráfico de significativa en la eficiencia de remoción del Plomo.

Anexo D. Determinación de los metales Cd, Pb, Cr, Zn con mayor concentración en el lixiviado



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARIA
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



ANALISIS

SOLICITANTE Aguilier Flores, Howar Billy
INVESTIGACIÓN Remoción de metales pesados mediante sistema batch
con presencia Cajanus cajan(L.) Huth(Frijol de palo)

DEPARTAMENTO : Huanuco
PROVINCIA : Leoncio Prado
DISTRITO : Rupa Rupa

N°	CODIGO	DATOS DE LA MUESTRA		Cd	Cr	Pb	Zn
		Muestra	Referencia	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L
1	ICP 00181	Agua	Lixiviado	0.1904	7.4440	129.9230	136.9340

Equipo: ICP OES /HORIBA-Ultima expert
Metodo: Digestion acida/acido nitrico
Recibo N°: 0582855

Fecha: 10/07/2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACION
[Signature]
Dra. Elizabeth Ochoa Gomez
DIRECTORA

[Signature]
Ing. Sánchez Rodríguez Miguel
ESPECIALISTA AREA ICP OES

Anexo E. Resultados de la digestión de las muestras en el proceso de remoción de los metales



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARIA
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



ANALISIS

SOLICITANTE Aguilar Flores, Howar Billy
INVESTIGACIÓN Remoción de metales pesados mediante sistema batch con presencia Cajanus cajan(L.)Huth(Frijol de palo)

DEPARTAMENTO : Huanuco
PROVINCIA : Leoncio Prado
DISTRITO : Rupa Rupa

N°	CODIGO	DATOS DE LA MUESTRA		Cd	Cr	Pb	Zn
		Muestra	Referencia	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L
1	ICP 00186	Agua	MO-1 03/Jun/2019	1.8630	8.0390	148.2560	203.151
2	ICP 00187	Agua	MO-3 05/Jun/2019	2.3840	3.6850	26.7610	137.579
3	ICP 00188	Agua	MO-5 07/Jun/2019	1.7490	20.0610	34.5740	174.006
4	ICP 00189	Agua	MO-8 10/Jun/2019	3.3900	23.8210	40.0630	148.230
5	ICP 00190	Agua	MO-10 12/Jun/2019	0.9462	16.3610	0.9551	143.982
6	ICP 00191	Agua	MO-15 15/Jun/2019	1.0380	23.2670	35.3460	98.570

Equipo: ICP OES /HORIBA-Ultima expert

Fecha: 10/07/2019

Muestras digeridas por el solicitante/resultados solo de lecturas

Recibo N°: 0584055

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN
Dr. Elizabeth Ordóñez Gómez
DIRECTORA

Ing. Sánchez Rodríguez Miguel
ESPECIALISTA AREA ICP OES

Anexo F. Resultados digestión de las muestras al inicio del tratamiento



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARIA
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



ANALISIS

SOLICITANTE : Aguilar Flores, Howar Billy
INVESTIGACIÓN: Remoción de metales pesados mediante sistema batch
con presencia Cajanus cajan(L.)Huth(Frijol de palo)

DEPARTAMENTO : Huanuco
PROVINCIA : Leoncio Prado
DISTRITO : Rupa Rupa

N°	CODIGO	DATOS DE LA MUESTRA		Zn	Pb
		Muestra	Referencia	mg/L	mg/L
1	ICP 00272	Agua	T0R1	0.0320	0.0232
2	ICP 00273	Agua	T0R2	0.0368	0.0167
3	ICP 00274	Agua	T0R3	0.1193	0.0528
4	ICP 00275	Agua	T1R1	0.0775	0.0271
5	ICP 00276	Agua	T1R2	0.1427	0.0175
6	ICP 00277	Agua	T1R3	0.1277	0.0192
7	ICP 00278	Agua	T2R1	0.0770	0.0138
8	ICP 00279	Agua	T2R2	0.0557	0.0098
9	ICP 00280	Agua	T2R3	0.0482	0.0010
10	ICP 00281	Agua	T3R1	0.1460	0.0185
11	ICP 00282	Agua	T3R2	0.0889	0.0115
12	ICP 00283	Agua	T3R3	0.0184	0.0011

Equipo: ICP OES /HORIBA-Ultima expert

Muestra digerida por el solicitante

Recibo N°: 0593291

Fecha: 15/08/2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN
[Firma]
Dra. Elizabeth Orozco Góm.
DIRECTORA

[Firma]
Ing. Sánchez Rodríguez Miguel
ESPECIALISTA AREA ICP OES

Anexo G. Resultados de digestión de las muestras al final del tratamiento



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARIA

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



ANALISIS

SOLICITANTE : Aguilar Flores, Howar Billy
 INVESTIGACIÓN: Remoción de metales pesados mediante sistema batch con presencia Cajanus cajan(L.)Huth(Frijol de palo)

DEPARTAMENTO : Huanuco
 PROVINCIA : Leoncio Prado
 DISTRITO : Rupa Rupa

N°	CODIGO	DATOS DE LA MUESTRA		Zn	Pb
		Muestra	Referencia	mg/L	mg/L
1	ICP 00251	Agua	T0R1	0.0633	0.0641
2	ICP 00252	Agua	T0R2	0.0249	0.0151
3	ICP 00253	Agua	T0R3	0.0255	0.0103
4	ICP 00254	Agua	T1R1	0.1164	0.0328
5	ICP 00255	Agua	T1R2	0.1164	0.0207
6	ICP 00256	Agua	T1R3	0.0721	0.0084
7	ICP 00257	Agua	T2R1	0.1278	0.0175
8	ICP 00258	Agua	T2R2	0.1410	0.0274
9	ICP 00259	Agua	T2R3	0.1802	0.0200
10	ICP 00260	Agua	T3R1	0.2622	0.0421
11	ICP 00261	Agua	T3R2	0.4364	0.0284
12	ICP 00262	Agua	T3R3	0.4566	0.0278

Equipo: ICP OES /HORIBA-Ultima expert

Fecha: 1/08/2019

Muestra digerida por el solicitante

Recibo N°: 0593291

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN
 Dra. Elizabeth Ordóñez-González
 DIRECTORA

[Firma]
 Ing. Sánchez Rodríguez Miguel
 ESPECIALISTA AREA ICP OES

Anexo H. Resultados de digestión de la muestra de semilla de *Cajanus cajan* (L.) Huth

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARIA
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



ANALISIS

SOLICITANTE Aguilar Flores, Howar Billy
INVESTIGACIÓN Remoción de metales pesados mediante sistema batch con presencia *Cajanus cajan*(L.)Huth(Frijol de palo)

DEPARTAMENTO : Huanuco
PROVINCIA : Leoncio Prado
DISTRITO : Rupa Rupa

N°	CODIGO	DATOS DE LA MUESTRA		Cd	Cr	Pb	Zn
		Muestra	Referencia	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
1	ICP 00491	Semilla	Frejol de palo	<0.0002	0.3984	0.1113	0.002

Equipo: ICP OES /HORIBA-Ultima expert

Fecha: 7/11/2019

Muestras digeridas por el solicitante/resultados solo de lecturas

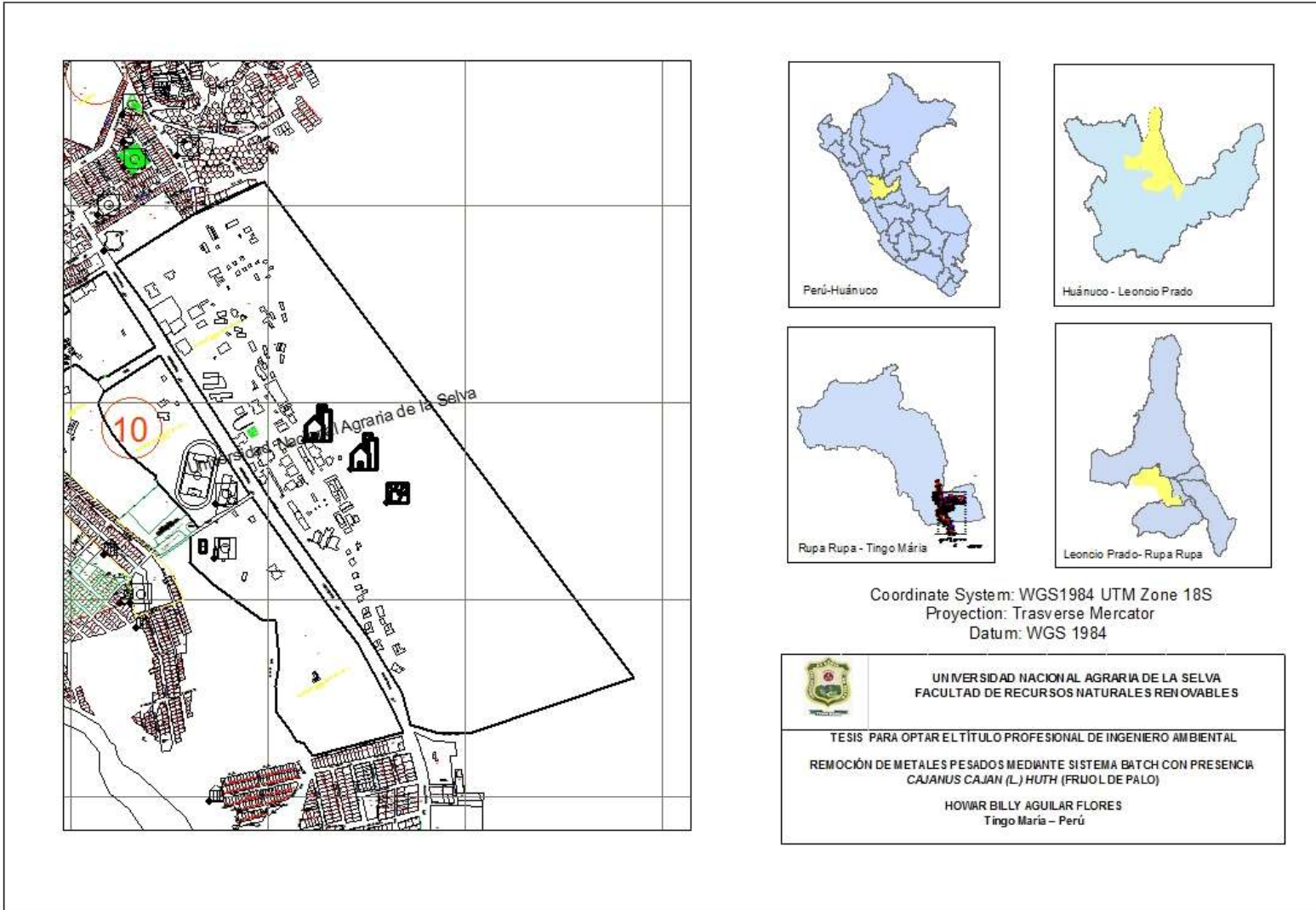
Recibo N°: 0600133

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN

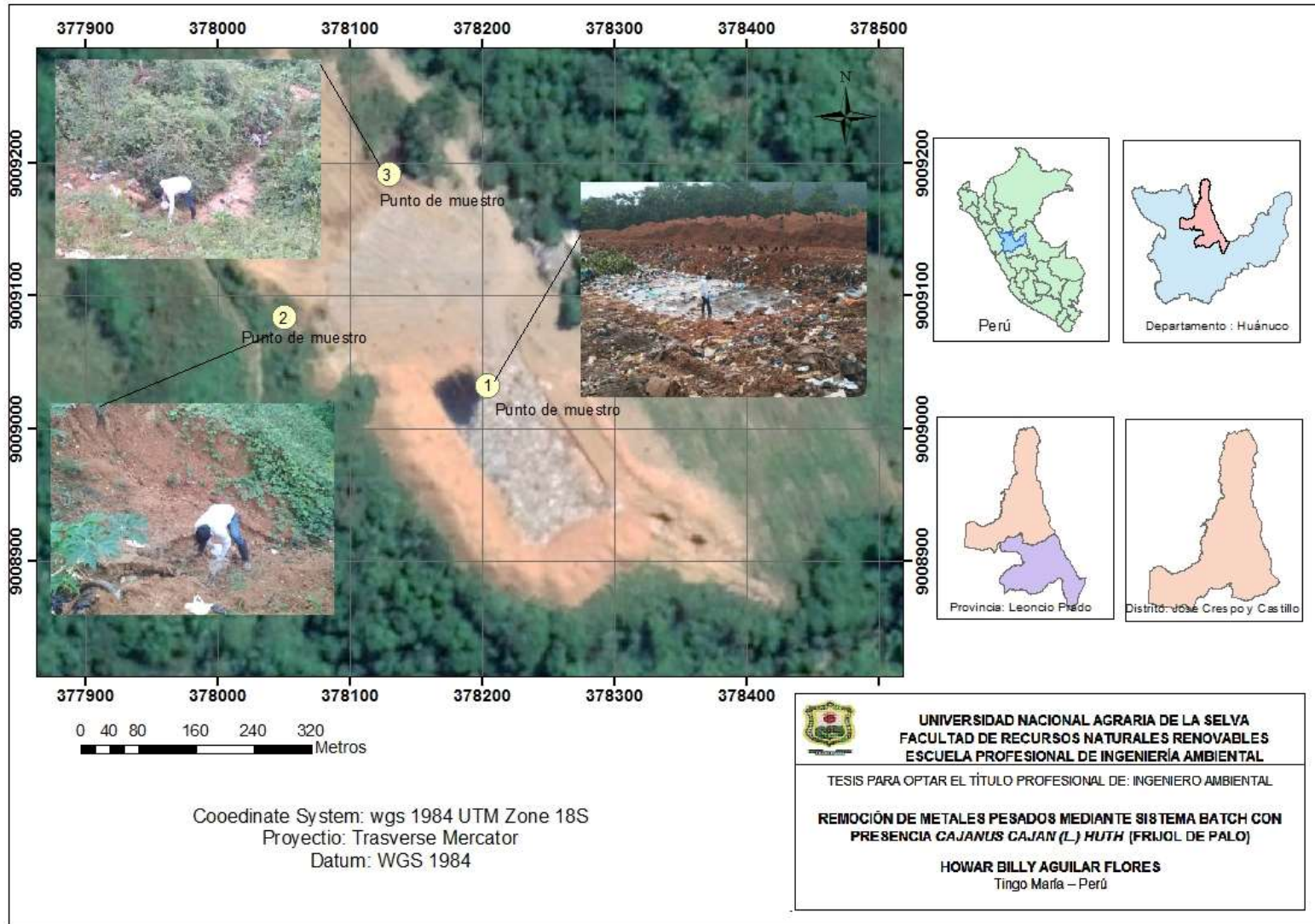
Dra. Elizabeth Ordoñez Gomez
DIRECTORA

Ing. Sanchez-Rodriguez Miguel
ESPECIALISTA AREA ICP OES

Anexo I. Plano de ubicación del trabajo de investigación.



Anexo J. Plano puntos de muestreo del botadero de la Municipalidad Distrital de José Crespo y Castillo



Anexo K. Panel fotográfico



Figura 33. Selección de plantas (a) individuos con condiciones para su evaluación, (b) individuos no germinados (c) individuos enfermos.



Figura 34. Instalación de la cámara de germinación



Figura 35. Recolección de lixiviado de un botadero controlado del Distrito José Crespo y Castillo.



Figura 36. Agregados de solución hidropónica.



Figura 37. Verificación de la ejecución del proyecto por jurado.



Figura 38. Inoculación de la muestra para la determinación de coliformes totales.



Figura 39. Lectura de las variables de evaluación.



Figura 40. Lectura OD para la Demanda bioquímica de oxígeno por cinco días.



Figura 41. Inicio puesto en marcha de la evaluación.



Figura 42. Observación del desarrollo de las raíces.



Figura 43. Observación de biopelículas adheridas a las raíces de las plantas.



Figura 44. Observación morfológica de las plantas a final de la evaluación.



Figura 45. Efecto morfológico en la especie *Cajanus cajan* (L.) Huth



Figura 46. Lectura de las muestras con el equipo ICP-OES