

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES



Eficiencia de remoción de lixiviado del botadero municipal del distrito de Nueva Cajamarca empleando especies *Heliconia psittacorum* (Sessé y Moc.) y *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, provincia de Rioja

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES

Rocío Cachay Pérez
Rudith Johana Romero Carbajal

ASESOR

Wilson Pérez Dávila

Rioja, Perú

2024

METADATOS COMPLEMENTARIOS**Datos de los Autores****Autor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 3

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 4

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos de los Asesores**Asesor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Asesor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Datos del Jurado

Presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la Obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

***Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 035 - 2024/UCSS/FCAA/DI

Siendo las 10:00 a.m. del jueves 25 de julio de 2024 a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------|
| 1. Armando Chiclla Salazar | presidente |
| 2. Bertha Marcelina Ruiz Jange | primer miembro |
| 3. Natividad Lourdes Artica Cosme | segundo miembro |
| 4. Wilson Pérez Dávila | asesor(a) |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada **Eficiencia de remoción de lixiviado del botadero municipal del distrito de Nueva Cajamarca empleando especies *Heliconia psittacorum* (Sessé y Moc.) y *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, provincia de Rioja**, que presentan las bachilleres en Ciencias Ambientales, **Rocio Cachay Perez y Rudith Johana Romero Carbajal** cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el jurado acuerda:

APROBAR

DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **MUY BUENA** y eleva la presente acta al decanato de la **Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales**, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de **INGENIERO AMBIENTAL**.

Lima, 25 de julio de 2024.

Armando Chiclla Salazar
Presidente

Bertha Marcelina Ruiz Jange
1° miembro

Natividad Lourdes Artica Cosme
2° miembro

Wilson Pérez Dávila
Asesor(a)

Anexo 2**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO**

Nueva Cajamarca, 22 de octubre del 2024

Señor(a),
Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis**, bajo mi asesoría, con **título:** Eficiencia de remoción de lixiviado del botadero municipal del distrito de Nueva Cajamarca empleando especies *Heliconia psittacorum* (Sessé y Moc.) y *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, provincia de Rioja, presentado por la **Bach. Rocío Cachay Pérez** (código de estudiante 2014101811 y DNI 71776213) y la **Bach. Rudith Johana Romero Carbajal** (código de estudiante 2014101873 y DNI 70176769) para optar el **título profesional** de Ingeniero Ambiental ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 5 %**. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Wilson Pérez Dávila', is written over a horizontal line.

Firma

Wilson Pérez Dávila

DNI N°: 43447032

ORCID: 0000-0001-9060-1552

Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales - UCSS

* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a:

Dios porque siempre está conmigo donde quiera que vaya.

Mi madre Deyssi Pérez Díaz por haberme sabido inculcar principios y valores, por motivarme a ser valiente y perseverante en todos los aspectos de mi vida y por estar orgullosa de todos mis logros.

Mi pareja Iván Job Fernández Cruz por estar siempre a mi lado en los momentos más difíciles, por su amor, paciencia, comprensión y por su apoyo incondicional para superarme cada día y lograr mis metas.

Mi hija Alexa Antonella Fernández Cachay por ser mi motivación.

Mi hermano Joel Esmith Cachay Pérez y hermana Noemí Cachay Acuña por su amistad y apoyo incondicional.

Mis amigos por permitirme aprender más de la vida a su lado.

Rocío Cachay Pérez

Dedico esta tesis a:

Principalmente a Dios, por bendecirme siempre y guiarme para llegar hasta este momento trascendental en mi formación profesional.

Mi madre Angélica Carbajal Medina por brindarme su respaldo en cada una de mis proyecciones, por su amor incondicional, por inculcarme valores y principios. Mi hermano Neiver Ronaldo Romero Carbajal quien es mi motivación de seguir superándome cada día y ser un ejemplo de éxito.

Mi pareja Fredy Chávez R. por brindarme su amor, su compañía en todo momento, por su comprensión, motivación y por sus buenos consejos para seguir superándome cada día.

A ellos dedico esta tesis, quienes me brindaron su apoyo ilimitado y han creído en mí indudablemente, porque han fomentado en mí el deseo de evolución y de éxito en la vida.

Rudith Johana Romero Carbajal

AGRADECIMIENTO

Agradecemos principalmente a Dios por la vida, por la salud y las múltiples bendiciones que cada día nos concede, por la sabiduría para culminar con éxito nuestra carrera profesional y titularnos como Ingenieras Ambientales, a pesar de las dificultades que se nos ha presentado.

Al asesor Ing. Wilson Pérez Dávila que con su experiencia y conocimientos nos orientó en la elaboración de este trabajo de titulación.

Al ex alcalde Prof. Segundo Gonzalo Vásquez Tan por permitirnos ingresar a ejecutar nuestro proyecto de tesis en el botadero municipal de Nueva Cajamarca.

A nuestras familias por ofrecernos su apoyo total en todo momento durante el desarrollo de la tesis.

Finalmente, a nuestra alma mater Universidad Católica Sedes Sapientiae y a todos los profesores quienes compartieron sus conocimientos, experiencias de forma teórica y práctica, para todos ellos (as) nuestros más sinceros agradecimientos.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE APÉNDICES	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Bases teóricas especializadas	12
1.2.1. Los lixiviados	12
1.2.2. Características de los lixiviados	13
1.2.3. Humedales artificiales	13
1.2.4. Funcionamiento de los humedales artificiales	14
1.2.5. Clasificación de los humedales artificiales	14
1.2.6. Tipo de humedales artificiales	16
1.2.7. Componentes de un humedal artificial	18
1.2.8. Parámetros relacionados para el tratamiento de humedales	21
1.2.9. Especies fitorremediadoras	23
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	26
2.1. Descripción de la investigación	26
2.2. Lugar y fecha	27
2.3. Descripción del experimento	29
2.3.1. Etapa preliminar	29
2.3.2. Etapa de campo	29
2.3.3. Etapa de gabinete	39
2.4. Tratamientos	40
2.5. Unidades experimentales	40
2.6. Identificación de variables y su mensuración	40

2.7. Diseño estadístico del experimento	42
2.8. Análisis estadístico de datos	42
2.9. Materiales y equipos	43
CAPÍTULO III: RESULTADOS	44
3.1. Composición fisicoquímica y microbiológica de lixiviados	44
3.2. Implementación a escala piloto del sistema de tratamiento, mediante humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal con las especies <i>Heliconia psittacorum</i> y <i>Eichhornia crassipes</i>	46
3.2.1. Resultado de sustrato filtrante sin plantas fitorremediadoras a los 30, 60 y 90 días: tratamiento testigo	46
3.2.2. Resultado de sustrato filtrante con <i>Heliconia psittacorum</i> a los 30, 60 y 90 días: tratamiento 1	48
3.2.3. Resultados de lecho filtrante con <i>Eichhornia crassipes</i> a los 30, 60 y 90 días: tratamiento 2	50
3.3. Eficiencia de remoción de lixiviados por las especies <i>Heliconia psittacorum</i> y <i>Eichhornia crassipes</i>	52
3.3.1. Remoción de coliformes totales	52
3.3.2. Remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO ₅)	55
3.3.3. Remoción de la demanda química de oxígeno (DQO)	57
3.3.4. Remoción de los sólidos suspendidos totales (SST)	59
3.3.5. Remoción de fósforo total (P-total)	61
3.3.6. Remoción de Nitrógeno amoniacal (N-amoniaco)	63
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN	65
4.1. Caracterización de la composición fisicoquímica y microbiológica del lixiviado del botadero municipal de Nueva Cajamarca	65
4.2. Implementación a escala piloto del sistema de tratamiento, mediante humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal con las especies <i>Heliconia psittacorum</i> y <i>Eichhornia crassipes</i>	67
4.3. Comparación de la eficiencia de remoción de lixiviados por las especies <i>Heliconia psittacorum</i> y <i>Eichhornia crassipes</i>	69
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	71
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	73
REFERENCIAS	74
TERMINOLOGÍA	84
APÉNDICES	85

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Características de los lixiviados de acuerdo a la edad</i>	13
Tabla 2. <i>Sustrato utilizado en los humedales artificiales</i>	34
Tabla 3. <i>Descripción de los tratamientos experimentales</i>	40
Tabla 4. <i>VARIABLES del estudio</i>	41
Tabla 5. <i>Materiales y equipos utilizados en la investigación</i>	43
Tabla 6. <i>Composición física del lixiviado</i>	44
Tabla 7. <i>Composición química relacionada con el nivel de oxígeno del lixiviado</i>	45
Tabla 8. <i>Composición química de categoría eutrofización del lixiviado</i>	45
Tabla 9. <i>Composición microbiológica del lixiviado</i>	46
Tabla 10. <i>Parámetros obtenidos a los 30 días-Tratamiento testigo (T0)</i>	47
Tabla 11. <i>Parámetros obtenidos a los 60 días-Tratamiento testigo (T0)</i>	47
Tabla 12. <i>Parámetros obtenidos a los 90 días-Tratamiento testigo (T0)</i>	48
Tabla 13. <i>Parámetros obtenidos a los 30 días – Tratamiento 1</i>	49
Tabla 14. <i>Parámetros obtenidos a los 60 días – Tratamiento 1</i>	49
Tabla 15. <i>Parámetros obtenidos a los 90 días – Tratamiento 1</i>	50
Tabla 16. <i>Parámetros obtenidos a los 30 días – Tratamiento 2</i>	51
Tabla 17. <i>Parámetros obtenidos a los 60 días – Tratamiento 2</i>	51
Tabla 18. <i>Parámetros obtenidos a los 90 días – Tratamiento 2</i>	52
Tabla 19. <i>Prueba Tukey para la remoción de coliformes totales en lixiviados a los 30, 60 y 90 días</i>	54
Tabla 20. <i>Prueba Tukey de comparación de medias para la DBO₅ de lixiviados y tiempo de retención</i>	56
Tabla 21. <i>Prueba de Tukey con respecto a la DQO y periodos de retención de lixiviado</i> .	58
Tabla 22. <i>Prueba Tukey de los tratamientos con respecto a los tiempos de retención de lixiviados</i>	60
Tabla 23. <i>Prueba de Tukey de la remoción de P-total según el tiempo de retención de lixiviados</i>	62
Tabla 24. <i>Prueba de Tukey de N-amoniaco en los períodos de evaluación según tratamiento</i>	64

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. <i>Representación esquemática del sistema con macrófitas sumergidas</i>	14
Figura 2. <i>Representación esquemática del sistema con macrófitas emergentes</i>	15
Figura 3. <i>Representación esquemática del sistema con macrófitas flotantes</i>	16
Figura 4. <i>Funcionamiento y partes del HAFSSH</i>	17
Figura 5. <i>Funcionamiento y partes del HAFSSV</i>	18
Figura 6. <i>Fotografía de la especie Heliconia psittacorum</i>	24
Figura 7. <i>Fotografía de la especie Eichhornia crassipes</i>	25
Figura 8. <i>Mapa de ubicación del área de investigación</i>	28
Figura 9. <i>Construcción del ambiente para el proceso experimental</i>	30
Figura 10. <i>Construcción de los HAFSSH para el experimento</i>	31
Figura 11. <i>Diseño del sistema piloto</i>	32
Figura 12. <i>Acondicionamiento y preparación de los humedales artificiales</i>	33
Figura 13. <i>Especies fitorremediadoras utilizados en los humedales</i>	34
Figura 14. <i>Siembra de las especies fitorremediadoras en cada humedal artificial</i>	35
Figura 15. <i>Recolección del lixiviado para el sistema piloto</i>	36
Figura 16. <i>Sistema de tratamiento en funcionamiento</i>	37
Figura 17. <i>Recolección de muestras de lixiviado y medición de parámetros</i>	38
Figura 18. <i>Muestras de lixiviado tomados de los humedales para sus respectivos análisis</i>	39
Figura 19. <i>Prueba de normalidad para coliformes totales según el tiempo de retención</i> ..	53
Figura 20. <i>Porcentaje de remoción de coliformes totales por tratamiento según el tiempo de retención</i>	54
Figura 21. <i>Prueba de normalidad de los resultados de DBO₅ según el tiempo de retención</i>	55
Figura 22. <i>Remoción de DBO₅ de acuerdo a los tiempos de retención y tratamiento experimental</i>	56
Figura 23. <i>Prueba de normalidad de los residuos de DQO según tratamientos y tiempo de retención</i>	57
Figura 24. <i>Resultados de remoción del DQO de acuerdo al tiempo de retención y tratamiento</i>	58

Figura 25. Prueba de normalidad de residuos de SST por tratamiento y tiempo de retención de lixiviado	59
Figura 26. Remoción de SST de acuerdo al tiempo de retención y tratamiento experimental.....	60
Figura 27. Prueba de normalidad de residuos de P-total por tratamiento según el tiempo de retención	61
Figura 28. Eficiencia de remoción de P-total de acuerdo al tratamiento y tiempo de retención	62
Figura 29. Prueba de normalidad de residuos de N-amoniaco a los 30,60 y 90 días según tratamiento.....	63
Figura 30. Remoción de N-amoniaco en los tratamientos empleados y periodos de retención	64

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Autorización para realizar la investigación.....	85
Apéndice 2. Resultados del proceso experimental de lixiviados de botadero municipal según tratamiento y tiempo de valuación experimental	86
Apéndice 3. Valores de porcentajes de remoción de los parámetros evaluados de los lixiviados del botadero de Nueva Cajamarca	87
Apéndice 4. Resultados de los análisis de la muestra patrón	88
Apéndice 5. Resultados de laboratorio de parámetros de tratamiento testigo a los 30 días.....	91
Apéndice 6. Resultado de análisis de lixiviado de tratamiento testigo a los 60 días.....	94
Apéndice 7. Resultado de análisis de lixiviado de tratamiento testigo a los 90 días.....	97
Apéndice 8. Informes del análisis lixiviado a los 30 días – <i>H. psittacorum</i>	100
Apéndice 9. Informes del análisis lixiviado a los 60 días – <i>H. psittacorum</i>	103
Apéndice 10. Informes del análisis lixiviado a los 90 días – <i>H. psittacorum</i>	106
Apéndice 11. Informes del análisis lixiviado a los 30 días – <i>E. crassipes</i>	109
Apéndice 12. Informes del análisis lixiviado a los 60 días – <i>E. crassipes</i>	112
Apéndice 13. Informes del análisis lixiviado a los 90 días – <i>E. crassipes</i>	115

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar la eficiencia de remoción de lixiviados del botadero municipal de Nueva Cajamarca, empleando *Heliconia psittacorum* y *Eichhornia crassipes*. Se construyeron HAFSSH, tres tratamientos y tres repeticiones para cada tratamiento; cada unidad experimental tuvo 18 plantas. Los lixiviados en los HAFSSH fueron evaluados a 30, 60 y 90 días. El diseño estadístico fue DCA, los resultados fueron analizados mediante ANOVA (0,05 %), Tukey, programa Infostat 2017 y Excel. Los análisis de lixiviado presentaron las siguientes concentraciones: coliformes totales 230000 NMP/100 mL; SST 260 mg/L; DBO5 344,0 mg OD/L; DQO 697 mg/L, P-total 6,78 ppm y N-amoniaco 180,10 ppm. El T1 tuvo una remoción de coliformes totales de 97,87 % a 60 días; para SST (84,73 %), DBO5 (56,40 %), DQO (64,42 %), P-total (85,46 %) y N-amoniaco (90,02 %), a 90 días. Para T2, la mayor remoción de DBO5 (68,31 %), N-amoniaco (90,17 %), coliformes totales (99,79 %), SST (87,31 %), DQO (65,57 %) a 60 días, y para P-total (84,41 %), alcanzó mayor remoción a 90 días, observándose diferencia significativa. En conclusión, el T2 tuvo más eficiencia a 60 días para remover coliformes totales, DBO5, DQO, SST, P-total y N-amoniaco.

Palabras claves: Eficiencia de remoción, *Eichhornia crassipes*, *Heliconia psittacorum*, humedales artificiales, tratamiento de lixiviados.

ABSTRACT

The aim of the study was to determine the leachate removal efficiency from the municipal landfill of Nueva Cajamarca, using *Heliconia psittacorum* and *Eichhornia crassipes*. HAFSSH, three treatments and three repetitions for each treatment were constructed; each experimental unit had 18 plants. The leachates in the HAFSSH were evaluated at 30, 60 and 90 days. The statistical design was DCA, the results were analyzed by ANOVA (0.05 %), Tukey, Infostat 2017 program and Excel. The leachate analysis showed the following concentrations: total coliforms 230,000 NMP/100 mL; TSS 260 mg/L; BOD5 344.0 mg DO/L; COD 697 mg/L, P-total 6.78 ppm and N-ammonia 180.10 ppm. T1 had a total coliform removal of 97.87 % at 60 days; for TSS (84.73 %), BOD5 (56.40 %), COD (64.42 %), total P (85.46 %) and ammonia-N (90.02 %), at 90 days. For T2, the highest removal of BOD5 (68.31 %), ammonia-N (90.17 %), total coliforms (99.79 %), TSS (87.31 %), COD (65.57 %) at 60 days, and for total P (84.41%) achieved higher removal at 90 days, with a significant difference being observed. In conclusion, T2 had more efficiency at 60 days to remove total coliforms, BOD5, COD, TSS, total P and ammonia-N.

Keywords: Removal efficiency, *Eichhornia crassipes*, *Heliconia psittacorum*, artificial wetlands, leachate treatment.

INTRODUCCIÓN

La disposición de los residuos domésticos municipales es una de las principales complicaciones ambientales, económicas y sociales del mundo actual; primariamente, porque la cantidad de residuos generados por las actividades antropogénicas crece más rápido, en comparación con el número de población mundial. La disposición final y tratamiento de los residuos sólidos es un problema de gran impacto en la gestión municipal; puesto que, las zonas urbanas generan grandes cantidades de residuos diarios. En Perú, estos residuos suelen terminar en rellenos sanitarios y basureros a cielo abierto; la disposición final actualmente tiene múltiples problemas operativos, encontrando mayor frecuencia en el inadecuado tratamiento de los lixiviados (Noguera y Olivero, 2010).

El principal problema de disposición de residuos sólidos en Perú se debe principalmente a la escasez de lugares destinados a la disposición final segura y adecuada de los residuos, ya que al 2014 solamente existían nueve rellenos sanitarios y dos rellenos de seguridad (diseñados para contener residuos potencialmente peligrosos) a nivel nacional, siendo estos ineficientes para el volumen de basura generado por la población; además, se estimó que el país requiere al menos de 190 infraestructuras (rellenos sanitarios) para la disposición final de residuos sólidos (Orihuela, 2018). Asimismo, existe un total de 10 departamentos que están excluidos de contar con un relleno sanitario, donde se encuentran Arequipa, Piura y Puno, a pesar de que estos cuentan con el más alto índice poblacional, a excepción de Cajamarca, Cusco, Ica y La Libertad (Zevallos, 2019).

Otro de los problemas relacionados con la disposición final inadecuada de los residuos sólidos en el departamento de San Martín y en todo el país, es la generación de lixiviados, ya que generalmente se utilizan espacios a cielo abierto, generando impactos negativos al ambiente, los cuales son capaces de deteriorar y degradar el suelo, las fuentes naturales de aguas y la vegetación; es decir, los suelos contaminados por lixiviados pierden la capacidad de sostener los ecosistemas, provocando la pérdida de la biodiversidad; además de afectar la salud del ser humano (Droppelmann y Oettinger, 2009).

El distrito de Nueva Cajamarca actualmente presenta una generación alta de residuos sólidos municipales, en el 2017 alcanzó una generación Per Cápita (GPC) de 0,51 kg/día, produciendo un total de 26,29 toneladas/día, los cuales son depositados en un terreno alquilado, en el cual se desarrollan actividades de construcción de celdas, acumulación, cubierta y compactación de residuos sólidos; ya que, el distrito no cuenta con un relleno sanitario para la disposición final adecuada de estos residuos, originando la generación de lixiviado, los cuales son infiltrados en el suelo, por acción de diversos factores ambientales (Ordenanza Municipal N.º09-2018-A/MDNC). Los lixiviados son considerados como una fuente potencial para la contaminación de la capa freática y de los cuerpos naturales de agua superficial, los cuales son capaces de infiltrarse a través del suelo, provocando la alteración de los componentes del agua (Chávez, 2011).

Considerando la fragilidad de estos ecosistemas y la salud de las personas, la necesidad de proteger y llenar los vacíos en la información existente sobre el tratamiento de lixiviados provenientes de la descomposición de los residuos domésticos, se desarrolló la presente investigación, con el objetivo de determinar la efectividad del tratamiento de lixiviados del botadero Municipal del distrito de Nueva Cajamarca utilizando especies nativas, implementando un programa a nivel experimental que utilizó un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con las especies *Heliconia psittacorum* y *Eichhornia crassipes*.

El estudio de investigación se estructuró en seis capítulos importantes: El Capítulo I consistió en el Marco Teórico, en el que se enlistan los antecedentes a nivel internacional y nacional, además de las bases teóricas. El Capítulo II abordó los materiales y métodos utilizados en el estudio, es decir los detalles sobre la metodología y diseño del documento, lugar, fecha, tratamientos y variables que implicó el estudio; en el Capítulo III se expusieron los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación. Finalmente, en los Capítulos IV, V y VI, se registraron las discusiones, conclusiones y recomendaciones referentes al estudio.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la eficiencia de remoción de lixiviados del botadero municipal del distrito de Nueva Cajamarca empleando especies *Heliconia psittacorum* (Sessé y Moc.) y *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, provincia de Rioja

Objetivos específicos

- Caracterizar la composición fisicoquímica y microbiológica de lixiviados del botadero municipal de Nueva Cajamarca.
- Implementar a nivel de escala piloto el sistema de tratamiento, mediante humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal con las especies *Heliconia psittacorum* y *Eichhornia crassipes*.
- Comparar la eficiencia de remoción de lixiviados por las especies *Heliconia psittacorum* y *Eichhornia crassipes*.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Internacionales

Navarrete *et al.* (2024) realizaron un estudio sobre la “Evaluación de especies vegetales *Eichhornia crassipes*; *Lemna minor* L para el tratamiento de lixiviado de relleno sanitario del Cantón Santa Lucía-Guayas”. El objetivo fue evaluar la aplicación de dos especies vegetales (*Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* L) en el tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. El estudio fue experimental con enfoque mixto para el cual abordaron seis tratamientos (T0): testigo 100 % lixiviado, (T1): *Eichhornia crassipes* + 20 % lixiviado, (T2): *Lemna minor* + 20 % de lixiviado, (T3): *Eichhornia crassipes* + 30 % lixiviado, (T4): *Lemna minor* + 30 % de lixiviado, (T5): *Eichhornia crassipes* + 35 % lixiviado y (T6): *Lemna minor* + 35 % de lixiviado, de cada tratamiento fueron realizados cinco repeticiones bajo un diseño completos al azar. Las variables a evaluar fueron el pH, sólidos suspendidos totales, coliformes totales, color, turbidez; mediante análisis de laboratorio de lixiviados y el porcentaje de remoción de contaminantes. El procedimiento aplicado por los investigadores para el procedimiento experimental fue mediante la implementación de contenedores de PET con muestras de lixiviado recolectados del relleno sanitario en proporciones de 20, 30 y 35 % de concentración que fueron diluidas en 100 mL de agua potable, en cuyos recipientes fue incorporado las plantas experimentales. Los lixiviados fueron muestreados antes de ser aplicado en los contenedores y posteriormente lo realizaron un muestreo por tratamiento cada semana durante 30 días. Los resultados de la muestra de inicio presentaron los siguientes valores: pH 6,75, sólidos totales de 6 064 mg/L, coliformes totales presentaron 215 NPM/mL, turbidez de 137 NTU y la coloración de lixiviado fue de 385 unidades de color platino-cobalto. El ANOVA tuvo diferencias significativas para los tratamientos (p valor < 0,05) y los supuestos de normalidad y homogeneidad, el p- valor fue > 0,05. Con respecto al pH el T1 a base jacinto de agua obtuvo el valor más ideal de 7,5; con respecto a los sólidos totales el tratamiento T2 obtuvo el resultado de 522 mg/L, mientras

que, en el parámetro de coliformes totales, los tratamientos T4 y T6 alcanzaron la mayor remoción con valores de 2,2 y 2 NPM/mL. En el parámetro de coloración, el tratamiento T1 alcanzó una mayor coloración de 214,6 unidades de color platino-cobalto. Los investigadores concluyeron que el uso de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* L son excelentes alternativas convencionales para remover contaminantes de los lixiviados en efluentes, llegando a remover hasta el 99,0 % de coliformes totales con *Lemna minor* L en concentraciones de 30 y 35 % (T4 y T6) de lixiviado diluido en 100 mL de agua potable.

Rodríguez y Vargas (2019) en el estudio “Evaluación del potencial de humedales artificiales piloto, implementados con la especie *Heliconia psittacorum*, en la remediación de aguas residuales domésticas de bajo caudal para zonas rurales del Piedemonte Llanero”, Colombia; tuvieron como objetivo evaluar la capacidad de remediación de los humedales de flujo subsuperficial horizontal a escala piloto, plantados con la especie *Heliconia psittacorum*, en aguas residuales domésticas, bajo distintos tipos de retención y cargas orgánicas iniciales. La investigación fue de tipo experimental, con un diseño factorial mixto 3 x 2, donde utilizó seis tratamientos, más un control. Los tratamientos estuvieron constituidos de la siguiente manera: (T1): Humedal artificial + plantas + retención de agua residual por dos días + DBO de 170 mg/L, (T2): Humedal artificial + plantas + retención de agua residual por cinco días + DBO de 170 mg/L, (T3): Humedal artificial + plantas + retención de agua residual por ocho días + DBO de 170 mg/L, (T4): Humedal artificial + plantas + retención de agua residual por dos días + DBO de 340 mg/L, (T5): Humedal artificial + plantas + retención de agua residual por cinco días + DBO de 340 mg/L, (T6): Humedal artificial + plantas + retención de agua residual por ocho días + DBO de 340 mg/L, (T7): Humedal artificial sin plantas + agua residual. De cada tratamiento se efectuaron tres repeticiones totalizando 21 unidades experimentales, cuyos procedimientos se efectuaron en dos etapas. La metodología consistió en la construcción de cuatro humedales artificiales: Humedal blanco (HB)= grava de $\frac{1}{2}$, gravilla de $\frac{3}{4}$, y arena negra; y a los otros tres, adicionaron la especie *Heliconia psittacorum* con sus respectivas réplicas (HR1, HR2 y HR3). En total trasplantaron seis rizomas en cada humedal; finalmente, adicionaron el agua residual en distintas cantidades (HB= 36 L; HR1, HR2, HR3= 40 L). Los datos fueron procesados a través de un ANOVA, mediante el programa SPSS Statistics y Microsoft Excel. Los resultados determinaron diferencias significativas entre tratamientos (p- valor < 0,05), donde la remoción promedio de DBO fue de 86,5 %, DQO 76,10 % y SST 76 %. De igual forma, el TRH con excelentes

resultados fue de 170 mg/L en el lapso de dos días (T1) y 340 mg/L en el tiempo de ocho días (T7); asimismo, la eficiencia de remoción de DBO alcanzó el 14 %. El estudio concluyó que los humedales artificiales con *Heliconia psittacorum*, tuvieron gran potencialidad para reducir la contaminación en ARD, debido a que la media de remoción en los tres parámetros, conseguida de los 6 tratamientos utilizados fue de 80 %.

Chiriboga (2016) en el estudio “Evaluación del potencial fitorremediador de dos especies vegetales (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty) y (*Eleocharis elegans* (kunth) Roem. y Schult)”, en la piscina de lixiviados del botadero controlado del cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe”, Ecuador; cuyo objetivo fue determinar la fitorremediación de dos especies vegetales, en la cuenca de lixiviado de un relleno sanitario controlado. La investigación fue experimental, con un enfoque cuantitativo y alcance correlacional, donde establecieron dos tratamientos, más un testigo. La metodología consistió en elaborar cuatro piscinas experimentales de 52 x 115 x 62 cm para los tratamientos T1 y T2, y para el testigo la piscina fue de 95 x 109 x 62 cm. Seguidamente, agregaron una capa de piedras (10 a 12 cm), grava de 3 a 5 cm y tierra arcillo-limosa de 10 a 12 cm; posteriormente, realizaron la siembra de 10 especies *C. zizanioides* y *E. elegans* por cada tratamiento. Finalmente, permitieron el acceso del lixiviado a las piscinas (0,423 L/s/día), para ser evaluados durante cuatro meses. El análisis de los datos fue mediante el modelo estadístico chi-cuadrado con un nivel de significancia de 0,05, los valores identificados mediante los resultados de laboratorio fueron tabulados y analizados en el programa Excel. Los resultados estadísticos determinaron que los tratamientos por fitorremediación con el uso de plantas *C. zizanioides* y *E. elegans* favorecen la descontaminación de los lixiviados de un botadero, asimismo, los resultados determinaron que la especie *C. zizanioides* presentó una efectividad fitorremediadora, disminuyendo la concentración de contaminantes en los parámetros: DQO de 128 a 88 mg/L; SST de 130 a 28 mg/L, y metales como el Hierro de 10 a 3,3 mg/L. El autor concluyó que el relleno sanitario sí contó con la presencia de contaminantes, las cuales superaron los límites máximos permisibles establecidos por la Autoridad Ambiental Nacional; asimismo, la especie más eficiente para la fitorremediación fue el *C. zizanioides*.

Madera *et al.* (2014) en el estudio “Efectos de la concentración de metales pesados en respuesta fisiológica y capacidad de acumulación de metales de tres especies vegetales

tropicales empleadas en la fitorremediación de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios”, Colombia; tuvieron el objetivo de determinar la consecuencia de los metales pesados Hg, Cd Cr y Pb sobre el resultado fisiológico, su capacidad de acumulación en tres plantas tropicales sembradas en humedales subterráneos. La investigación fue experimental con enfoque cuantitativo, con un diseño factorial de dos factores 3x2: a) tres especies de planta y b): dos concentraciones de metales pesados en lixiviados; con 16 reactores (humedales) operados en dos bloques. La metodología consistió en elaborar 16 humedales (0,60 x 0,30 x 0,50 m), con una lámina de agua de 0,40 m; asimismo, la alimentación de caudal fue de 0,010 m³. d⁻¹. Las especies utilizadas fueron *Gynerium sagittatum* (Gs), *Colocasia esculenta* (Ce), y *Heliconia psittacorum* (He) y sembradas por esquejes de tres individuos por reactor; seguidamente, fueron alimentados con lixiviado hasta un periodo de 60 días. Finalmente, las plantas fueron cosechadas, lavadas y secadas a 80 °C por 24 horas. El análisis de los datos fue realizado mediante la prueba de ANOVA al 0,05 significancia, las medias estadísticas fueron analizadas mediante la prueba de Tukey, a través del paquete estadístico SPSS versión 19 (2010). Los resultados obtenidos mostraron que, las especies expuestas a múltiples concentraciones de metales pesados, la producción de clorofila fue diferente según la especie vegetal y el tiempo, y para este parámetro observaron diferencias significativas entre plantas según especie y tiempo ($p < 0 > 0,05$). Los autores concluyeron que las plantas en estudio no lograron concentraciones de metales en sus tejidos para clasificarlas como hiperacumuladoras, sin embargo, tuvieron un excelente comportamiento como acumuladoras de metales pesados.

Carrión y Cuenca (2009) en la investigación “Bioensayo con macrófitas acuáticas para el tratamiento de lixiviados originarios del relleno sanitario de Pichacay”, Cuenca, Ecuador; tuvieron como objetivo determinar la capacidad de depuración de tres especies para el tratamiento de lixiviados procedentes de un relleno sanitario de Pichacay. La investigación fue experimental, donde definieron cuatro tratamientos, más un testigo, con tres repeticiones. La metodología consistió en utilizar tres especies de plantas: “jacinto de agua” *Eichhornia crassipes* L., “berro” *Nasturtium officinale* L. y “elodea” *Elodea densa*; cada especie fue sometido a diferentes concentraciones de lixiviado, según tratamiento: Testigo (0 %) = 0 L; T1 (0,5 %) = 0,6 L + 60 litros de agua; T2 (2 %) = 1,2 L + 60 litros de agua; T3(5 %) = 3 L + 60 litros de agua; T4(10 %) = 6 L + 60 litros de agua, para el cual abordaron un diseño completo al azar (DCA). Finalmente, las muestras fueron evaluadas a los 8, 15 y 30 días. El

análisis estadístico de los datos fue realizado a través del ANOVA al 5,0 % y para las medias estadísticas usaron la prueba de Scheffe al 5,0 %. Los resultados en cuanto a la DBO₅, determinaron una eficiencia del “berro” de 19,8; 19,7 y 11,60 %; el “jacinto de agua” alcanzó los 33,1; 9,9 y 2,80 %, y el “elodea” obtuvo 27,1 y 7,61 %. Para el parámetro N-total, el “berro” alcanzó una eficiencia de 17, 26,2 y 25,60 %, el “jacinto de agua” alcanzó 36,1; 19,8 y 9,20 % y el “elodea” obtuvo 7,9; 32,80 y 19,20 %; para el P-total, el “berro” alcanzó 73,6; 93,1 y 106,50 %; el “jacinto de agua” obtuvo 50,7; 65,9 y 3,8 % y el “elodea” alcanzó 64,5; 60,1 y 52,2 % de beneficio. El contenido de N-total fue removido por las plantas, a diferencia del P. El pH fue neutro, con excepción de “elodea”, el cual alcalinizó el agua. Los autores concluyeron que el uso de plantas macrófitas mejoraron las características de los lixiviados en dilución debido presentaron diferencias significativas (p- valor < 0,05); el “berro” presentó una mejor estabilización de sales (CE), mientras que el DBO₅ fue altamente removido por el “jacinto de agua”. El nitrógeno y fósforo obtuvieron resultados estadísticamente iguales.

Nacionales

Borda *et al.* (2023) realizaron un estudio sobre “Evaluación de macrófitas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en la neutralización de pH y reducción de sólidos en suspensión de aguas residuales de Pichanaqui, Junín (Perú)”. Cuyo objetivo fue determinar la eficacia del *P. stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en la neutralización y remoción de pH, y Sólidos Suspendidos Totales de aguas residuales caseras de la planta de tratamiento del distrito de Pichanaqui región Junín. La investigación fue experimental, para el cual abordaron tres tratamientos constituidos de la siguiente forma: (T0) tratamiento control, (T1): 20 plantas de *P. stratiotes* + 20 litros de agua residual, (T3): plantas de *Eichhornia crassipes* + 20 litros de agua residual con tres repeticiones cada tratamiento. El proceso experimental contempló la construcción de un biofiltro de 60 litros con materiales de PET el que fue acondicionado con tuberías, válvulas y llaves de control, además, contiguo al biofiltro fueron construidos los tres biorreactores que fueron los tratamientos con sus respectivas repeticiones repartidos mediante un diseño completo al azar (DCA). Las variables de evaluación fueron el potencial de hidrógeno (pH) y los sólidos suspendidos totales (SST). El muestreo fue realizado antes y después del tratamiento para el cual siguieron las pautas que indica el protocolo de monitoreo de la calidad de efluentes de aguas residuales domésticas en base al Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Las muestras fueron recogidas cada 15 días por un período

de dos meses. Los efectos de los tratamientos experimentales fueron analizados estadísticamente mediante el ANOVA al 0,05 mediante el uso del programa Excel versión 2017, donde los resultados fueron significativamente diferentes (p -valor $< 0,05$). Asimismo, los análisis de entrada en el parámetro SST fueron de 400 mg/L y el pH 8,82 y a los 60 días en el tratamiento T1 consiguió una remoción de 75,00 % (100 mg/L) y el pH fue de 11,2 % (7,83). Mientras que, en el tratamiento T2 alcanzó una remoción de 72,5 % (110 mg/L) y el pH hasta en 7,87 % (7,87). Concluyendo que el tratamiento a base plantas de *P. stratiotes* alcanzó la mayor remoción y estabilización del pH en comparación que *Eichhornia crassipes*.

Madueño y Orellana (2021) en el estudio “Efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quitense* y *Elodea densa* en la remoción de contaminantes del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción, 2021”, Perú; cuyo objetivo fue evaluar el efecto fitorremediador de las especies *M. quitense* y *E. densa* en la concentración de contaminantes del lixiviado del relleno sanitario CEPASC. La investigación presentó un diseño experimental puro, de tipo aplicada, con un nivel explicativo; donde establecieron tres tratamientos más tratamiento control, con tres repeticiones: (T1): Lixiviado diluido al 2 % + *M. quitense* y *E. densa*, (T2): Lixiviado diluido al 3,3 % + *M. quitense* y *E. densa*, (T3): Lixiviado diluido al 5 % + *M. quitense* y *E. densa* y (T control): Lixiviado + *M. quitense* y *E. densa*. Cada tratamiento tuvo tres repeticiones totalizando 12 unidades experimentales. La metodología consistió en recoger una muestra de 4,5 L del contaminante (lixiviado), fueron diluidos al 2; 3,3 y 5 %. Seguidamente, obtuvieron 10 macrófitas (5 de *M. quitense* y 5 *E. densa*) y fueron sembradas en cada unidad experimental. Finalmente, realizaron monitorios a los 8, 15 y 30 días, para conocer la capacidad de remoción de DQO, DBO₅ y metales pesados (Pb, Cu y Zn). El análisis estadístico de los datos estuvo en relación a los parámetros evaluados individualmente por tratamiento el cual utilizaron la prueba estadística T de Student al nivel de significancia de 0,05; asimismo, utilizaron los supuestos de normalidad de Shapiro-Wilk a fin de contrastar si los resultados siguieron una distribución normal (p -valor $> 0,05$). Los valores que por tratamiento que no siguieron una distribución normal aplicaron la prueba no paramétrica de Wilcoxon. Los resultados determinaron que ambas especies presentaron una tendencia a depurar al DQO a los 30 días: solución al 2 %= 221,74 mg/L; 3,3 %= 202,15 mg/L y 5 %= 173,33 mg/L. Para la DBO₅ la solución diluida al 2 %= 169,4 mg/L; 3,3 %= 133,8 mg/L y 5 %= 106,35 mg/L; finalmente, en cuanto

al pH, los resultados mostraron una tendencia a estabilizar el potencial de hidrógeno en todas las diluciones (2 % = 7,40; 3,3 % = 7,42 y 5% = 8,18). Los autores concluyeron que el resultado de *M. quítense* y *E. densa* resultaron significativas en la acumulación del DQO y DBO5 (p-valor < 0,05); mientras que, para el pH y metales pesados no evidenciaron diferencias significativas en los resultados.

Segura y Rocha (2019) en el estudio “Eficiencia de remoción de contaminantes de lixiviados generado en un relleno sanitario, mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal a través de la especie macrófita emergente “carrizo” *Phragmites australis*”, Lima, Perú; su objetivo fue determinar la eficiencia de remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos de lixiviados diluido con aguas residuales, mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal. La investigación fue experimental con un enfoque cuantitativo y cualitativo. La metodología consistió en diseñar un humedal (1,96 x 0,98 x 0,60 m con arena gruesa de 2 mm, grava fina de 20 mm y grava de media de 40 mm), a partir del aporte (0,013 m³/día) y la DBO₅ (1,85 g/m³), el cual utilizaron un cilindro para acumular el contaminante (lixiviado) en concentraciones de 1 y 3 % en 100 litros de agua excedente; asimismo, estuvo conectado por un biodigestor y también hicieron humedales artificiales a modo de sistema primario y secundario; finalmente, muestrearon los parámetros a los 5, 10 y 15 días. Los tratamientos fueron tres: (T0): 100 % lixiviado de agua residual, (T1): Lixiviado en concentración al 1 %/100 L de agua + *P. australis* y (T2): Lixiviados en concentración de 3 %/100 L de agua + *P. australis*. Las variables de monitoreo fueron el pH, temperatura, CE, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, DQO, DBO₅, nitrógeno total, fósforo total y coliformes totales. El análisis estadístico fue mediante el ANOVA al 5,0 % y a los parámetros según el tratamiento fue realizado la prueba de normalidad mediante el estadístico de Shapiro Wilk (p valor > 0,05). Para el cual utilizaron el Software Statistica ver. 13.4 y programa R. Los resultados mostraron diferencias en los parámetros, antes y después del tratamiento (el p valor < 0,05). Para DBO₅, la eficiencia de eliminación fue de 79,5; 9,57; 85,99 y 99,90 % para coliformes termotolerantes a los 5, 10 y 15 días, a una concentración del 1 %; asimismo, lograron 86, 81 y 39 % para DBO₅; 99; 99 y 85 % para coliformes termotolerantes en 5, 10, 15 días, a una concentración del 3 %. Los autores concluyeron que los contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos de lixiviados diluidos con aguas residuales en biodigestor y humedales artificiales, demostró ser una opción viable y ambientalmente sostenible.

Gonzales (2018) en el estudio “Evaluación del riesgo ambiental que genera la planta de tratamiento de residuos sólidos de la ciudad de Cajamarca debido al manejo de los lixiviados”; tuvo como objetivo evaluar el riesgo ambiental derivado del tratamiento de residuos sólidos en la ciudad de Cajamarca en el tratamiento de lixiviados. La investigación presento un diseño aplicado, descriptiva, no experimental, con observación y muestreo directo *in situ*. La metodología consistió en determinar cinco puntos de muestreo en las lagunas de lixiviación de la planta de tratamiento de residuos sólidos (PTRS), para su recolección del lixiviado y evaluar la carga tóxica, por un tiempo de 4 meses (2 periodos de invierno y 2 de verano), en el que se recolecto cinco modelos por cada periodo. Seguidamente, las pasaron por un análisis físico, químico y biológico. El análisis estadístico fue descriptivo con base a los resultados de laboratorio de donde determinaron las media, mediana, moda y desviación estándar. También con base a los resultados de laboratorio fue definido el nivel de riesgo ambiental de los lixiviados, teniendo en cuenta los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP): Nivel 1: Leve, Nivel 2: moderado y Nivel 3: significativo. Los datos fueron analizados mediante el paquete estadístico SPSS, versión 24. Los resultados determinaron que el pH ($< 7,82 - 8,32 >$), cadmio (0,0020 mg/L), mercurio (0,003 mg/L), plomo (0,031 mg/L), y coliformes termotolerantes (9,200 NMP/100 mL) presentaron un nivel de riesgo leve; mientras que, los sólidos suspendidos totales (300 mg/L), arsénico total (0,188 mg/L) y zinc total (0,522 mg/L), tuvieron un nivel moderado; finalmente, la DQO (286 mg O₂/l), cobre total (2,432 mg/l), cromo VI (0,733 mg/L), hierro total (30,3 mg/L), aceites y grasas (751,7 mg/L), y la DBO (5 622,8 mg OD/L) presentaron un nivel significativo; por tanto, la valoración del nivel de riesgo ambiental, fue alto. El autor concluyó que la carga tóxica del lixiviado de la poza 2 de la PTRS, grado de afectación a la salud humana, animal, y ecosistemas, fue significativo.

Torres *et al.* (2017) la investigación “Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante Humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis*”, Perú; cuyo objetivo fue demostrar la eficacia de *C. papyrus* y *P. australis* en aguas residuales con humedales artificiales a nivel piloto de flujo libre superficial en el agua para regadío de Carapongo-Lurigancho. La investigación fue no experimental, con un enfoque cuantitativo, donde realizaron la evaluación de parámetros de pH, temperatura, turbidez, coliformes totales y coliformes

termotolerantes y demanda de oxígeno (DQO y DBO). La metodología consistió en tomar dos muestras de agua del paradero “Tres Tiendas”, en botellas de 650 mL para la determinación de los análisis correspondientes, estas constituyeron las muestras de ingreso inicial. A continuación, diseñaron un humedal de 0,60 x 0,40 x 0,30 m; agregaron diferentes sustratos (arena gruesa de 5 cm, grava y tierra de 5 cm de espesor); seguidamente sembraron siete plantas de carrizo y 10 plantas de papiro *C. papyrus* y *P. australis*; finalmente, permitieron el ingreso del agua residual en el humedal. Los resultados fueron contrastados con el estándar de calidad del agua de la categoría 3: para riego vegetales y bebidas de animales: DBO 15 ml/L, coliformes totales de 5 000 NMP/100 mL, coliformes termotolerantes 1 000 NMP/100 mL, el pH debe oscilar entre 6,5 a 8,5. Los resultados obtenidos de los parámetros de ingreso fueron: DBO 270 ml/L, coliformes totales y termotolerantes de 160 000 000 NMP/100 mL, la turbidez fue de 130 UNT, el pH 7,8; luego de pasar el lixiviado por el humedal artificial de flujo libre superficial, los resultados indicaron un DBO de 43 ml/L, coliformes totales y termotolerantes de 17 600 000 NMP/100 mL, 7,5 de pH, temperatura 21 ° C y 30 UNT de turbidez. Los resultados lograron un 80 % de remoción; en cuanto a la audacia de eficiencia de las especies, el *C. Papyrus* presentó mejores remociones de DBO y turbidez con 77 % mayor a *P. australis*; asimismo, en la remoción de coliformes totales y coliformes termotolerantes, la diferencia fue de un 30 % mayor. Los autores concluyeron que la remoción de los parámetros microbiológicos y DBO fue efectiva, reduciendo en un 80 a 89 % en todos los parámetros evaluados; sin embargo, los parámetros no están dentro de los ECA para el uso de riego de vegetales.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Los lixiviados

Los lixiviados están formados por el líquido residual generado a causa de la descomposición biológica o biodegradable de los residuos sólidos, bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en desintegración, según el MINAM (2013). Asimismo, se considera lixiviado al líquido que se escurre a través de los residuos sólidos resultantes de la descomposición de materiales orgánicos. La composición química depende de factores como la climatología, edad del relleno, naturaleza química o física y la geología del terreno (Droppelmann y Oettinger, 2009).

1.2.2. Características de los lixiviados

Las propiedades suelen estar representadas por parámetros básicos: demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO₅), relación DBO₅/DQO, pH, conductividad, sólidos totales (TS), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total y metales pesados (Chávez, 2011). Las características del lixiviado varían de acuerdo a la edad (Tabla 1).

Tabla 1

Características de los lixiviados según la edad

Características	Joven	Intermedio	Maduro
Edad (año)	<5	5-10	>10
pH	6,5	6,5-7,5	>7,5
DQO (mg/L)	>10 000	4 000-10 000	<4 000
DBO ₅ /DQO	>0,3	0,1-0,3	<0,1
Compuestos orgánicos	80 % ácidos orgánicos	5-30 % ácidos orgánicos + compuestos húmicos y fúlvicos	Compuestos húmicos y fúlvicos
Metales pesados	Bajo-medio		Bajo
Biodegradabilidad	Importante	Medio	Bajo

Nota. Tomado de Chávez W. (2011). Tratamiento de lixiviado generados en el relleno sanitario de la Cd. De Chihuahua, Méx. p.19. <http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/858>

1.2.3. Humedales artificiales

Blanco (2014), establece que son ecosistemas construidos que copian a los humedales nativos, mediante el uso y manipulación de parámetros fisicoquímicos y biológicos naturales, para tratar aguas residuales; es decir, son sistemas diseñados para la remoción de patógenos y nutrientes contenidos en el agua. Estos están constituidos por material impermeabilizado, sustratos y vegetación. Asimismo, la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2015) determinó que los humedales artificiales son métodos superficiales de aguas poco profundas que aprovechan los recursos de la naturaleza para limpiar residuos de agua; es decir, brindan un mejor control hidráulico e incluso pueden aplicarse en terrenos con uso limitado; además, ofrecen una mayor variedad de opciones de control y flexibilidad de diseño para un rendimiento y una fiabilidad superiores.

1.2.4. Funcionamiento de los humedales artificiales

Los humedales artificiales son espacios que están constantemente saturados de agua superficial o subterráneos, todo esto con la finalidad de mantener lo suficientemente estables las condiciones necesarias para el funcionamiento fitorremediador de las plantas utilizadas (Lara, 1999).

1.2.5. Clasificación de los humedales artificiales

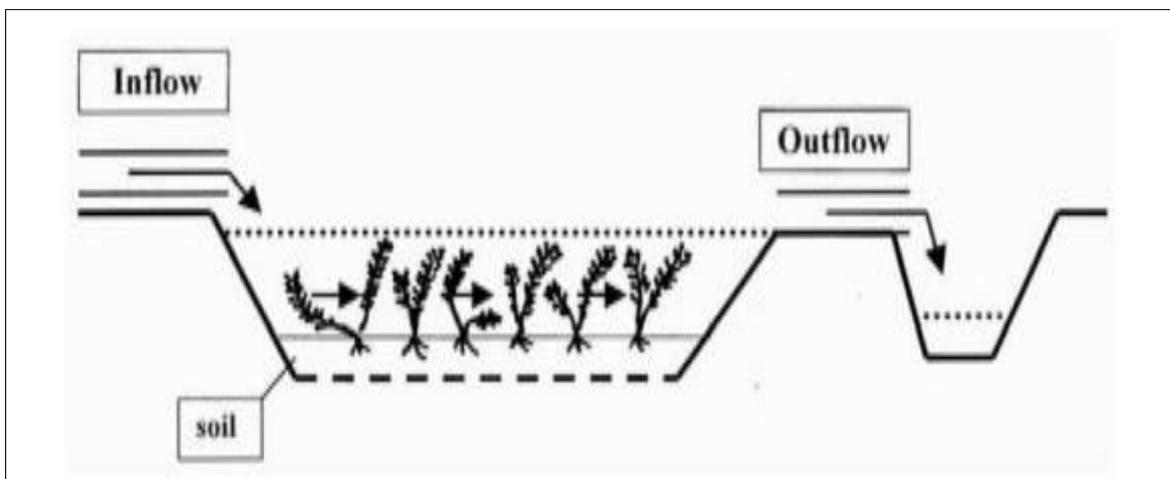
Los humedales artificiales, en relación al prototipo de macrófitas que utilizan en su acción, encontramos las siguientes: macrófitas fijadas en medio de soporte (enraizados) y macrófitas flotables (Delgadillo *et al.*, 2010). Según el modo de vida de estas plantas, los humedales se dividen en las siguientes categorías:

Plantas sumergidas

Estas plantas o también llamadas macrófitas son las que se reproducen bajo el agua o totalmente sumergidas (Figura 1). Sus órganos sementales pueden estar enfrascados, emerger o estar por arriba de la superficie del agua (Núñez *et al.*, 2004).

Figura 1

Representación esquemática del sistema con macrófitas sumergidas



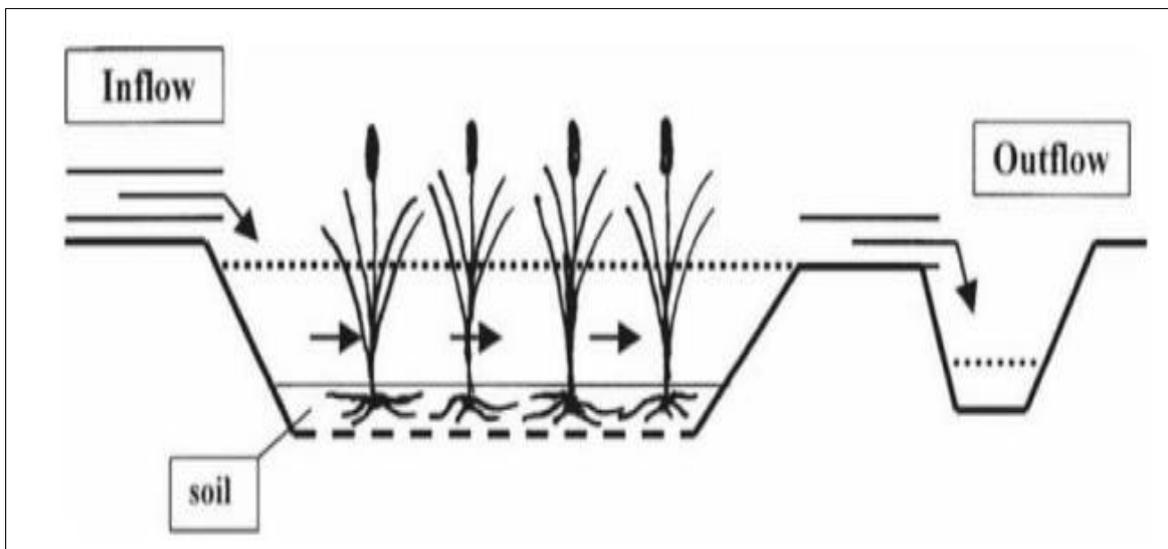
Nota. Tomado de Vymazal, J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. 380(1-3), 50. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.09.014>

Macrófitas con raíces flotantes

Funcionan como sistemas de tratamiento biológico intensivo de tierra en suelo permanente o temporalmente inundado; asimismo, suelen ser plantas perennes con órganos reproductores aéreos o flotantes (Figura 2). La *Eichhornia crassipes* y *Lemna* sp., son las especies de macrófitas que más se usan en este tipo de sistema (Delgadillo *et al.*, 2010).

Figura 2

Representación esquemática del sistema con macrófitas con raíces flotantes



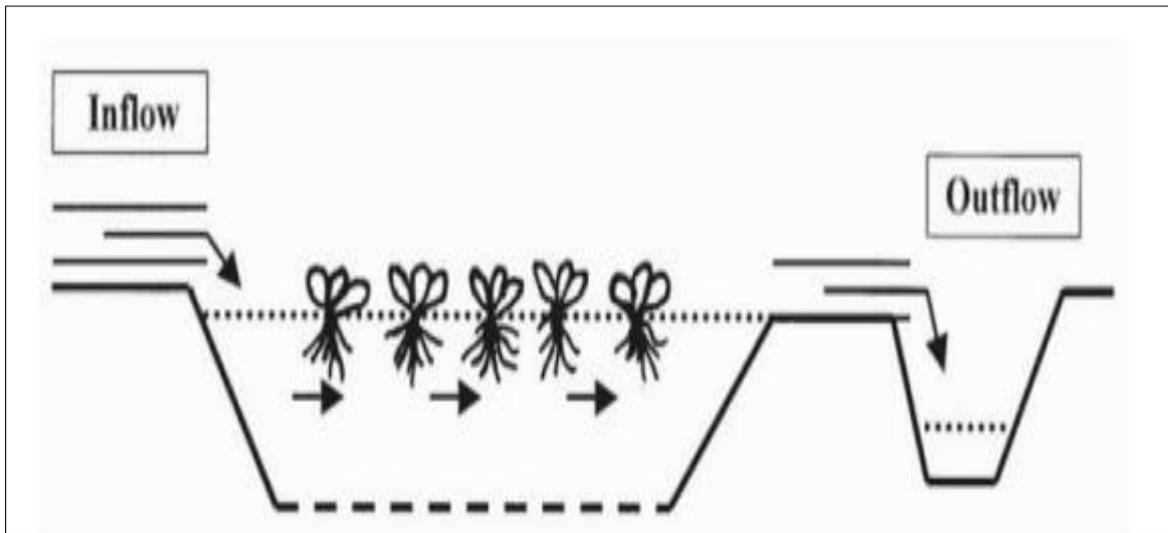
Nota. Tomado de Vymazal, J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. 380(1-3), 50. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.09.014>

Macrófitas de plantas flotantes

Son eficientes en remover sólidos suspendidos (SS), las hojas en la superficie menguan el efecto del viento, experimentando una posible resuspensión y movimiento del agua (Figura 3); asimismo, provee una superficie para los microorganismos adheridos, desarrollando así el potencial de purificación de la materia orgánica. Las especies más comunes son: *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. “Jacinto de agua” y *Lemna minor* L. “Lenteja de agua” (Núñez, 2019).

Figura 3

Representación esquemática del sistema con macrófitas flotantes



Nota. Tomado de Vymazal, J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. 380 (1-3), 50. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.09.014>

1.2.6. Tipo de humedales artificiales

Humedales artificiales de flujo superficial

Este humedal consiste en el transporte de fluido por medio de tallos de la flora; es decir, está en unión con el ambiente. Pueden implementarse en lugares turísticos y en centros de investigaciones; es por ello, que este sistema es favorecido debido a su cabida de alojar múltiples especies de anfibios, aves y peces (Delgadillo *et al.*, 2010).

Humedal artificial de flujo subsuperficial

La circulación del agua de este tipo de humedal artificial es de tipo subterráneo a través de un medio granular, con una profundidad aproximada de entre 0,5 y 0,6 m, donde las raíces y rizomas de las plantas entran en contacto con las aguas residuales y cumplen un papel fundamental en el proceso de descontaminación del agua (Delgadillo *et al.*, 2010).

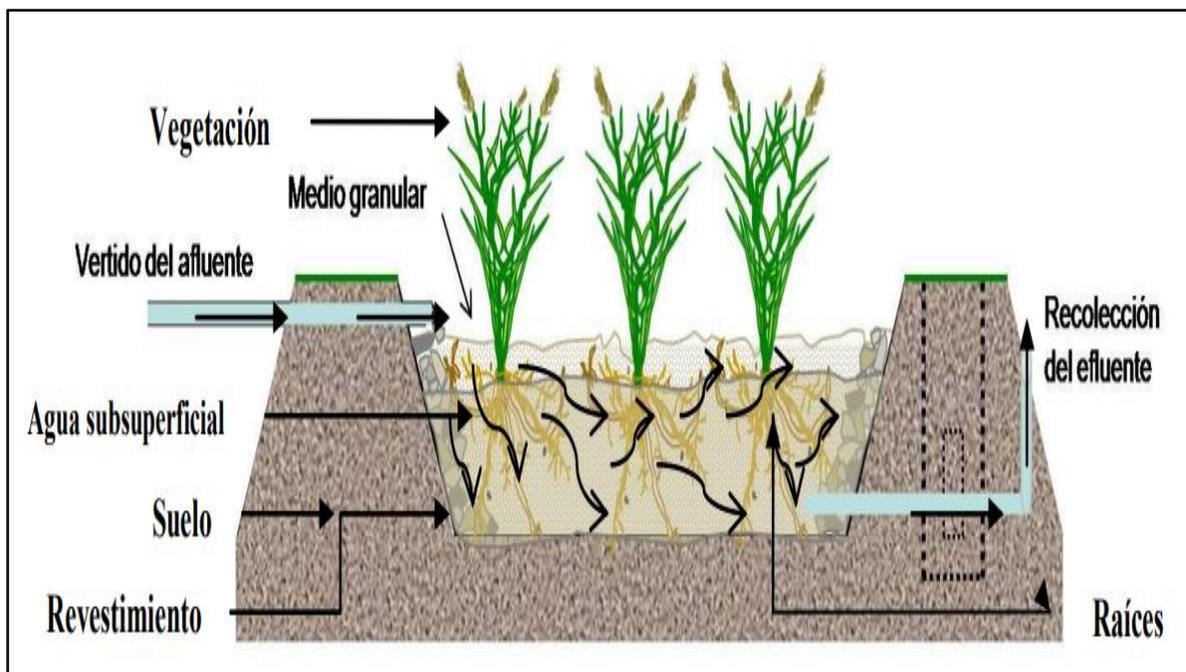
Humedal subsuperficial de flujo horizontal (HAFSSH)

Consiste en una cama rectangular plantado con especies fitorremediadoras, forrada con una cápsula impenetrable, donde los fluidos residuales se alimentan a través del ingreso y pasa espaciosamente por el medio granular al interior de la superficie de la cama, en una línea horizontal, llegando a conseguir la salida donde se acopia antes de la descarga (Vymazal, 2005) (Figura 4).

Según Vymazal (2005), los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal son una solución factible para la purificación de aguas residuales de fuentes de contaminación, fundamentalmente han revelado una importante efectividad en la eliminación de sólidos en suspensión y en la filtración de sedimentos. La tasa de remoción de DBO₅, DQO durante el proceso, es muy alta y constante; asimismo, la eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo) de las aguas residuales domésticas es baja y no supera el 50 %.

Figura 4

Funcionamiento y partes del HAFSSH



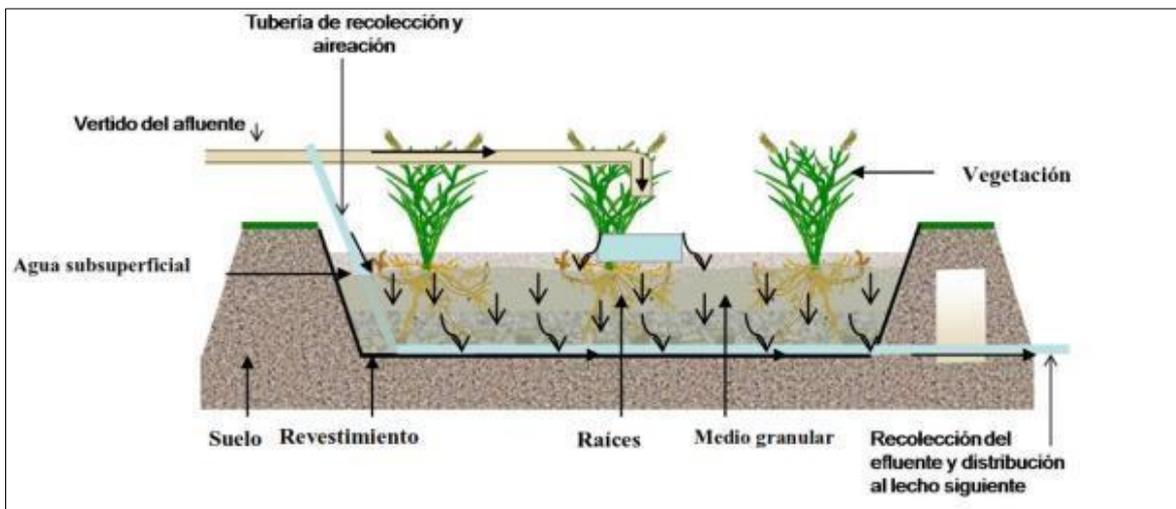
Nota. Tomado de Estrada, I. (2010). Monografía Sobre Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales. p.69. <https://hdl.handle.net/11059/1833>.

Humedal subsuperficial de flujo vertical (HAFSSV)

Es un lecho filtrante con plantas acuáticas, los cuales usan un sistema de medición mecánica para que las aguas residuales puedan distribuirse desde una superficie más alta. El agua destila verticalmente a través de la matriz del filtro hasta el fondo del estanque, en el que es recogida por el desagüe (Figura 5). La primordial disconformidad entre los humedales de flujo vertical y los de flujo horizontal no solo es la orientación del recorrido del flujo de agua, sino también las condiciones aeróbicas (Tilley *et al.*, 2018).

Figura 5

Funcionamiento y partes del HAFSSV



Nota. Tomado de Estrada, I. (2010). Monografía Sobre Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales. p.70. <https://hdl.handle.net/11059/1833>.

1.2.7. Componentes de un humedal artificial

Agua residual

Es el medio en movimiento de los desechos transportados por el agua y es donde tienen lugar la mayoría de los procesos de limpieza. La calidad del agua es muy importante para la gestión y conservación de las cuencas hidrográficas, influyen en muchos factores abióticos, incluida la acidificación del suelo, la disponibilidad de nutrientes y la salinidad. Estos factores abióticos determinan qué organismos crecerán en los humedales. Finalmente, para concluir el período, los mecanismos bióticos operan alterando la hidrología y las tipologías fisicoquímicas del humedal (García y Corzo, 2008).

Sustrato

Consiste en arena, grava, rocas, sedimentos y vegetación de desecho que se acumula, debido al crecimiento biológico. La propiedad más importante del medio es que debe ser lo suficientemente permeable para permitir el paso del agua. Esto exige a manejar suelos de tipo granular, máximamente grava con un diámetro alrededor de 5 mm y finos (García y Corzo, 2008).

El sustrato, los sedimentos y la vegetación remanente en los humedales construidos son importantes porque sostienen muchos organismos, en el cual la permeabilidad del sustrato afecta el flujo de agua en los humedales y donde acontecen muchas transformaciones químicas y biológicas (especialmente microbianas) que tienen lugar en la matriz, proporcionando un sitio de almacenamiento para muchos contaminantes. La materia orgánica da parte al intercambio de materia, sujeción de microorganismos y es fuente de carbono que a su vez es la fuente de energía para reacciones biológicas en el humedal (Delgadillo *et al.*, 2010).

El medio ambiente es garante de la extracción de algunos contaminantes a través de interacciones físicas y químicas. El tamaño de los medios granulares afecta directamente el flujo hidráulico del humedal y, por lo tanto, el flujo del agua tratada. Si la capa de gránulos está compuesta por una gran cantidad de arcilla y limo, la capacidad de adsorción es fuerte y el tamaño de los poros es pequeño, por lo que se puede lograr una mayor capacidad de absorción y un mejor efecto de filtración; asimismo, presenta una excelsa resistencia hidráulica y demanda velocidades de flujo bajas, restringiendo el caudal a tratar (Delgadillo *et al.*, 2010).

Al contrario, el lecho granular queda constituido por grava y arena, reduce la capacidad de absorción y el dominio filtrador del medio, pero acrecienta la conductividad hidráulica. El medio granular ayuda a la exclusión de contaminantes porque vale de soporte de desarrollo de las plantas y colonias de microorganismos que llevan a cabo la actividad biodegradadora (biopelículas) (Delgadillo *et al.*, 2010).

Vegetación

Principalmente dependen de raíces y rizomas encubiertos. Las plantas son fotoautótrofas, simboliza que recogen la energía del sol para convertir el carbono inorgánico en carbono orgánico; asimismo, poseen la capacidad de transferir oxígeno atmosférico mediante sus hojas y tallos al ambiente en donde se localizan sus raíces. Este oxígeno crea regiones aerobias donde los microorganismos manipulan el oxígeno disponible para originar reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación (Delgadillo *et al.*, 2010).

Microorganismos

Las redes alimentarias ecológicas de los humedales requieren bacterias diminutas o microorganismos para operar en todas sus complicadas evoluciones de energía. En los humedales diseñados, la red alimentaria se alimenta de aguas residuales de los afluentes que proporcionan la energía acumulada en moléculas orgánicas. Diversas evoluciones de nutrientes y carbono orgánico en los humedales trascienden del metabolismo microbiano y están claramente relacionadas con el crecimiento de estos, especialmente de bacterias, hongos y protozoos. Esta biomasa se encuentra creando una biopelícula alrededor de las partículas del lecho (García y Corzo, 2008).

La actividad microbiana es especialmente importante en la conversión de nitrógeno en distintas formas biológicamente útiles; por ejemplo, en desiguales etapas del ciclo del nitrógeno, hay otras formas de nitrógeno aprovechables para el metabolismo de las plantas y se puede liberar o consumir oxígeno. Asimismo, la absorción de fósforo por las plantas igualmente depende en parte de la actividad de los microbios, convierten formas insolubles de fósforo en formas solubles disponibles. Los microorganismos además procesan compuestos orgánicos (carbono) y redimen dióxido de carbono (CO₂) en la zona aeróbica del humedal creado y varios gases (dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y metano) en la zona anaeróbica. Las plantas, residuos vegetales y sedimentos suministran superficies sólidas donde la actividad microbiana puede ser concentrada (García y Corzo, 2008).

La actividad microbiana modifica las estaciones en las regiones frías; sin embargo, la diferencia de rendimiento en climas cálidos frente a fríos es pequeño en humedales artificiales a gran escala, en experimentos inspeccionados; esto debido, porque de la multiplicidad de transformaciones físicas, químicas y biológicas tienen lugar paralelamente en un área más grande (García y Corzo, 2008).

1.2.8. Parámetros relacionados para el tratamiento de humedales

Los parámetros que se consideraron en el presente estudio de investigación fueron según el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAN (Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR).

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

Considera el aumento de oxígeno requerido por los microorganismos para alterar la materia orgánica, fundamentalmente bacterias, hongos y plancton. La condición apropiada para la presencia de DBO₅ es de 7-10 mgO₂/L (Londoño y Marín, 2009).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Muestra la cuantía de oxígeno requerido para descomponer la materia orgánica en una muestra de agua, a una temperatura y tiempo determinado. Es una medida de cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica presente en aguas residuales, que se requiere para descomponer dicha materia sin intervención de los microorganismos; es decir, sin importar que sea o no biológicamente asimilable (Londoño y Marín, 2009).

Coliformes totales

Son bacterias aerobias y anaerobias facultativas no esporulados. La capacidad de reproducción de estos bacilos, fuera de los intestinos de los animales homeotérmicos (de sangre caliente), es favorecida por las circunstancias adecuadas de temperatura, materia orgánica, pH, y humedad. Además, se pueden reproducir en las biopelículas que se forman en las tuberías de distribución de agua potable (Delgadillo *et al.*, 2010).

Fósforo (P)

Es un componente importante para el desarrollo de los microorganismos y fundamental para el crecimiento biológico; asimismo, es capaz de estimular un acrecentamiento en la propagación de algas de manera descomunal en aguas receptoras, provocando la disminución del nivel de oxígeno disuelto y subsiguientemente, peligrosos problemas de contaminación (Briceño y Catillo, 2009).

Nitrógeno amoniacal (N-amoniacal)

Es un compuesto característico presente en los lixiviados de vertederos urbanos, el cual debido a su alto nivel de toxicidad representa un peligro para varios organismos. Los vertidos de efluentes líquidos a las fuentes de agua (ríos, lagos y lagunas), hacen que estos sean ricos en nitrógeno y fósforo, primordiales son contribuyentes de la eutrofización y extenuación del O₂ (Sainz, 2005).

Sólidos suspendidos totales (SST)

Las acciones caseras, pecuarias, agrícolas e industriales, además de ciertos eventos naturales, son fuentes potenciales de aporte de sólidos en suspensión a las aguas residuales (Delgadillo *et al.*, 2010). Los mecanismos de remoción de SST suceden por vías de sedimentación y filtración, gracias a la alta densidad de vegetación; no obstante, para mantener los rendimientos de remoción es transcendental escoger bien el lecho filtrante, para evitar afectaciones y mantener la granulometría del medio filtrante entre 10 y 15 mm (Londoño y Marín, 2009).

Potencial de hidrógeno (pH)

Es una medida de acidez o alcalinidad de una solución. Es sustancial porque permite que la planta se desarrolle y se vea afectada por factores bióticos, abióticos y bioquímicos. El rango del valor óptimo es versátil; no obstante, el rango ideal fluctúa entre 5 y 9 (Delgadillo *et al.*, 2010).

Temperatura

Es significativo en el tratamiento de aguas residuales, ya que diversos procesos biológicos dependen de esta. La temperatura del agua restante es superior a la del agua de entrada, debido a la combinación de agua caliente de uso doméstico e industrial. El valor va a partir de 20 °C hasta un máximo de 40 °C (Londoño y Marín, 2009).

1.2.9. Especies fitorremediadoras

La fitorremediación es un conjunto de técnicas que *in situ* o *ex situ* que reducen la concentración de diversos contaminantes o compuestos, en procesos bioquímicos llevados a cabo por las plantas y sus microorganismos asociados. Asimismo, la fitorremediación maneja a las plantas para reducir, remover, transformar, mineralizar, volatilizar, degradar o estabilizar contaminantes (Delgadillo *et al.*, 2011). A continuación, se describe el origen y las características de las especies que se utilizó en la investigación:

Heliconia psittacorum

La *Heliconia psittacorum* consta de una amplia gama de especies, originaria del Amazonas, los cuales se pueden encontrar en bosques húmedos y neblinosos. Tienen flores que en realidad son deformaciones de las hojas y pueden alcanzar los cuatro pies de altura; sus hojas son largas, ligeramente puntiagudas y de color verde claro; además, posee brácteas rosadas que emergen del tallo y sus sépalos son de color crema con rayas negro verdoso (Figura 6). Estas plantas pueden desarrollarse en lugares donde hay mucha agua o en áreas húmedas; sin embargo, hay especies que toleran áreas secas estacionales. Algunas *Heliconia psittacorum* pueden ser vistas en las orillas de los ríos o al borde de los caminos o en áreas abiertas en la selva; además, especie vegetal que ostenta cierta tolerancia a una amplia gama de circunstancias ambientales, que la concibe una especie interesante para ser utilizada en tratamientos de aguas con presencia de Cr (Peñarrieta *et al.*, 2001). Las plantas retienen los nutrientes y son acumulados tanto en las raíces como en las hojas y para los metales pesados, estos son depositados en otros tejidos, siendo muy ventajosas en la biorremediación de aguas y suelos (Bragato *et al.*, 2006). Entre los mecanismos de evolución o eliminación de las plantas se tiene: la sedimentación, precipitación, la transformación

química, adsorción, cambio iónico, biodegradación, rompimiento, transformación de sustratos y aprovechamiento de nutrientes (Haberl *et al.*, 2003).

Figura 6

Fotografía de la especie *Heliconia psittacorum*



Nota. Tomado de Mazza G. (2007). *Heliconia psittacorum*. <http://www.photomazza.com/?Heliconia-psittacorum&lang=es>.

Eichhornia crassipes

La *Eichhornia crassipes* es oriunda de América de Sur, quienes se han distribuido por todo el mundo, ya que su aspecto ornamental causó su exportación a estanques y láminas acuáticas de jardines, en climas templados y cálidos. Se trata de especies de macrófitas flotantes con raíces sumergidas, con estructura fisiológica sin un tallo pronunciado, sino un rizoma erecto muy específico, del que emerge una roseta de hojas con una superficie esponjosa, que puede hincharse hasta formar un globo, similar a una vejiga llena de aire (Muramoto *et al.*, 1991).

Por otro lado, sus hojas lineales, sumergidas y las hojas erupcionadas entre ovaladas y redondas, presentan pequeñas protuberancias que facilitan su nado. En verano, produce espigas de color púrpura y flores de color azul pálido que se asemejan a los jacintos. Sus raíces son muy peculiares, porque son de color negro con las extremidades blancas cuando

son nuevas y negros violáceos cuando son mayores; además, en estas se despliegan los rizomas, los mismos que utiliza para su reproducción (Figura 7) (Muramoto *et al.*, 1991).

Las *Eichhornia crassipes* son utilizadas para descomponer los nutrientes orgánicos, inorgánicos y otros contaminantes que se encuentran en las aguas residuales. Dentro de los sistemas depurativos, las raíces de *Eichhornia crassipes* conservan filamentos que a través de ellas impregnan los elementos exactos para su metabolismo como agua y minerales. Su hábitat es el agua dulce como ríos, embalses, lagunas, lagos y pantanos altamente alcalinos; no obstante, en un medio neutro se muestran en forma más numerosa; estas plantas demandan de temperaturas altas como zonas tropicales y subtropicales (Murillo y Montañez, 2022).

Figura 7

Fotografía de la especie *Eichhornia crassipes*



Nota. Tomado de Fomento de Técnicas Extremeñas (2019). Estudio y seguimiento de la reproducción sexual de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms – Laub en el río Guadiana. p.23. https://www.chguadiana.es/sites/default/files/2020-03/Memoria_reproduccion_sexual_camalote_2019.pdf

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción de la investigación

El diseño de la investigación fue tipo experimental. Según Arias (2012), radica en someter a un objeto o grupo de individuos a explícitas condiciones, tratamiento (variable independiente) o estímulos, para observar las reacciones que consigan producirse (variable dependiente); asimismo, estuvo sujeto a la clase preexperimental de diseño de preprueba / posprueba, con un solo grupo. Para Hernández *et al.* (2014), se le aplica a un grupo una prueba antepuesta al estímulo o tratamiento experimental; inmediatamente, se le administra el tratamiento y finalmente la aplicación de la prueba posterior al estímulo.

Se aplicó la preprueba en el efluente del lixiviado del botadero municipal de Nueva Cajamarca, luego se administró el tratamiento, que consistió en incorporar las especies *Heliconia psittacorum* y *Eichhornia crassipes* a cada humedal artificial, para el proceso de exclusión de contaminantes; seguidamente, se aplicó una posprueba a los 30, 60 y 90 días con un tiempo de retención hidráulica de 12, 24 y 36 horas en los efluentes de cada humedal artificial.

Diagrama del diseño:

Ge = O1 X O2

Donde:

Ge = Grupo experimental

O1 = Medición preprueba

X = Variable Independiente

O2 = Medición posprueba

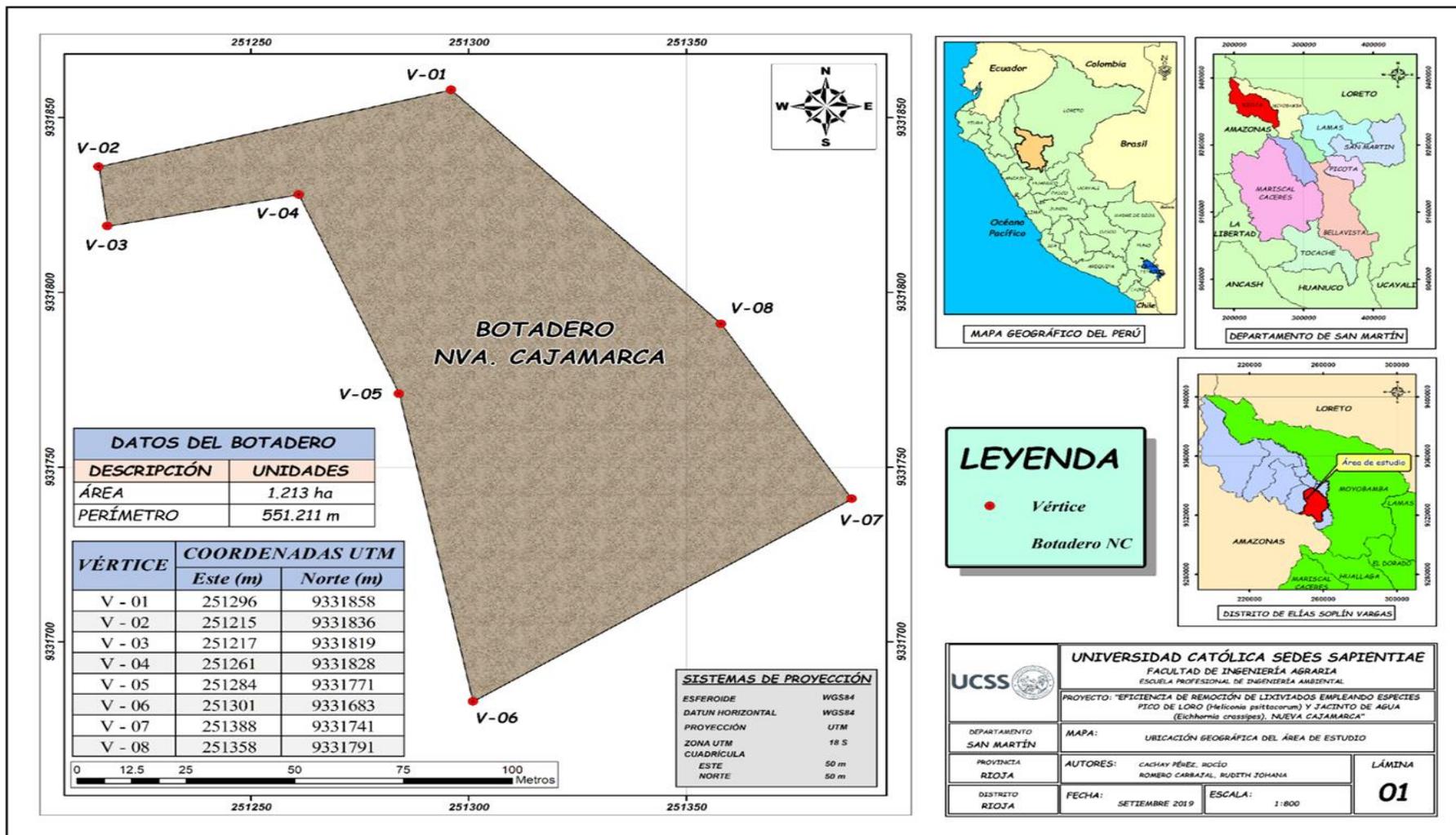
Asimismo, presentó un enfoque cuantitativo, porque fueron recolectaron las muestras de cada tratamiento y lo analizaron en un laboratorio acreditado denominado NSF Inassa ENVIROLAB, para obtener datos numéricos. Según Hernández *et al.* (2014), el enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para evidenciar la hipótesis con base en el cálculo numérico y el análisis estadístico, con el fin de instaurar pautas de comportamiento y experimentar teorías. Según Hernández *et al.* (2014) tuvo alcance explicativo porque están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su mismo nombre lo indica, su interés se concentra en explicar por qué sucede un fenómeno y en qué situaciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables

2.2. Lugar y fecha

El actual trabajo de investigación fue ejecutado en el botadero municipal del distrito de Nueva Cajamarca (1,213 ha), ubicado en la jurisdicción del caserío de Ramiro Prialé, provincia de Rioja, región San Martín, a una distancia aproximada de 10 km del centro de la Ciudad de Nueva Cajamarca, con las siguientes coordenadas UTM WGS84: Norte 9331675 y Este 251305 (Figura 8), cota de 835 m s.n.m. El tiempo de ejecución de la investigación fue de seis meses entre los meses de octubre del 2020 hasta abril del 2021.

Figura 8

Mapa de ubicación del área de investigación



2.3. Descripción del experimento

1.2.10. 2.3.1. Etapa preliminar

Coordinación con el área de Gerencia de Desarrollo Económico, Agropecuario y Ambiente – GDEAyA

En esta etapa fueron realizadas las coordinaciones con la municipalidad distrital de Nueva Cajamarca (MDNC), mediante una Solicitud formal (ver Apéndice 1) destinado al área de la Gerencia de Desarrollo Económico, Agropecuario y Ambiente – GDEAyA, para el ingreso, uso del espacio y desarrollo de la investigación. Ante la respuesta a la solicitud presentada, se procedió a dar inicio al desarrollo de las actividades planteadas en el proyecto de investigación; Así mismo, se realizó un muestreo del lixiviado directamente del efluente del botadero municipal para el análisis correspondiente con la finalidad de obtener datos numéricos para el diseño y construcción de los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal.

2.3.2. Etapa de campo

Acondicionamiento del área de estudio

Para el acondicionamiento del área de estudio, se siguió las recomendaciones dados por Coronel (2016), el cual se detallan a continuación:

- Limpieza (montículos) y nivelación del lugar, a 4 m de la descarga del efluente de lixiviados, para la instalación de los sistemas de tratamiento y evaluación de los parámetros considerados en la investigación.

- Acondicionamiento de los materiales para la construcción de la choza, con dimensiones de 8 m de largo por 6 m de ancho y 2,5 m de alto, donde se utilizaron materiales de la zona (palmeras, barrotes de madera y otros.), para la protección sobre las fuertes precipitaciones y el incremento de temperaturas (Figura 9).

- Finalmente, se realizó la protección alrededor de la choza con malla Rachell, con la finalidad de evitar que personas y animales ingresen y alteren las condiciones de los humedales artificiales.

Figura 9

Construcción del ambiente para el proceso experimental



Diseño y construcción de los humedales HAFSSH

El diseño y construcción de los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HAFSSH), fue realizado de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 1993), adaptado al siguiente procedimiento:

Se realizaron excavaciones en el suelo, con las siguientes dimensiones: 125 x 65 x 60 cm, y una pendiente de 1 %, esto con la finalidad de mantener la gradiente hidráulica necesaria, para que el sistema opere por gravedad (Figura 10). En total se construyeron nueve humedales artificiales a escala piloto (tres humedales para la especie *Heliconia psittacorum*, tres humedales artificiales para la especie *Eichhornia crassipes* y tres humedales solamente con sustratos inorgánicos).

Figura 10

Construcción de los HAFSSH para el experimento



El sistema estuvo conformado por un tanque de 200 L para el almacenamiento del lixiviado proveniente del botadero; en la parte inferior del tanque se realizó un orificio, conectado una tubería de ½ pulgada, con una llave de paso para controlar el flujo del lixiviado; asimismo, el tubo fue dividido en dos direcciones (al lado izquierdo los humedales con los sustratos inorgánicos, seguido por la *Heliconia psittacorum* y *Eichhornia crassipes* al lado derecho), donde cada unidad experimental presentó una llave de paso a la entrada y a la salida (Figura 11).

Figura 11

Diseño del sistema piloto



Selección del sustrato para los HAFSSH

Este procedimiento fue realizado siguiendo las especificaciones técnicas establecidas por Flores (2014). Una vez realizado las excavaciones para los humedales artificiales, estos fueron cubiertos con plástico negro para impermeabilizar y evitar que el lixiviado filtre al subsuelo; seguidamente, sobre el plástico se instalaron los sustratos por capas, que sirvieron de soporte para las especies (Figura 12).

Figura 12

Acondicionamiento y preparación de los humedales artificiales



Nota. (A) Ubicación de plástico. (B) Adición de la grava fina. (C) Adición de arena gruesa. (D) Adición de grava gruesa.

La ubicación del sustrato utilizado como medio de soporte para las plantas ubicadas en los humedales artificiales mantuvo un orden, diferenciado por tres capas. La primera capa estuvo conformada por 15 cm de grava fina de 20 mm; seguidamente, la segunda capa consistió en 15 cm de arena gruesa de 2 mm; finalmente, se colocó una tercera capa de 10 cm de grava gruesa de 40 mm (Tabla 2).

Tabla 2

Sustrato utilizado en los humedales artificiales

Ítem	Tipos de sustratos para el HAFSSH	Unidad	Capas	Cantidad
1	Grava fina (20 mm)	m ³	15 cm	1
2	Arena gruesa (2 mm)	m ³	15 cm	1
3	Grava gruesa (40 mm)	m ³	10 cm	1

Selección y siembra de las especies fitorremediadoras

La selección y recolección de las especies fitorremediadoras utilizadas en la investigación, fue realizado siguiendo la metodología establecida por Flores (2014), Borges *et al.* (2009). A continuación, se detalla las actividades desarrolladas: Se seleccionaron los individuos más sanos y con más vigor de cada especie y fueron recolectados del mismo tamaño. La especie *Heliconia psittacorum* fue obtenida del sector Las Palmeras, margen izquierdo de la Carretera Fernando Belaúnde Terry – provincia Rioja; asimismo, la especie *Eichhornia crassipes* fue recolectada del Río Romero, ubicado a 5 km del área de estudio. Las plantas fueron colocadas en baldes para facilitar su traslado hasta el botadero Municipal del Distrito de Nueva Cajamarca (Figura 13).

Figura 13

Especies fitorremediadoras utilizados en los humedales

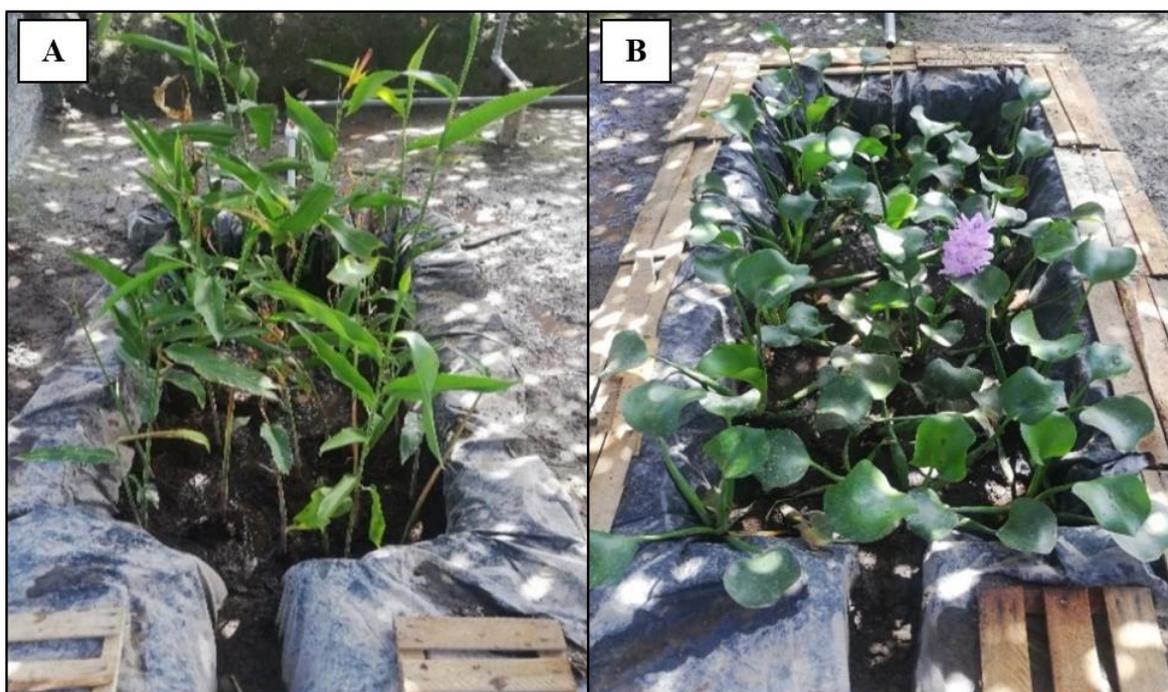


Nota. (A) Especie *Heliconia psittacorum*. (B) Especie *Eichhornia crassipes*.

Seguidamente, las especies trasladadas hasta la zona de estudio fueron trasplantadas en cada uno de los humedales diseñados para la investigación. Los primeros tres humedales artificiales fueron implementados con sustratos naturales, las tres siguientes con *Heliconia psittacorum* y los tres finales con la especie *Eichhornia crassipes* (18 plantas por unidad experimental), haciendo un total de nueve humedales artificiales, distribuidos en un espacio de 20 cm; seguidamente, pasaron 30 días de adaptación al sustrato y a las condiciones ambientales (Figura 14).

Figura 14

Siembra de las especies fitorremediadoras en cada humedal artificial



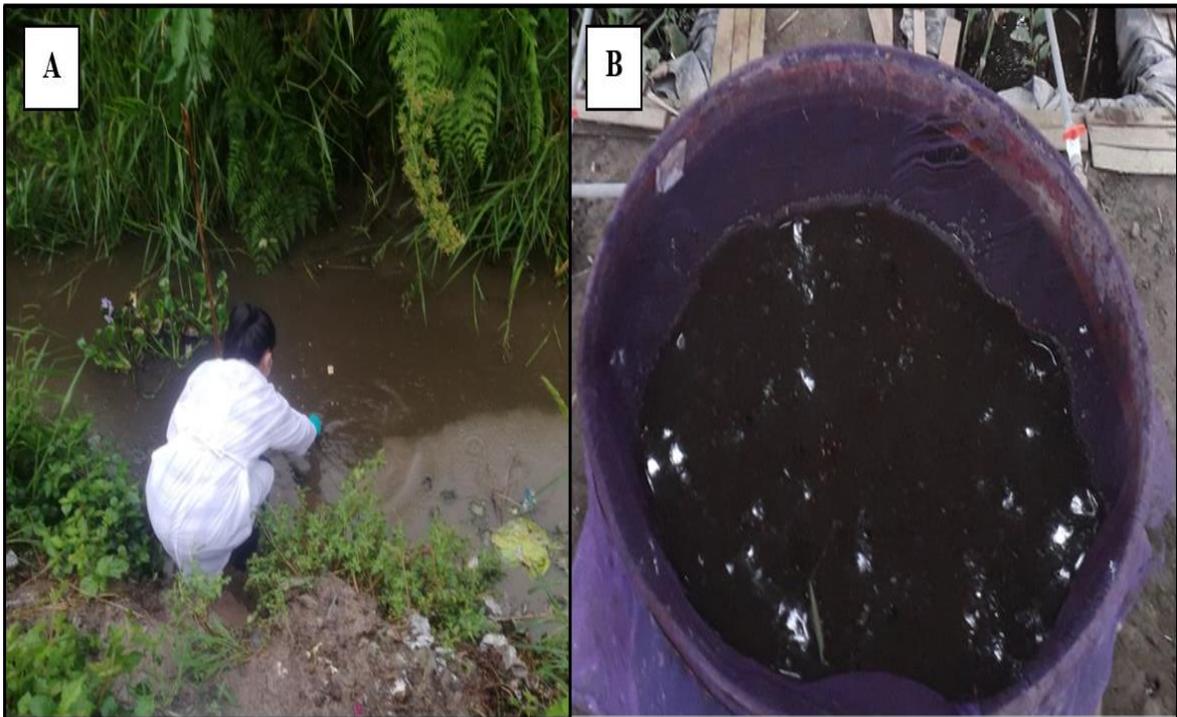
Nota. (A) Especie *Heliconia psittacorum*. (B) Especie *Eichhornia crassipes*.

Recolección de lixiviados y funcionamiento de los humedales

La recolección de los lixiviados utilizados en el proceso experimental, fue realizado del botadero Municipal del Distrito de Nueva Cajamarca, siguiendo la metodología establecida por Sánchez y Fabián (2016). A continuación, se describe el procedimiento desarrollado: Transcurridos los 30 días de adaptación al sustrato y a las condiciones ambientales, se procedió a la toma de muestras de lixiviados (Figura 15); seguidamente, se puso en funcionamiento el sistema de los humedales artificiales, ingresando de forma controlada el lixiviado, esto con la finalidad de adaptar las especies al lixiviado.

Figura 15

Recolección del lixiviado para el sistema piloto



Nota. (A) Recolección de lixiviado. (B) Cilindro del sistema de abastecimiento con lixiviado.

Una vez cumplido el tiempo de adaptación de las especies fitorremediadoras *Heliconia psittacorum* y *Eichhornia crassipes* en las unidades experimentales, se inició el funcionamiento del sistema de tratamiento (Figura 16). Para ello, se recolectó lixiviado tres veces por semana, alternando los días; seguidamente, estos fueron puestos al cilindro de 200 L para abastecer a los humedales de manera controlada (Ruedas, 2017). El área de investigación fue monitoreada de forma constante, observando que las especies toleren la sustancia líquida (lixiviado).

Figura 16

Sistema de tratamiento en funcionamiento



Asimismo, se empleó como flujo de agua el lixiviado en los tratamientos con plantas flotantes equivalente a tres tiempos de retención hidráulica, que fue de 12, 24 y 36 horas respectivamente. La selección y cantidad de especies se basó en la facilidad de mantener, bajo clima y calidad de agua residual de la zona, especies propiamente nativas y fácil adaptación en el cultivo y propagación en invernadero (Pérez, 2009).

Muestreo y transporte de Lixiviado

El muestreo y transporte de las muestras de lixiviado para los respectivos análisis fisicoquímicos y microbiológicos, fue realizado siguiendo la metodología establecida por Ruedas (2017), el cual se detalla a continuación:

Muestreo. La recolección de muestras para las mediciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del lixiviado antes y después de cada tratamiento (Figura 17), fue realizada en envases de plástico de 100, 250, 500 y 1000 mL, debidamente rotuladas para su identificación. Se tomaron seis muestras en el efluente de lixiviados del botadero Municipal del Distrito de Nueva Cajamarca (muestra patrón), con la finalidad de conocer las características generales, antes de ser tratadas en los humedales; asimismo, se tomaron

muestras de los tratamientos T0, T1 y T2; este procedimiento fue realizado a los 30, 60 y 90 días después del tratamiento, que hicieron un total de 36 muestras. Además, se realizó la medición del pH y la temperatura de las muestras de lixiviado.

Figura 17

Recolección de muestras de lixiviado y medición de parámetros



Nota. (A) Toma de muestras del efluente del botadero. (B) Toma de muestras de los humedales después del tratamiento. (C) Medición de pH de las muestras de lixiviado. (D) Medición de la temperatura de las muestras de lixiviado.

Transporte de las muestras de lixiviado. Para el transporte de las muestras de lixiviado se utilizó siete neveras de mano; en cada una se transportaron seis envases completamente refrigerados y preservados, siendo un total de 42 envases por los tres tratamientos (T0, T1 y T2) y la muestra de lixiviado del efluente del botadero (Figura 18). Las muestras recolectadas fueron transportadas vía terrestre a la ciudad de Lima para el análisis correspondiente, en el laboratorio acreditado NSF Inassa ENVIROLAB, ubicado en la Av. La Marina 3035 San Miguel – Lima – Perú.

Figura 18

Muestras de lixiviado tomadas de los humedales para sus respectivos análisis



1.2.11. 2.3.3. Etapa de gabinete

En esta etapa se realizó el análisis, procesamiento y comparación de los datos obtenidos de cada uno de los parámetros evaluados (coliformes totales, pH, temperatura (°C), DBO₅, DQO, SST, P- total y N-amoniaco) con la normativa vigente (D.S N° 003-2010-MINAM); finalmente, se realizó la elaboración del informe final de la tesis.

2.4. Tratamientos

Para el desarrollo del proceso experimental de la investigación se definieron dos tratamientos con distintas especies fitorremediadoras más un testigo con solamente la capa filtrante. Los cuales se distribuyeron en un espacio de 50 m², asimismo, cada tratamiento tuvo un volumen de agua residual de residuos sólidos de 250 L. Los detalles de los tratamientos se mencionan en la Tabla 3.

Tabla 3

Descripción de los tratamientos experimentales

Símbolo	Tratamientos	Tiempo de retención	Muestreo según período
T0	Testigo (sólo sustrato inorgánico filtrante)		
T1	Sustrato filtrante + <i>Heliconia psittacorum</i>	12, 24 y	30/60/90 días
T2	Sustrato filtrante + <i>Eichhornia crassipes</i>	36 horas	

2.5. Unidades experimentales

Cada tratamiento tuvo tres repeticiones, totalizando nueve unidades experimentales constituidas por cámaras de 125 x 65 cm de largo y ancho por 60 cm de profundidad. En cada cámara se acondicionaron los agregados de grava fina, arena gruesa y grava gruesa; además, cada repetición tuvo 18 plantas experimentales a excepción del testigo.

2.6. Identificación de variables y su mensuración

A continuación, describimos las variables de la investigación en la Tabla 4.

Tabla 4*Variables del estudio*

Tipo de variable	Descripción	Metodología	Unidad
Independiente	Plantas fitorremediadoras	Agencia de Protección Ambiental (EPA, 1993)	T1 (<i>Heliconia psittacorum</i>) T2 (<i>Eichhornia crassipes</i>)
	DBO ₅	DBO ₅ . Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD).5-Day BOD Test/Oxygen (Dissolved)	mg OD/L
Dependientes	DQO	DQO. Agua EPA Method 410.1 600/4 - 79-020, Revised March 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid-Level)	mg/L
	P-Total	P - Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms	mg/L
	Coliformes Totales	Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique	NMP/100
	SST	SST Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed.2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 – 105 °C	mg/L
	pH	Medición en campo	Adimensional
	Temperatura	Medición en campo	° C
	N-amoniacal	N-Amoniocal. Agua. de Proceso / Salina. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017.	mg/L

2.6.1. Remoción de contaminantes de lixiviados

El proceso de remoción estuvo dado por el porcentaje de eficiencia, el cual fue calculado por la diferencia del parámetro inicial con el de salida entre el valor de entrada y convertido a porcentaje. Para el cual fue empleado la ecuación matemática de Chung *et al.* (2008) (ver Apéndice 3).

$$ER = \left[\frac{Pi - Pf}{Pi} \right] \times 100$$

Donde:

ER: Eficiencia de remoción

Pi: Parámetro de entrada inicial

Pf: Parámetro de salida final

2.7. Diseño estadístico del experimento

Para el desarrollo de la investigación se empleó el diseño completamente al azar (DCA), porque este fue ejecutado en un ambiente controlado.

2.8. Análisis estadístico de datos

El análisis estadístico empleado consistió en el análisis de varianza (ANOVA) al 0,05 %, además, para la comparación de medias estadísticas de los resultados de las variables evaluadas se empleó la prueba de Tukey al 0,05. También fue usado la prueba de Shapiro Wilk para efectuar el supuesto de normalidad (p valor $> 0,05$) y los que no cumplieron el supuesto se efectuó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis. Para el cual se utilizó el programa estadístico Infostat ver. 2017, también, con este programa nos permitió determinar la normalidad y homogeneidad de los valores de las variables planteadas (eficiencia de la remoción de contaminantes como: coliformes totales, DBO₅, DQO, SST, P-total y N-amoniaco) y validar el ANOVA. Asimismo, se empleó el Excel para la tabulación y generación de gráficos y tablas.

2.9. Materiales y equipos

En la Tabla 5, se exponen los equipos y materiales empleados en la presente investigación, durante todo el proceso de evaluación.

Tabla 5

Materiales y equipos utilizados en la investigación

Materiales	Cantidad	Unidad
Adaptadores de PVC 1/2"	26	Unidad
Alambre de amarre	1	kg
Alicate	1	Unidad
Arena gruesa (2 mm)	1	m ³
Balde 10 L	1	Unidad
Botas de jebe	2	Pares
Cadena de Custodia	12	Hoja
Cavadora	1	Unidad
Cilindro metálico 55 galones	1	Unidad
Codo para agua PVC 1/2"	2	Unidad
Clavos 03"	1.5	kg
Coolers + hielo	6	Unidad
Envase descartable	12	L
Frasco colilert de 100 mL para coliformes totales	6	L
Frasco de plástico de 1 litro para DBO	6	L
Frasco de plástico de 1/4 litro para DQO	6	L
Frasco de plástico de 1/4 litro para P-total	6	L
Frasco de plástico de 1/2 litro para N-amoniacal	6	L
Frasco de plástico de 1/2 litro para SST	6	L
Guantes quirúrgicos	2	Pares
Grava gruesa (40 mm)	1	m ³
Grava fina (20 mm)	1	m ³
Hojas de palmera	20	Unidad
Llave de control PVC 1/2"	13	Unidad
Madera (pie derecho)	22	Unidad
Malla Rachell	30	m
Mascarilla quirúrgica	2	Unidad
Palana	1	Unidad
Pegamento para PVC	2	Unidad
pH-metro	1	Unidad
Plástico negro	6	m
Preservante H2SO4 1:1	6	Frasco
Termómetro Pirómetro	1	Unidad
T para agua PVC 1/2"	5	Unidad
Tubo para agua PVC 1/2"	5	Unidad
Wincha	1	Unidad

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Composición fisicoquímica y microbiológica de lixiviados

La Tabla 6 muestra los resultados de la composición física de las muestras de lixiviado que fueron tomadas en campo antes del tratamiento en los humedales. Los valores de temperatura alcanzaron los 25,8 °C y el pH obtenido fue de 7,60, los cuales estuvieron dentro de los LMP establecidos por el D.S. N° 003-2010-MINAM. Sin embargo, en cuanto a los SST, el valor obtenido fue de 260 mg/L, siendo este superior a los LMP establecidos por la normativa peruana, el cual establece un valor máximo de 150 mg/L. Este valor se refiere a la cantidad de partículas suspendidas, de características heterogéneas volátiles y fijas en el lixiviado; el cual, al excederse se considera contaminación (ver Apéndice 4).

Tabla 6

Composición física del lixiviado

Parámetro	Resultados	LMP (D.S. N° 003-2010-MINAM)
Temperatura (°C)	25,80	<35
pH	7,60	6,50 – 8,50
SST (mg/L)	260	150

Mientras que, en la Tabla 7 se muestran los resultados de la composición química del lixiviado, antes del tratamiento, relacionada con el nivel de oxígeno. Para la DBO₅, el valor alcanzado en los análisis fue de 344 mg OD/L, superando lo establecido por el D.S. N° 003-2010-MINAM (100 mg/L), indicando una alta carga bacteriana presente en los lixiviados. Asimismo, para la DQO, los análisis determinaron un valor de 697 mg/L, el cual también superó el LMP establecido por la presente normativa peruana (200 mg/L). Este valor confirmó la presencia de microorganismos y sustancias susceptibles a la oxidación química; es decir, existió la presencia de sustancias orgánicas en el lixiviado, que son contaminantes para los cuerpos de agua subterráneos y superficiales.

Tabla 7*Composición química relacionada con el nivel de oxígeno del lixiviado*

Parámetro	Resultados	LMP (D.S. N° 003-2010-MINAM)
DBO ₅ (mg OD/L)	344,00	100
DQO (mg/L)	697,00	200

En lo que respecta a los parámetros químicos, estos se muestran en la Tabla 8, donde fueron medidos el P-total y N-amoniaco. La concentración de P-total en el lixiviado fue de 6,78 mg/L, estando dentro de los LMP establecido por el D.S. N° 003-2010-MINAM (14 mg/L). Por otro lado, la concentración de N-amoniaco fue de 180,10 mg/L, ubicándose por encima del LMP establecido por la presente normativa (45 mg/L).

Tabla 8*Composición química de categoría eutrofización del lixiviado*

Parámetro	Resultados (mg/L)	LMP (D.S. N° 003-2010-MINAM)
Fósforo total (P-total)	6,78	14
Nitrógeno amoniacal (N-amoniaco)	180,10	45

En relación con la composición microbiológica de las muestras de lixiviado, estas se muestran en la Tabla 9. Dentro del componente identificado se midió la presencia de coliformes totales, antes del ingreso a los humedales artificiales, donde la cantidad obtenida fue de 230 000 NMP/100 mL. El valor obtenido superó el Límite Máximo Permisible de 10 000 NMP/100 mL, cuyo resultado fue indicativo que los lixiviados liberados en el botadero municipal de Nueva Cajamarca poseen una altísima carga de coliformes totales.

Tabla 9*Composición microbiológica del lixiviado*

Parámetro	Resultado	LMP (D.S. N° 003-2010-MINAM)
Coliformes totales (NMP/100 mL)	230 000	10 000

3.2. Implementación a escala piloto del sistema de tratamiento, mediante humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal con las especies *Heliconia psittacorum* y *Eichhornia crassipes*

3.2.1. Resultado de sustrato filtrante sin plantas fitorremediadoras a los 30, 60 y 90 días: tratamiento testigo

La Tabla 10, presenta los parámetros alcanzados a los 30 días mediante el uso de un sustrato filtrante. Donde los coliformes totales pasaron de 230 000,00 a 144 000,00 NMP/100 mL, el pH de 7,60 a 7,38 con una disminución de tres puntos decimales. Mientras que, la DBO₅ alcanzó en la muestra sin tratamiento 344,00 mg OD/L a 233 mg OD/L en sustrato filtrante, mientras que la DQO fue inicialmente de 697,00 mg/L y obtuvo una reducción a 421,67 mg/L. Del mismo modo, también fue cuantificado los SST, P-total y N-amoniaco con valores iniciales de 260 mg/L, 6,78 mg/L y 180,10 mg/L, cuya agua residual al ser tratada mediante sustrato filtrante alcanzaron resultados de 198; 6,43 y 167,50 mg/L. En tanto, el pH y la temperatura estuvieron dentro del rango de los LMP. En general, el sustrato filtrante a base de materiales inorgánicos disminuyó los niveles altos de contaminación, pero que superaron los LMP (ver Apéndice 5).

Tabla 10*Parámetros obtenidos a los 30 días-Tratamiento testigo (T0)*

Parámetros	Mi	Mf-1	Mf-2	Mf-3	Promedio	LMP
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	230 000,00	142 500,00	145 000,00	144 500,00	144 000,00	10 000
pH	7,60	7,60	7,00	7,54	7,38	6,50 – 8,50
Temperatura (°C)	25,80	25,80	24,50	22,00	24,10	<35
DBO5 (mg OD/L)	344,00	234,00	230,00	235,00	233,00	100
DQO (mg/L)	697,00	420,00	425,00	420,00	421,67	200
SST (mg/L)	260,00	200,00	197,00	197,00	198,00	150
P- total (mg/L)	6,78	6,78	6,40	6,10	6,43	14
N-amoniaco (mg/L)	180,10	180,10	173,50	148,90	167,50	45

Nota. Mi: muestra inicial de lixiviado sin tratar; Mf-1: muestra final 1; Mf-2: Muestra final 2; Mf-3: Muestra final 3 de aguas residual tratado con lecho filtrante de sustratos inorgánicos (arena, piedra).

La Tabla 11, muestra los resultados alcanzados del tratamiento testigo a los 60 días de monitoreo, con valores de 230 000 NMP/100 mL a 72 000,00 NMP/100 mL en los coliformes totales, igualmente, sucedió en los parámetros de pH, DBO5, DQO, STS, P-total y N-amoniaco con resultados de 6,73; 195 mg OD/L, 370; 63,67; 5,47 y 89,67 mg/L respectivamente; de los cuales se puede observar una continua disminución de los parámetros evaluados (ver Apéndice 6).

Tabla 11*Parámetros obtenidos a los 60 días-Tratamiento testigo (T0)*

Parámetros	Mi	Mf-1	Mf-2	Mf-3	Promedio	LMP
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	230 000,00	80 500,00	75 500,00	60 000,00	72 000,00	10 000
pH	7,60	6,90	6,61	6,69	6,73	6,50 – 8,50
Temperatura (°C)	25,80	27,00	26,70	27,50	27,07	<35
DBO5 (mg OD/L)	344,00	190,00	200,00	195,00	195,00	100
DQO (mg/L)	697,00	360,00	365,00	385,00	370,00	200
SST (mg/L)	260,00	61,00	60,50	69,50	63,67	150
P- total (mg/L)	6,78	5,90	5,50	5,00	5,47	14
N-amoniaco (mg/L)	180,10	98,90	88,00	82,10	89,67	45

Nota. Mi: muestra inicial de lixiviado sin tratar; Mf-1: muestra final 1; Mf-2: Muestra final 2; Mf-3: Muestra final 3 de aguas residual tratado con lecho filtrante de sustratos inorgánicos (arena, piedra).

En la Tabla 12, están los valores cuantificados del tratamiento de los lixiviados mediante el lecho filtrante con sustratos a los 90 días. Los coliformes totales disminuyeron de 230 000,00 a 75 000,00, el pH fue de 7,60 a 7,32, mientras que, el DBO5 fluctuó de 344,00 a 186,00 mg OD/L), el DQO de 697 a 266,70 mg/L, asimismo, los SST pasaron de 260 mg/L a 45,00 mg/L, el P-total de 6,78 a 3,90 mg/L y el N-amoniaco de 180,10 a 31,00 mg/L. Tras los resultados obtenidos fue identificado que hubo disminuciones significativas en el P-total y el N-amoniaco, mientras que en los otros parámetros hubo un ligero incremento (ver Apéndice 7).

Tabla 12

Parámetros obtenidos a los 90 días-Tratamiento testigo (T0)

Parámetros	Mi	Mf-1	Mf-2	Mf-3	Promedio	LMP
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	230 000,00	70 000,00	75 000,00	80 000,00	75 000,00	10 000
pH	7,60	7,50	7,45	7,00	7,32	6,50 – 8,50
Temperatura (°C)	25,80	27,00	25,60	26,50	26,37	<35
DBO5 (mg OD/L)	344,00	188,00	190,00	180,00	186,00	100
DQO (mg/L)	697,00	261,50	265,80	270,90	266,07	200
SST (mg/L)	260,00	46,00	45,00	44,00	45,00	150
P- total (mg/L)	6,78	4,30	3,90	3,50	3,90	14
N-amoniaco (mg/L)	180,10	30,50	32,00	30,50	31,00	45

Nota. Mi: muestra inicial de lixiviado sin tratar; Mf-1: muestra final 1; Mf-2: Muestra final 2; Mf-3: Muestra final 3 de aguas residual tratado con lecho filtrante de sustratos inorgánicos (arena, piedra).

3.2.2. Resultado de sustrato filtrante con *Heliconia psittacorum* a los 30, 60 y 90 días: tratamiento 1

La Tabla 13, muestra los resultados de las evaluaciones físicas, químicas y microbiológicas realizadas a las muestras de lixiviado, 30 días después del tratamiento. Los coliformes totales pasaron de 230 000,00 NMP/100 mL a una reducción promedio de 49 000,00 NMP/100 mL; la DBO₅ pasó de 344 a 280 mg OD/L; la DQO pasó de 697,00 a 670,00 mg/L; asimismo, los SST se redujeron de 260 mg/L a un promedio de 191,80 mg/L; el P-total se redujo de 6,78 a 4,48 mg/L estando por debajo del LMP; y finalmente, el N-amoniaco se redujo de 180,10 mg/L a un promedio de 51,61 mg/L (ver Apéndice 8).

Tabla 13*Parámetros obtenidos a los 30 días – Tratamiento 1*

Parámetros	Mi	Mf-1	Mf-2	Mf-3	Promedio	LMP
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	230 000,00	49 500	49 000	48 500	49 000	10 000
pH	7,60	7,50	7,00	7,20	7,23	6,50 – 8,50
Temperatura (°C)	25,80	24,60	25,10	24,30	24,67	<35
DBO ₅ (mg OD/L)	344	280	282	278	280	100
DQO (mg/L)	697	670	665	675	670	200
SST (mg/L)	260	190,40	195,60	189,40	191,80	150
P- total (mg/L)	6,78	4,48	4,40	4,57	4,48	14
N-amoniaco (mg/L)	180,10	51,60	50,50	52,73	51,61	45

Nota. Mi: muestra inicial de lixiviado sin tratar; Mf-1: muestra final 1; Mf-2: Muestra final 2; Mf-3: Muestra final 3 de aguas residual tratado con lecho filtrante con *Heliconia psittacorum*.

La Tabla 14, muestra los resultados de las evaluaciones físicas, químicas y microbiológicas realizadas a las muestras de lixiviado, 60 días después del tratamiento. En este periodo, la reducción de las concentraciones de los parámetros con respecto a la muestra patrón y al tratamiento anterior, fue mayor. Los coliformes totales pasaron de 230 000 NMP/100 mL a un promedio de 4 900,00 NMP/100 mL; el DBO₅ pasó de 344 a 158,00 mg OD/L; el DQO pasó de 697 a 340 mg/L; los SST se redujeron de 260 a 48,50 mg/L; sin embargo, el P-total fue el parámetro con mayor reducción, pasando de 6,78 a 6,17 mg/L y el N-amoniaco se redujo de 180,10 a 21,76 mg/L (ver Apéndice 9).

Tabla 14*Parámetros obtenidos a los 60 días – Tratamiento 1*

Parámetros	Mi	Mf-1	Mf-2	Mf-3	Promedio	LMP
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	230 000,00	4 900,00	4 760,00	5 040,00	4 900,00	10 000
pH	7,00	7,00	7,20	6,90	7,03	6,50 – 8,50
Temperatura (°C)	25,80	21,2	21,40	21,10	21,23	<35
DBO ₅ (mg OD/L)	344,00	158,00	160,00	156,00	158,00	100
DQO (mg/L)	697,00	340,00	330,00	350,00	340,00	200
SST (mg/L)	260,00	48,50	47,90	48,70	48,50	150
P- total (mg/L)	6,78	6,18	6,19	6,15	6,17	14
N-amoniaco (mg/L)	180,10	21,76	21,43	22,08	21,76	45

Nota. Mi: muestra inicial de lixiviado sin tratar; Mf-1: muestra final 1; Mf-2: Muestra final 2; Mf-3: Muestra final 3 de aguas residual tratado con lecho filtrante con *Heliconia psittacorum*.

La Tabla 15 muestra los resultados de las evaluaciones físicas, químicas y microbiológicas realizado a los lixiviado, 90 días después del tratamiento. Los análisis determinaron una reducción mayor de las concentraciones, con respecto a la muestra patrón. Los coliformes totales pasaron de 230 000 NMP/100 mL a un promedio de 13 000,00 NMP/100 mL; el DBO₅ pasó de 344 a 150,00 mg OD/L; el DQO pasó de 697,00 a 248,00 mg/L; los SST se redujeron de 260 a 39,70 mg/L; asimismo, el P-total se redujo de 6,78 a 0,987 mg/L y el N-amoniaco pasó de 180,10 a 18,38 mg/L (ver Apéndice 10).

Tabla 15

Parámetros obtenidos a los 90 días – Tratamiento 1

Parámetros	Mi	Mf-1	Mf-2	Mf-3	Promedio	LMP
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	230 000,00	13000,00	12790,00	13210,00	13000,00	10 000
pH	7,60	7,10	7,00	7,10	7,07	6,50 – 8,50
Temperatura (°C)	25,80	23,40	21,60	22,10	22,37	<35
DBO ₅ (mg OD/L)	344,00	150,00	145,00	155,00	150,00	100
DQO (mg/L)	697,00	248,00	253,00	243,00	248,00	200
SST (mg/L)	260,00	39,90	40,00	38,20	39,70	150
P- total (mg/L)	6,78	0,987	1,060	0,910	0,987	14
N-amoniaco (mg/L)	180,10	18,38	17,98	18,78	18,38	45

Nota. Mi: muestra inicial de lixiviado sin tratar; Mf-1: muestra final 1; Mf-2: Muestra final 2; Mf-3: Muestra final 3 de aguas residual tratado con lecho filtrante con *Heliconia psittacorum*.

3.2.3. Resultados de lecho filtrante con *Eichhornia crassipes* a los 30, 60 y 90 días: tratamiento 2

La Tabla 16, muestra los resultados de las evaluaciones físicas, químicas y microbiológicas realizadas a las muestras de lixiviado, 30 días después del tratamiento. Los análisis evidenciaron una reducción de los parámetros, con respecto a la muestra inicial. Los coliformes totales pasaron de 230 000 NMP/100 mL a una reducción promedio de 7 900,00 NMP/100 mL; el DBO₅ pasó de 344 a 130 mg OD/L; el DQO fue el parámetro que tuvo la menor reducción en este período de tiempo, pasando de 697 mg/L a un promedio de 376,00 mg/L; los SST se redujeron de 260,00 a 168,00 mg/L; el P-total se redujo de 6,78 a 2,45 mg/L y el N-amoniaco se redujo de 180,10 mg/L a un promedio de 55,92 mg/L (ver Apéndice 11).

Tabla 16*Parámetros obtenidos a los 30 días – Tratamiento 2*

Parámetros	Mi	Mf-1	Mf-2	Mf-3	Promedio	LMP
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	230 000,00	7 950,00	7 800,00	7 950,00	7 900,00	10 000
pH	7,60	7,30	7,20	7,20	7,23	6,50 – 8,50
Temperatura (°C)	25,80	24,50	23,60	24,10	24,07	<35
DBO ₅ (mg OD/L)	344,00	130,00	130,00	127,00	130,00	100
DQO (mg/L)	697,00	375,00	378,00	375,00	376,00	200
SST (mg/L)	260,00	175,00	161,00	168,00	168,00	150
P- total (mg/L)	6,78	2,47	2,45	2,50	2,47	14
N-amoniaco (mg/L)	180,10	55,93	55,41	56,42	55,92	45

Nota. Mi: muestra inicial de lixiviado sin tratar; Mf-1: muestra final 1; Mf-2: Muestra final 2; Mf-3: Muestra final 3 de aguas residual tratado con lecho filtrante con *Eichhornia crassipes*.

La Tabla 17, muestra los resultados de las evaluaciones físicas, químicas y microbiológicas realizadas a las muestras de lixiviado, 60 días después del tratamiento. En este periodo, la reducción de las concentraciones de los parámetros, con respecto a la muestra patrón y al tratamiento anterior, fue mayor. Los coliformes totales pasaron de 230 000 NMP/100 mL a una reducción promedio de 490,00 NMP/100 mL; el DBO₅ pasó de 344 a 109 mg OD/L; el DQO pasó de 697 a 240 mg/L; los SST se redujeron de 260 a 33 mg/L; el P-total pasó de 6,78 a 1,78 mg/L y el N-amoniaco de 180,10 mg/L a un promedio de 17,71 mg/L; siendo el elemento que más reducción presentó (ver Apéndice 12).

Tabla 17*Parámetros obtenidos a los 60 días – Tratamiento 2*

Parámetros	Mi	Mf-1	Mf-2	Mf-3	Promedio	LMP
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	230 000,00	490,00	485,00	495,00	490,00	10 000
pH	7,60	6,90	7,00	6,90	6,93	6,50 – 8,50
Temperatura (°C)	25,80	22,10	22,00	22,10	22,07	<35
DBO ₅ (mg OD/L)	344,00	109,00	112,00	106,00	109,00	100
DQO (mg/L)	697,00	238,00	242,00	240,00	240,00	200
SST (mg/L)	260,00	33,00	32,00	34,00	33,00	150
P- total (mg/L)	6,78	2,00	1,76	1,58	1,78	14
N-amoniaco (mg/L)	180,10	17,70	17,63	17,80	17,71	45

Nota. Mi: muestra inicial de lixiviado sin tratar; Mf-1: muestra final 1; Mf-2: Muestra final 2; Mf-3: Muestra final 3 de aguas residual tratado con lecho filtrante con *Eichhornia crassipes*.

La Tabla 18 muestra los resultados de las evaluaciones físicas, químicas y microbiológicas realizadas a las muestras de lixiviado, 90 días después del tratamiento, donde la reducción de los parámetros fue mayor con respecto a la muestra inicial. Los coliformes totales pasaron de 230 000 NMP/100 mL a un promedio de 11 000,00 NMP/100 mL; el DBO₅ pasó de 344 a 130,00 mg OD/L; el DQO pasó de 697 a 240,00 mg/L; los SST se redujeron de 260 a 29,00 mg/L; el P-total pasó de 6,78 a 1,06 mg/L y el N-amoniaco se redujo de 180,10 a 24,11 mg/L (ver Apéndice 13).

Tabla 18

Parámetros obtenidos a los 90 días – Tratamiento 2

Parámetros	Mi	Mf-1	Mf-2	Mf-3	Promedio	LMP
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	230 000,00	11 000,00	10 900,00	11 100,00	11 000,00	10 000
pH	7,60	7,40	7,30	7,40	7,37	6,50 – 8,50
Temperatura (°C)	25,80	22,90	22,50	22,00	22,47	<35
DBO ₅ (mg OD/l)	344,00	129,00	131,00	130,00	130,00	100
DQO (mg/L)	697,00	240,00	237,00	243,00	240,00	200
SST (mg/L)	260,00	29,50	28,50	29,00	29,00	150
P- total (mg/L)	6,78	1,06	1,05	1,06	1,06	14
N-amoniaco (mg/L)	180,10	24,11	24,22	23,99	24,11	45

Nota. Mi: muestra inicial de lixiviado sin tratar; Mf-1: muestra final 1; Mf-2: Muestra final 2; Mf-3: Muestra final 3 de aguas residual tratado con lecho filtrante con *Eichhornia crassipes*.

3.3. Eficiencia de remoción de lixiviados por las especies *Heliconia psittacorum* y *Eichhornia crassipes*

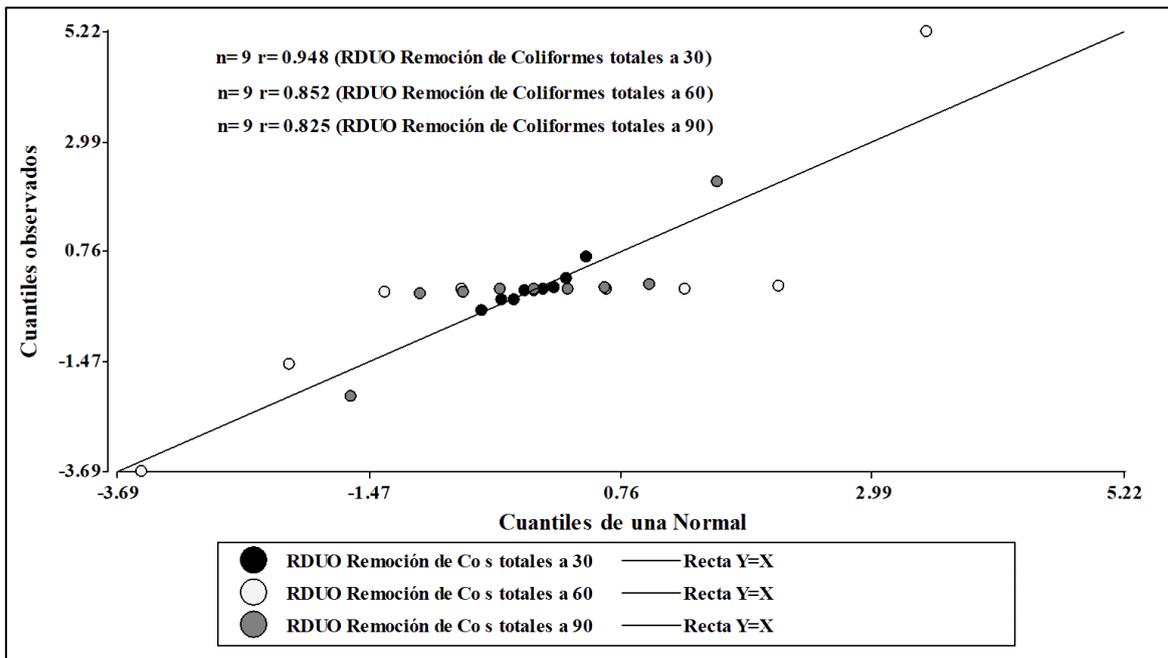
3.3.1. Remoción de coliformes totales

El ANOVA aplicado a los porcentajes de remoción para el análisis a 30 días determinó un p-valor < 0,05, indicando que los resultados entre los tratamientos fueron significativamente diferentes. Al efectuar el análisis de normalidad, el p-valor fue > 0,05 (0,639), indicando que los valores siguieron una distribución normal (Figura 19). Del mismo modo, el ANOVA para los porcentajes de remoción en los tiempos 60 y 90 días, el p-valor fue < 0,05, mostrando diferencias significativas entre tratamientos; sin embargo, en el análisis de normalidad, el p-valor fue < 0,05 (0,048 y 0,021), indicado que los resultados no siguieron

una distribución normal (Figura 19). Finalmente, para conocer las diferencias en este grupo, se utilizó la prueba Kruskal Wallis, cuyo ANOVA determinó un p- valor de 0,003 a los 60 y 90 días, indicando que al menos un resultado fue distinto en cada época (ver Apéndice 3).

Figura 19

Prueba de normalidad para coliformes totales según el tiempo de retención



En la Tabla 19, residen los valores de remoción de coliformes totales de acuerdo con los tratamientos experimentales y tiempos de evaluación, donde el tratamiento testigo T0 alcanzó la menor remoción a los 30, 60 y 90 días con 37,39, 68,69 y 67,39 %. Mientras que, el tratamiento T1 alcanzó una remoción de 78,70 % a los 30 días, incrementándose a los 60 días a 97,79 % y a los 90 días obtuvo un 94,35 %. El tratamiento T2, fue el que expuso una remoción significativa de coliformes totales a los 30 días con 96,56 %, manteniéndose a los 60 días con una remoción del 99,79 % y empezando a disminuir a los 90 días, debido a que, presentó una remoción de 95,22 %.

Tabla 19

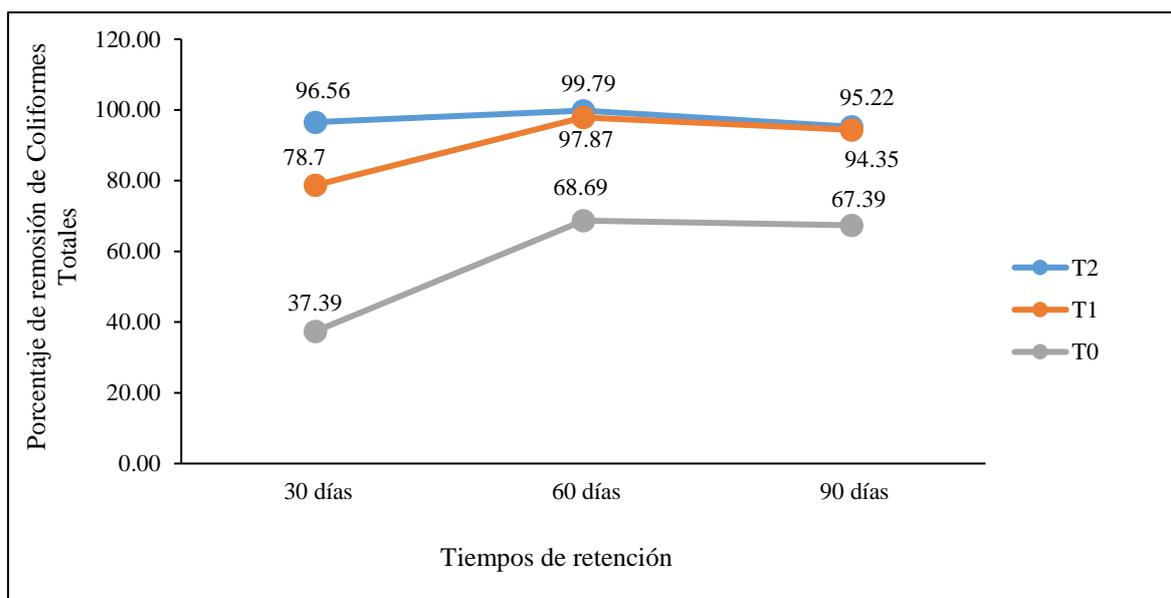
Prueba Tukey para la remoción de coliformes totales en lixiviados a los 30, 60 y 90 días

Tratamientos	Remoción de coliformes totales a 30 días (%)	Remoción de coliformes totales a 60 días (%)	Remoción de coliformes totales a 90 días (%)
T2	96,56 a	99,79 a	95,22 a
T1	78,7 b	97,87 a	94,35 a
T0	37,39 c	68,69 b	67,39 b

La Figura 20, muestra que el tratamiento T2 a base lecho filtrante con *Eichhornia crassipes* presentó una mejor remoción de los Coliformes Totales con 96,56 % a partir de los 30 días de retención y mejorando a los 60 días con un 99,79 %. Mientras que, el tratamiento T1 sobrepasó el 50,0 % de remoción a los 30 días, este fue mejor a los 60 días con un 97,89 %. En tanto, el tratamiento testigo T0 efectuó remociones de coliformes totales, pero estas estuvieron muy por debajo de los tratamientos T1 y T2. Asimismo, en los resultados obtenidos a los 90 días fue constatado una tendencia de disminución de la remoción, por lo que, el tiempo de retención ideal para remover coliformes totales fue a los 60 días en los tres tratamientos evaluados (ver Apéndice 3).

Figura 20

Porcentaje de remoción de coliformes totales por tratamiento según el tiempo de retención



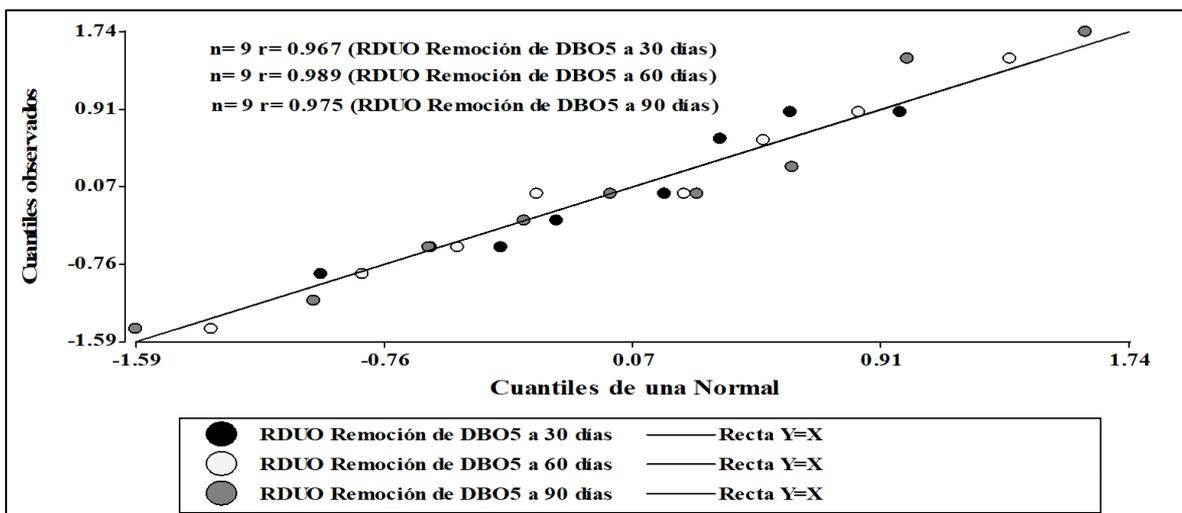
Nota. Cada línea representa la tendencia de comportamiento de remoción del parámetro de coliformes totales.

3.3.2. Remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO₅)

Al efectuar el ANOVA a los resultados obtenidos de DBO₅ de acuerdo a los tiempos de retención y al tipo de tratamiento a 30, 60 y 90 días, el p- valor fue < 0,05, indicando diferencias significativas entre tratamientos. A fin de contrastar que el ANOVA realizado fue válido, se realizó el supuesto de normalidad, dando como resultado un p- valor > 0,05 (0,232) repercutiendo que los residuos del DBO₅ cumplen el supuesto de normalidad y el ANOVA es correcto (Figura 21). Igualmente, la prueba de normalidad de los residuos de la DBO₅ a los 60 y 90 días, el p- valor fue > 0,05 (0,928 y 0,563) indicando que los valores siguen una distribución normal y el ANOVA fue válido (Figura 21).

Figura 21

Prueba de normalidad de los resultados de DBO₅ según el tiempo de retención



En la Tabla 20, están los resultados de remoción para el DBO₅, donde a los 30 días de retención el tratamiento T1 alcanzó la remoción más baja con 18,60 %, seguido por el tratamiento testigo T0 con 32,27 %. Mientras que, el tratamiento T2 logró efectuar una mayor remoción con 62,21 %. Del mismo modo, efectuado el análisis a los 60 días de retención de lixiviados, la DBO₅ fue mucho mayor en los tres tratamientos, donde el T0 logró una remoción de 43,31, el T1 de 54,07 % y el T2 con 68,31 %, siendo mucho mejor en la remoción el tratamiento T2 seguido por el T1. Asimismo, las remociones de DBO₅ a los 90 días no fueron tan diferentes que, a los 60 días, donde el tratamiento T0 obtuvo 45,93 %, el T1 con 56,40 % y el T2 en 62,21 %, sin embargo, este tratamiento mostró una tendencia a disminución de la remoción de DBO₅.

Tabla 20

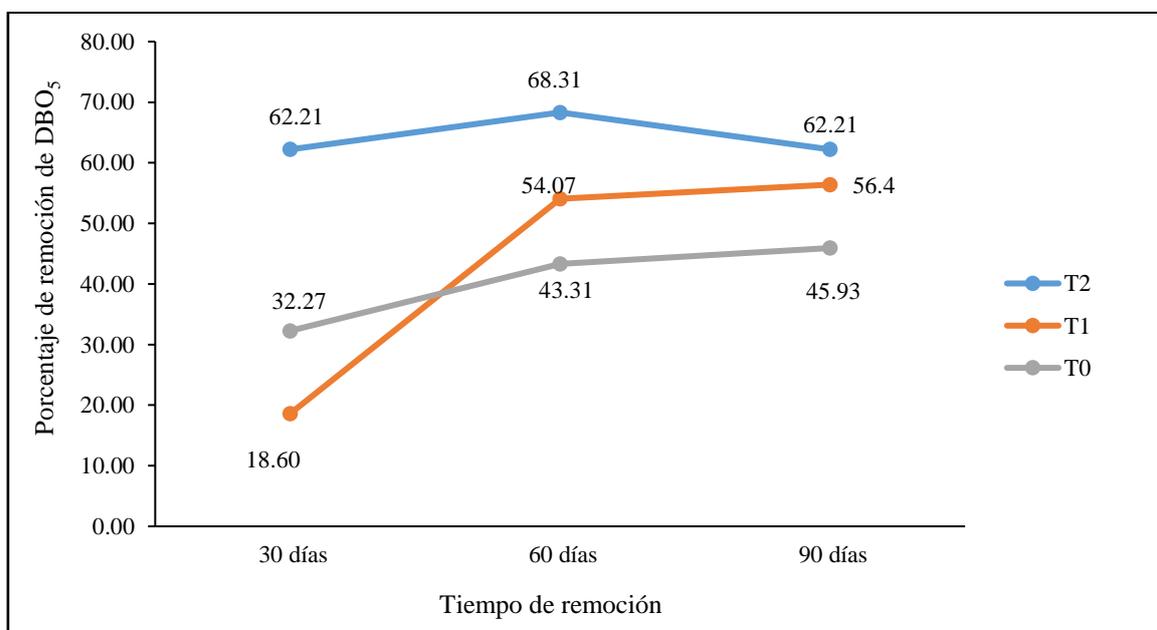
Prueba Tukey de comparación de medias para la DBO₅ de lixiviados y tiempo de retención

Tratamientos	Remoción de DBO ₅ a los 30 días (%)	Remoción de DBO ₅ a los 60 días (%)	Remoción de DBO ₅ a los 90 días (%)
T2	62,21 a	68,31 a	62,21 a
T1	18,60 c	54,07 b	56,40 b
T0	32,27 b	43,31 c	45,93 c

La Figura 22, muestra los resultados de reducción de la DBO₅ en los respectivos tratamientos, de los cuales el tratamiento T2 a base *Eichhornia crassipes* logró los mejores resultados tanto a los 30 y 60 días con el 62,21 y 68,31 % y una tendencia a disminución de la remoción de DBO₅ a los 90 días. Mientras que, el tratamiento T1 consiguió una mayor remoción a los 60 días con el 54,07 % y a los 90 días con el 56,40 %. En tanto, que el tratamiento testigo T0 estuvo muy por debajo de ambos tratamientos. Incidiendo que, el mejor tratamiento para reducir la carga de DBO₅ en lixiviados fue el tratamiento T2.

Figura 22

Remoción de DBO₅ de acuerdo a los tiempos de retención y tratamiento experimental



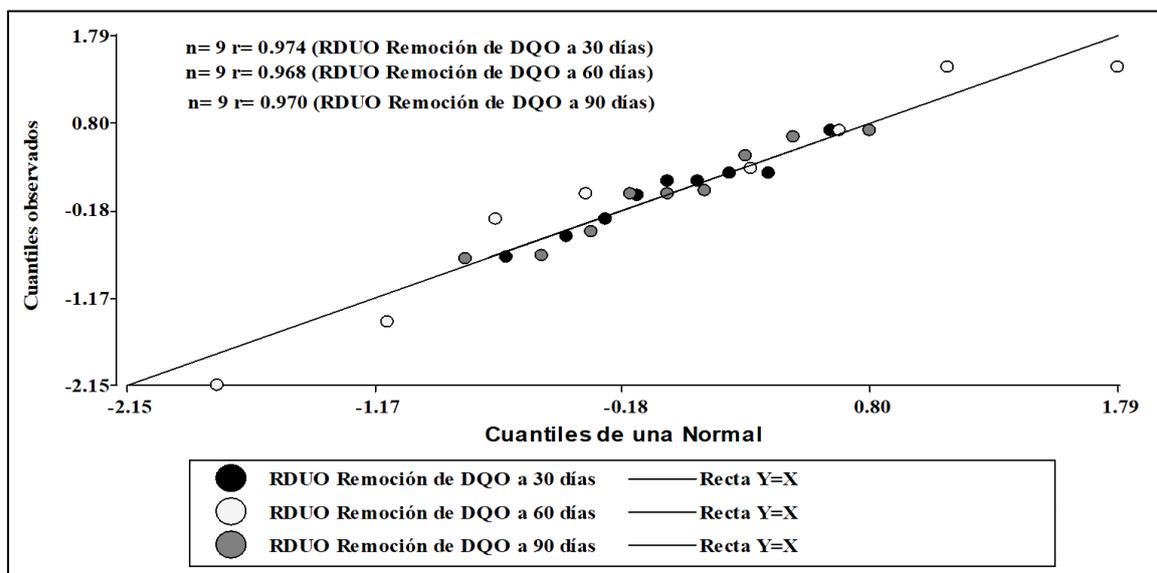
Nota. Cada línea representa la tendencia de comportamiento de remoción del parámetro elevado DBO₅.

3.3.3. Remoción de la demanda química de oxígeno (DQO)

El ANOVA realizado a los resultados de DQO en los distintos tiempos de remoción de los tratamientos experimentales, el p- valor obtenido para ambos casos fue $< 0,05$ (0,00), indicando que entre los tratamientos hubo diferencias significativas. A fin de validar el ANOVA obtenido de cada época de remoción fue analizado la prueba de normalidad, obteniendo a los 30 días el p- valor $> 0,05$ (0,811) igualmente a los 60 días el p- valor fue de 0,473 y a los 90 días de 0,266 indicando que los residuos de DQO cumplen los supuestos de normalidad y que el ANOVA es válido (Figura 23).

Figura 23

Prueba de normalidad de los residuos de DQO según tratamientos y tiempo de retención

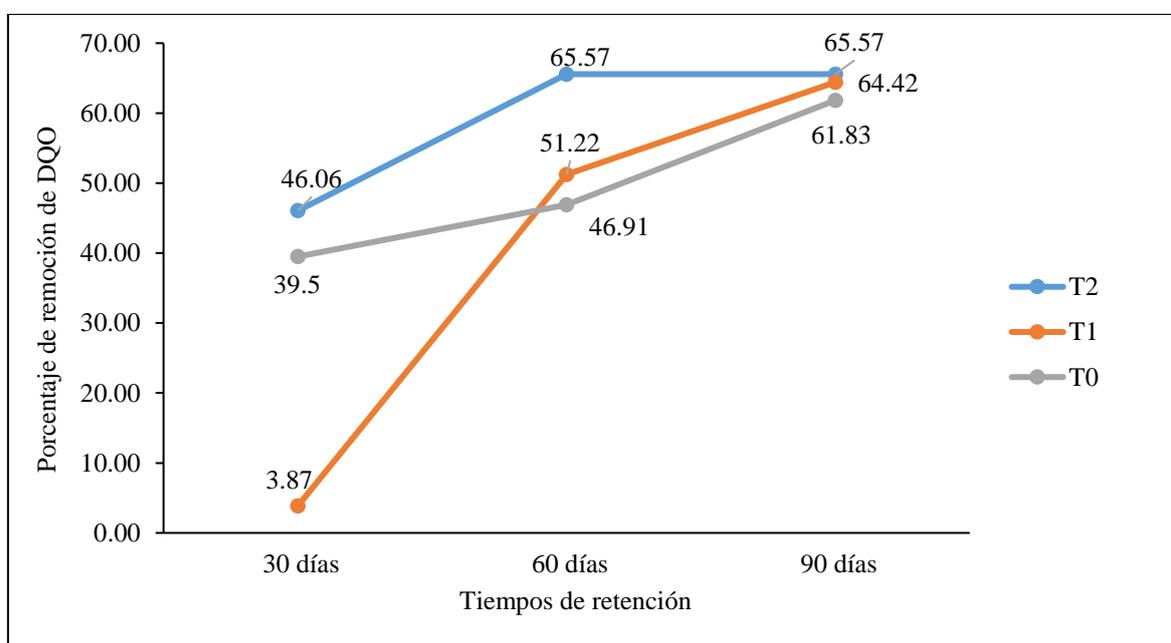


La Tabla 21 muestra los resultados promedios de los porcentajes de remoción de DQO de acuerdo al tratamiento y el tiempo de retención. A los 30 días el tratamiento T1 obtuvo el menor porcentaje de remoción con 3,87 %, seguido por el tratamiento T0 a base de lecho filtrante con sustrato inorgánico, alcanzando una remoción de 39,50 %; sin embargo, la mejor remoción fue en el tratamiento T2 con 46,06 %. Mientras que, a los 60 días de retención los tres tratamientos alcanzaron mejores resultados de remoción, siendo el T2 el más alto con 65,57 % seguido por el T1 con 51,22 % y el T0 con 46,91 %. Sin embargo, el DQO en el tratamiento T2 fue el mismo valor que el de 60 días de retención, mientras que, el resto de tratamientos (T1 y T0) alcanzaron el 64,42 y 61,83 % a los 90 días de retención.

Tabla 21*Prueba de Tukey con respecto a la DQO y periodos de retención de lixiviado*

Tratamientos	Remoción de DQO	Remoción de DQO	Remoción de DQO
	a 30 días (%)	a 60 días (%)	a 90 días (%)
T2	46,06 a	65,57 a	65,57 a
T1	3,87 c	51,22 b	64,42 a
T0	39,50 b	46,91 c	61,83 b

En la Figura 24, están los resultados y tendencia de remoción de DQO de acuerdo al tiempo de retención y tratamiento, de las cuales cabe precisar que el tratamiento T2 tuvo el mejor efecto de remoción de 65,57 % a los 60 días de retención, siendo el ideal este tiempo. Con respecto a los otros tratamientos el éxito de remover más del 50 % del DQO sucedió a los 90 días donde el T1 lo efectuó con el 64,42 % y el tratamiento T0 con el 61,83 %.

Figura 24*Resultados de remoción del DQO de acuerdo al tiempo de retención y tratamiento*

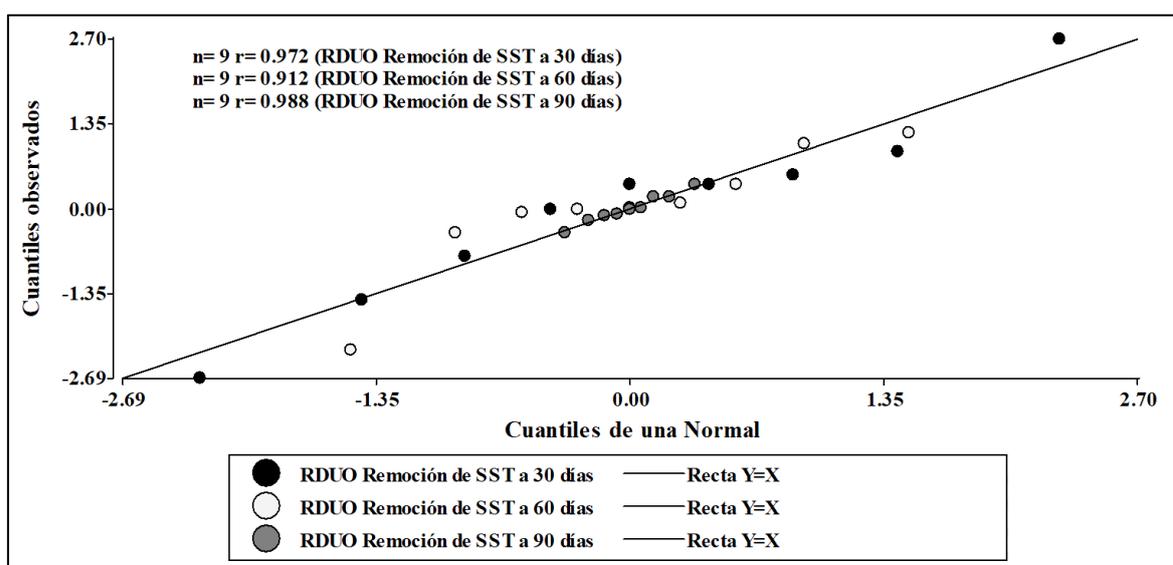
Nota. Cada línea representa la tendencia de comportamiento de remoción del parámetro elevado DQO.

3.3.4. Remoción de los sólidos suspendidos totales (SST)

El ANOVA resultante realizado a los tres tratamientos con respecto a los tiempos de retención, el p- valor fue $< 0,05$ (0,00), este resultado indicó que existen diferencias significativas entre tratamientos. Asimismo, al efectuar el supuesto de normalidad, los residuos de SST en los tres tratamientos estuvieron ubicados en base a la recta normal o cercanos, indicando que cumplieron los supuestos de normalidad (Figura 25). Según lo observado en la prueba de normalidad de Shapiro Wilk para las temporalidades de 30, 60 y 90 días el p valor de cada uno fue de 0,938, 0,205 y 0,960 (p- valor $> 0,05$) por lo que el supuesto de normalidad fue cumplido.

Figura 25

Prueba de normalidad de residuos de SST por tratamiento y tiempo de retención de lixiviado



En la Tabla 22, están los promedios comparativos entre tratamientos y de acuerdo a la época de retención. En los cuales, en los tres tratamientos con respecto a la retención de 30 días el tratamiento T0 y T1 presentaron reducciones entre 23,85 y 26,23 % siendo estadísticamente iguales estos dos tratamientos, mientras que el tratamiento T2 alcanzó la remoción más alta con 35,38 %. Del mismo modo, el análisis efectuado en lixiviados con retención de 60 días fue mucho más alta, alcanzando los tratamientos T0 y T1 remociones de 76,52 y 81,35 %, siendo más elevado en el tratamiento T2 con 87,31 %, los tres tratamientos fueron estadísticamente diferentes. En tanto, la remoción a los 90 días no fue muy distante que a los

60 días alcanzando valores de 82,69; 84,73 y 88,85 % para los tratamientos T0, T1 y T2 ambos tratamientos también fueron significativamente diferentes.

Tabla 22

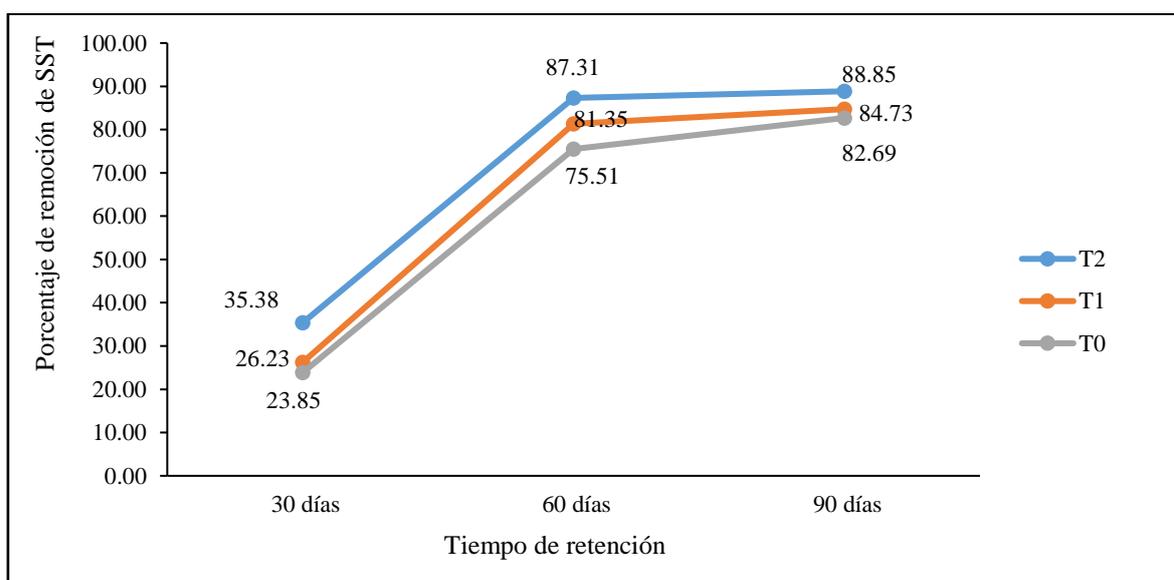
Prueba Tukey de los tratamientos con respecto a los tiempos de retención de lixiviados

Tratamientos	Remoción de SST a 30 días (%)	Remoción de SST a 60 días (%)	Remoción de SST a 90 días (%)
T2	35,38 a	87,31 a	88,85 a
T1	26,23 b	81,35 b	84,73 b
T0	23,85 b	75,51 c	82,69 c

La Figura 26, muestra los resultados de la evaluación de la eficiencia de remoción del tratamiento T1 y T2 a los 30, 60 y 90 días. Pasado los 30 días, el tratamiento T1 alcanzó un porcentaje de remoción de 26,23 %; mientras que, el tratamiento T2 alcanzó un 35,38 %; asimismo, para el día 60, el T1 alcanzó un 81,35 % y el T2 obtuvo 87,31 %; finalmente, para el día 90, el T1 obtuvo 84,73 % y el T2 alcanzó una remoción del 88,85 %, mostrando una mejor eficiencia de remoción a los 30, 60 y 90 días el tratamiento T2 en lecho filtrante más *Eichhornia crassipes*; asimismo, mostró que el tiempo de retención ideal fue a los 60 días.

Figura 26

Remoción de SST de acuerdo al tiempo de retención y tratamiento experimental



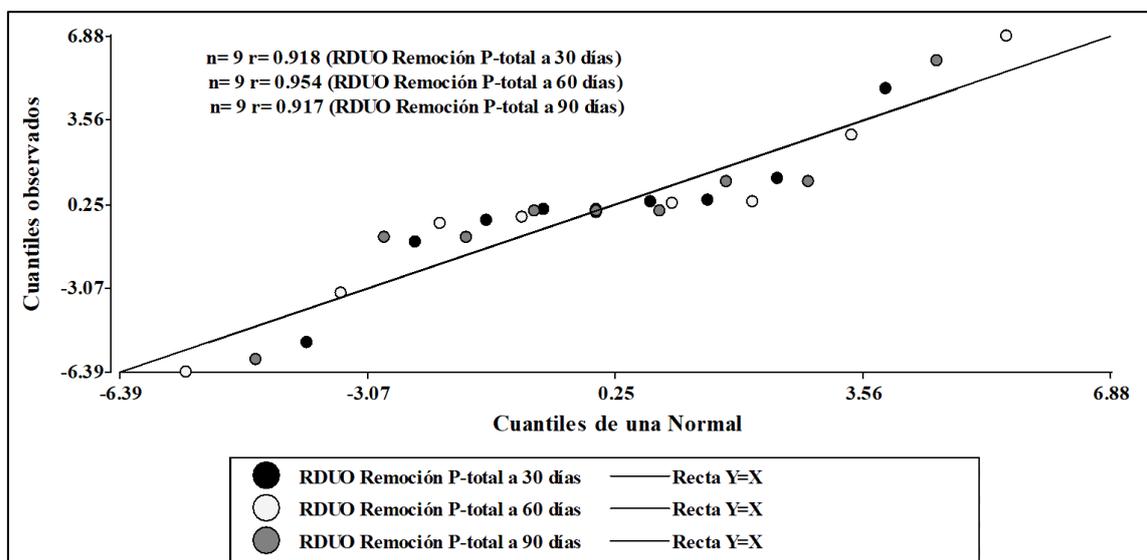
Nota. Cada línea representa la tendencia de comportamiento de remoción del parámetro elevado SST.

3.3.5. Remoción de fósforo total (P-total)

El ANOVA efectuado para cada tratamiento de acuerdo al tiempo de retención de lixiviado fue de un p-valor $< 0,05$ (0,00), este resultado reveló que existieron diferencias significativas, asimismo, fue aplicada la prueba de normalidad a los residuos de P-total de acuerdo al tiempo de retención, donde los valores están sobre la recta o cerca de ella (Figura 27 a, b y c). Mediante la prueba de normalidad de varianza (Shapiro Wilk), el p-valor obtenido de cada tratamiento de acuerdo con la retención de lixiviado fue de 0,523, 0,805 y 0,512 (p-valor $> 0,05$) confirmado el cumplimiento del supuesto de normalidad.

Figura 27

Prueba de normalidad de residuos de P-total por tratamiento según el tiempo de retención

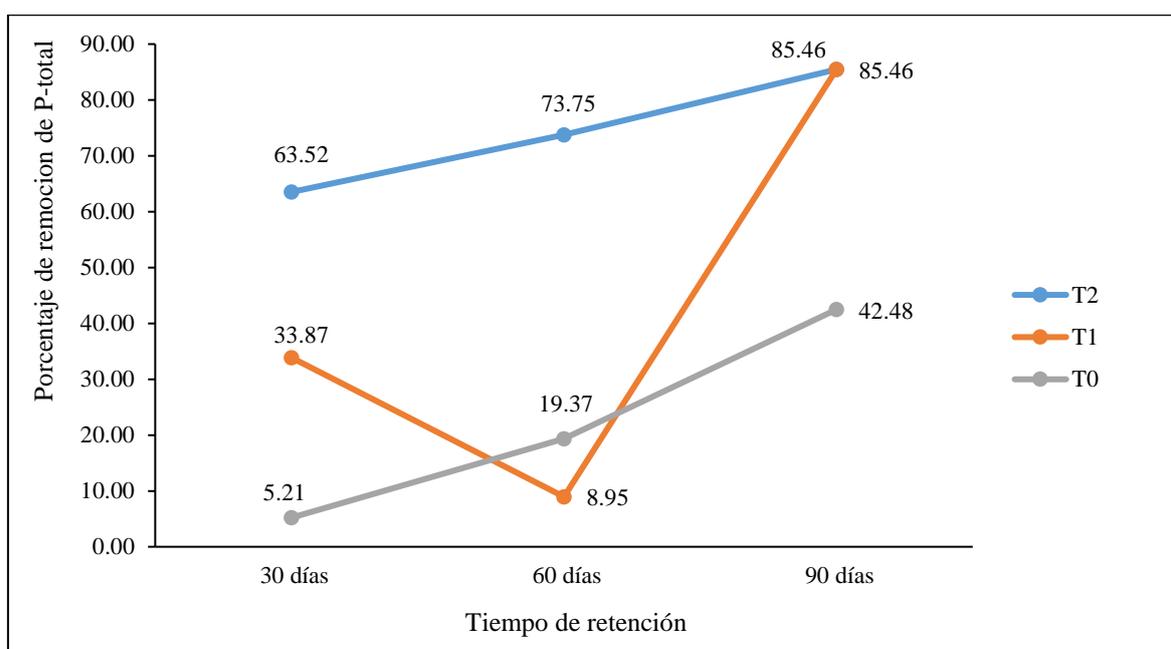


En la Tabla 23, están los resultados de promedios de remoción de P-total de acuerdo a los tiempos de retención por cada tratamiento. A los 30 días hubo diferencias significativas entre tratamientos, mostrando que el tratamiento T0 logró la remoción más baja con 5,21 %, mientras que, los tratamientos T1 y T2 alcanzaron remociones de 33,87 y 63,52 %, siendo mucho mejor el tratamiento T2. Por otra parte, los porcentajes de remoción a los 60 días en los tratamientos T0, T1 y T2 fueron de 19,37, 8,95 y 73,75 %, exponiendo remociones bajas en los tratamientos T0 y T1. Del mismo modo, la remoción a los 90 días en P-total los ostentó el tratamiento T2 a base de *Eichhornia crassipes*, sin embargo, en este tiempo de retención tanto el T1 y T2 son estadísticamente iguales en remoción.

Tabla 23*Prueba de Tukey de la remoción de P-total según el tiempo de retención de lixiviados*

Tratamientos	Remoción de fósforo	Remoción de fósforo	Remoción de fósforo
	total a 30 días (%)	total a 60 días (%)	total a 90 días (%)
T2	63,52 a	73,75 a	85,46 a
T1	33,87 b	8,95 b	85,46 a
T0	5,21 c	19,37 b	42,48 b

En la Figura 28, puede identificarse que el tratamiento T2 a base de *Eichhornia crassipes* exhibió una remoción más uniforme con respecto al P-total alcanzando las remociones más altas a los 60 y 90 días con 73,75 y 85,46 %. Mientras que, el tratamiento T1 a los 60 días tuvo un resultado atípico que pudo deberse a varios factores como el proceso de recolección de muestra, manipulación de muestras a nivel de laboratorio y otros que favorecieron un bajo nivel de remoción a los 60 días. En tanto, el tratamiento T0 expuso una tendencia baja en la remoción no superando ni el 50,00 % a los 90 días.

Figura 28*Eficiencia de remoción de P-total de acuerdo al tratamiento y tiempo de retención*

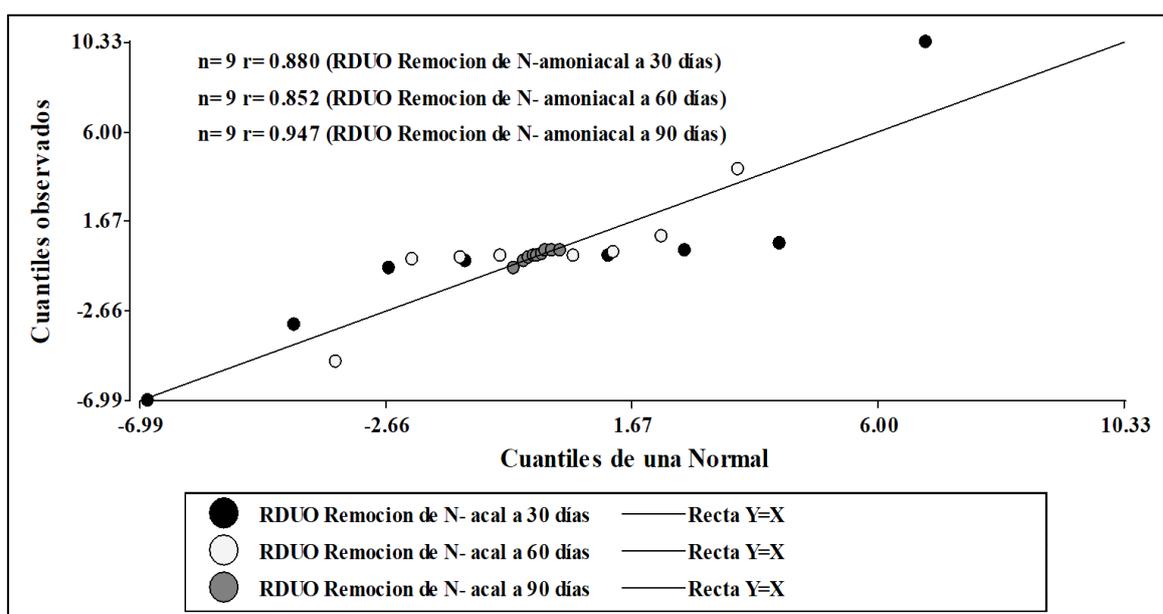
Nota. Cada línea representa la tendencia de comportamiento de remoción del parámetro elevado P-total.

3.3.6. Remoción de Nitrógeno amoniacal (N-amoniacal)

El ANOVA efectuado a los resultados obtenidos de laboratorio con respecto al N-amoniacal de los tres tratamientos, en los tres períodos de tiempo, el p valor resultante fue $< 0,05$ (0,00). Este resultado indicó que en las tres fases de cada tratamiento hubo diferencias significativas entre tratamientos. También fue realizado la prueba de normalidad (30, 60 y 90 días) de los cuales, lo valores están ubicados sobre la recta normal o cerca de ella (Figura 29). Mediante la prueba de normalidad de Shapiro Wilk el p- valor fue $> 0,05$ (0,125, 0,061 y 0,311), cuyos resultados indicaron el cumplimiento del supuesto de normalidad que los residuos de N-amoniacal siguen una distribución normal y el ANOVA efectuado fue el correcto.

Figura 29

Prueba de normalidad de residuos de N-amoniacal a los 30, 60 y 90 días según tratamiento



En la Tabla 24, están los resultados de los porcentajes de eficiencia de remoción de las concentraciones elevadas de contaminantes presente en los lixiviados de agua residual del botadero de Nueva Cajamarca, mediante lecho filtrante de sustratos inorgánicos y el uso de lecho filtrante con plantas de *Heliconia psittacorum* y *Eichhornia crassipes*. La eficiencia de remoción a los 30 días fue bajo en el tratamiento T0 con 6,99 %; mientras que, en los tratamientos T1 y T2 fueron de 68,95 y 71,34 %, estadísticamente ambos fueron iguales; del mismo modo, ambos tratamientos a los 60 días alcanzaron una remoción de 89,79 y 90,17 %; a diferencia del tratamiento testigo T0 que obtuvo una eficiencia de remoción de

50,21 %. Por último, en el periodo de 90 días en los tratamientos T1 y T2 las eficiencias de remoción no fueron muy distantes que, en el periodo de 60 días, ambos alcanzaron remociones de 89,79 y 86,61 %.

Tabla 24

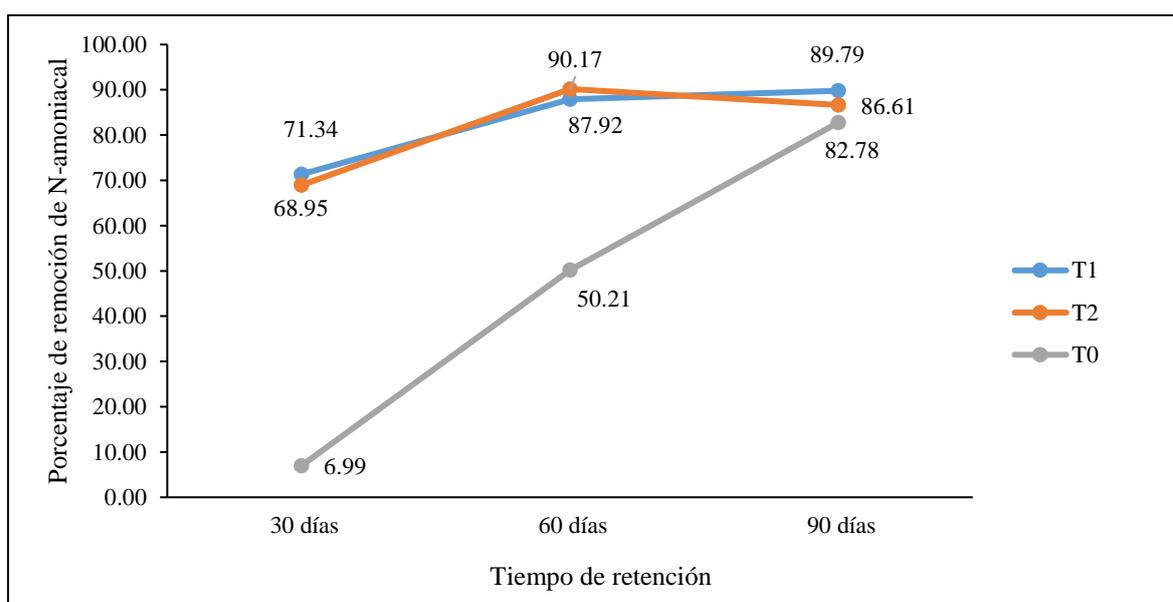
Prueba de Tukey de N-amoniaco en los periodos de evaluación según tratamiento

Tratamientos	Remoción de N-amoniaco a 30 días (%)	Remoción de N-amoniaco a 60 días (%)	Remoción de N-amoniaco a 90 días (%)
T1	71,34 a	87,92 a	89,79 a
T2	68,95 a	90,17 a	86,61 b
T0	6,99 b	50,21 b	82,78 c

En la Figura 30, están los resultados porcentuales de remoción del N-amoniaco, donde los tratamientos T1 y T2 fueron los que mostraron mejores resultados en los periodos de 30, 60 y 90 días, alcanzando una mayor eficiencia a los 60 y 90 días, a diferencia del testigo que logró una mayor eficiencia a los 90 días. El tratamiento T2 a base de *Eichhornia crassipes* obtuvo la mayor remoción a los 60 días con el 90,17 %, siendo el mejor para remover el N-amoniaco elevado en lixiviados de botadero y además el periodo ideal fue a los 60 días.

Figura 30

Remoción de N-amoniaco en los tratamientos y periodos de retención



Nota. Cada línea representa la tendencia de comportamiento de remoción del parámetro elevado N-amoniaco.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de la composición fisicoquímica y microbiológica del lixiviado del botadero municipal de Nueva Cajamarca

Los resultados de la caracterización de la composición física, química y microbiológica de las muestras de lixiviado tomados del efluente del botadero municipal de residuos sólidos, del distrito de Nueva Cajamarca, determinaron una elevada concentración de los parámetros evaluados. En la composición microbiológica se obtuvo la presencia de coliformes totales con un valor de 230 000,00 NMP/100 mL, superior al LMP, establecido por el D.S. N° 003-2010-MINAM (10 000 NMP/100 mL). En cuanto a la evaluación de los parámetros físicos, los lixiviados presentaron una temperatura de 25,8 ° C (inferior al LMP <35) y un pH de 7,6, el cual también estuvo dentro del rango permisible (6,5-8,5); sin embargo, la concentración de SST fue de 260,00 mg/L, superando los LMP (150 mg/L). Con respecto a la composición química relacionada con el nivel de oxígeno presente en el lixiviado, se obtuvo una DBO₅ de 344,00 mg OD/L y una DQO de 697,00 mg OD/L, siendo en ambos casos los valores muy superiores al LMP (100 mg OD/L y 200 mg OD/L), respectivamente. Asimismo, los parámetros relacionados con la eutrofización, determinaron una concentración de P-total de 6,78 ppm por debajo del LMP y el N-amoniaco fue de 180,10 ppm, los cuales fueron superiores a los valores del LMP (14 y 45 mg/L).

Los resultados fueron próximos a los encontrados por Chávez (2011) quien en la investigación “Tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd de Chihuahua, Méx”, para los SST encontró un valor de 320 mg/L, para la DBO₅ el valor obtenido fue de 693 mg/L; sin embargo, para la DQO los valores alcanzaron los 19 515,95 mg/L, y para el nitrógeno total, la concentración alcanzó los 2 022,47 mg/L, siendo en ambos casos muy superiores a los valores obtenidos en la presente investigación. Asimismo, Espinoza *et al.* (2010) en la investigación sobre determinación de los lixiviados del botadero de residuos sólidos urbanos “calle 10”, ciudad de La Habana, Cuba; para los

coliformes totales encontró un valor de 250 000 NMP/100 mL, la temperatura fue de 26,3 °C y un pH de 7,80; además, en cuanto a los SST la concentración fue de 169 mg/L, para la DQO los valores alcanzaron los 478 mg/L y para la DBO₅ la concentración fue de 197 mg/L. Finalmente, la concentración del P-total fue de 7,73 ppm y para el N-amoniaco fue de 166,10 ppm. Según Naveen *et al.* (2017) todo botadero contiene compuestos orgánicos e inorgánicos solubles y partículas suspendidas generando lixiviados altamente concentrados; siendo estos una amenaza potencial para el suelo, aguas superficiales y subterráneas, debido a su toxicidad y externalidades ambientales nocivas. Mientras que Samadder *et al.* (2017) atribuye que los botaderos se caracterizan por contener compuestos orgánicos que en conjuntos afectan la DBO₅ y la DQO; también existe la presencia de sales inorgánicas, metales pesados, grandes cargas bacterianas altas, sólidos suspendidos y el pH alto es un indicador de madurez del vertedero en condiciones aeróbicas.

Los resultados de la caracterización de los diversos parámetros físicos, químicos y microbiológicos considerados en todas las investigaciones, determinaron concentraciones elevadas que sobrepasaron los LMP, debido a la cantidad considerable de residuos que fueron depositados en estos espacios a cielo abierto; sumado a esto, que más del 60 % de los residuos fueron de origen orgánico, quienes representan una de la fuente principal para la producción de residuos líquidos (lixiviado) con un alto poder contaminante. Asimismo, otros de los factores que condicionaron la concentración de los lixiviados fue la variabilidad de las características de los residuos, debido a la composición, edad, humedad y disponibilidad de oxígeno, diseño y operación del vertedero, hidrología del lugar, la tasa de precipitaciones, compactación y el diseño de la cobertura (Espinosa *et al.*, 2010). Estos resultados al ser comparados con lo establecido por Hickman (1999) se evidenció que los valores de la DQO pertenecieron a un lixiviado maduro mayor a 10 años, ya que las concentraciones fueron menores a 4 000 mg/L; no obstante, la relación DBO₅/DQO para lixiviados mayores a 10 años (<0,1), no coincidió con la obtenida en la presente investigación (0,49), de hecho tampoco coincidió para los lixiviados jóvenes menores de cinco años (>0,3), esto se debió a la constante generación de lixiviados que se originan en el botadero de Residuos Sólidos Municipales de Nueva Cajamarca, lo que hace que la concentración de contaminantes se incremente de forma constante.

4.2. Implementación a escala piloto del sistema de tratamiento, mediante humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal con las especies *Heliconia psittacorum* y *Eichhornia crassipes*

El sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal con *Heliconia psittacorum* y *Eichhornia crassipes* implementado para evaluar la efectividad de remoción coliformes totales, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y otros es más efectivo con la utilización de plantas de *Eichhornia crassipes*, debido a que facilitó la remoción mucho mejor en los tiempos evaluados. Por ejemplo, Madueño y Orellana (2021) quienes implementaron el sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal con distintas plantas al nuestro (*Myriophyllum quitense* y *Elodea densa*) lograron una remoción de contaminantes del lixiviado del relleno sanitario Cepasc, ambos lograron una reducción de la DQO en 221, 74 mg/L, para la DBO₅ la reducción fue de 169,4 mg/L, en un periodo de tiempo de 30 días.

Asimismo, Segura y Rocha (2019) en un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal (HAFSSH) a través de la especie macrófita carrizo (*Phragmites australis*), lograron una remoción de los coliformes totales a una concentración de 2 400 NMP/100 mL post tratamiento. En tanto, Baldeón y Chávez (2023) implementaron un sistema similar al nuestro asociado con la especie *Eichhornia crassipes*, los resultados obtenidos fueron muy efectivos al remover SST hasta un 57,0 %, DBO₅ en 84, 0 % y DQO en 86,0 %, mientras que, los coliformes fueron removidos al 100, 0 %; también este sistema facilitó la reducción de olores.

Rousseau *et al.* (2014) atribuyeron que los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, además de mejorar la calidad del agua, pueden funcionar como áreas de desarrollo natural, áreas recreativas y reservas de agua. Este sistema lo caracteriza por tener grava en distintos tamaños acompañados de raíces de las plantas, no se debe incorporar tierra, debido a que afecta al lecho filtrante, esta última indicación difiere con respecto al sistema implementado, debido a que el sistema, implementado fue incorporado compost para facilitar el crecimiento de las plantas. Mientras que, Sheridan *et al.* (2013) manifestaron que los humedales para tratar aguas residuales o lixiviados suelen estar construidos por un lecho

filtrante de arena, grava en distintos tamaños, tierra, arcilla y otros materiales. Igualmente, Leto *et al.* (2013) afirma que estos sistemas son exitosos al incorporarlo especies de macrófitas, debido a que suministra el transporte de oxígeno mediante las raíces, facilitando el proceso aeróbico y la degradación de los contaminantes.

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal acompañado macrófita *Eichhornia crassipes* redujeron significativamente los coliformes totales, estabilizaron el pH, DBO₅, DQO, SST, P-total y N-amoniaco, Igualmente, Bulc (2006) atribuye a esta infraestructura una excelente alternativa de bajo costo para tratar aguas contaminadas con una notable eficiencia. En tanto, los resultados obtenidos difieren del sistema implementado por Zurita *et al.* (2009) quienes implementaron y evaluaron la eficiencia de remoción de contaminantes en humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal y vertical, cuyos resultados obtenidos fueron una eliminación sobre el 80,0 % para el sistema horizontal. García *et al.* (2005) señala que la profundidad del sistema es factor influyente importante y esta debe estar sobre los 0,5 m; situación que se asemeja a la profundidad del sistema implementado.

López *et al.* (2023) evaluaron dos tecnologías de humedales artificiales entre ellas de flujo horizontal subsuperficial y otra de flujo laminar libre asociado con macrófitas entre ellas *Pontederia cordata*, *Eichhornia crassipes* y *Sagittaria latifolia* quienes aduce que ambos sistemas redujeron los mismos niveles en DQO 89,2 %, nitrógeno total en 87,0 % y fósforo total fue de 84,8 %. Igualmente, Quintero (2014) evaluó los mismos sistemas con especies de macrófitas de *Heliconia psittacorum* Lf y *Lema minor*, aunque siendo un poco más lento en la primera especie por el proceso de adaptación al medio, los resultados de los parámetros indicaron que el primer sistema el pH fue más ácido y más neutro en el sistema superficial, los STS lo redujeron en un 90 %, el DQO fue de 87 % y el DBO₅ si fue diferenciado entre ambos sistemas alcanzados 38,7 y 23,1 %, estos resultados difieren del experimento instalado, debido a que, los resultados de remoción obtenidos en el experimento fueron muy superior a los obtenidos por Quintero (2014). En general, estos sistemas deben mantenerse en condiciones aeróbicas, porque la degradación de la materia orgánica y otros elementos, se realizan por la acción de los microorganismos aeróbicos, evitando así los malos olores asociados a los procesos de descomposición (Camacho y Ordoñez, 2008).

4.3. Comparación de la eficiencia de remoción de lixiviados por las especies *Heliconia psittacorum* y *Eichhornia crassipes*

Los resultados de las comparaciones sobre la eficiencia de remoción de los lixiviados, según cada tratamiento y especie utilizada, determinaron que, en ambos tratamientos, la reducción de la concentración de los parámetros considerados fue significativa. En el tratamiento T1 (*Heliconia psittacorum*), la remoción máxima de coliformes totales fue a los 60 días de iniciado el tratamiento, alcanzando un 97,87 %; igualmente, para el tratamiento T2 (*E. crassipes*), logrando un 99,79 %. Para los SST, el tratamiento T1 alcanzó la máxima remoción a los 90 días, con 84,73 % y para el tratamiento T2, la máxima remoción fue a los 90 días con 88,85 %. En cuanto a la DBO₅, el tratamiento T1 logró una máxima remoción a los 90 días con 56,40 % y para el tratamiento T2 la máxima fue a los 60 días con 68,31 %. Para la DQO, los tratamientos T1 y T2 alcanzaron la máxima remoción a los 90 días, obteniendo 64,42 y 65,57 %, respectivamente. En cuanto al P-total, los tratamientos T1 y T2, alcanzaron la máxima remoción a los 90 días, con 85,46 y 84,41 %; finalmente, para el N-amoniaco, el tratamiento T1 obtuvo la máxima remoción a los 90 días con 89,79 % y para el tratamiento T2 fue a los 60 días, alcanzando un 90,17 %, respectivamente.

Resultados similares encontraron Segura y Rocha (2019), quien en la investigación sobre “Eficiencia de remoción de contaminantes de lixiviados generados en un relleno sanitario”, alcanzaron una eficiencia de remoción de la DBO₅ a los cinco días después del inicio del tratamiento con 86 %, con un lixiviado diluido al 3 %; para los coliformes termotolerantes, la máxima remoción fue a los 15 días, alcanzando un 99,9 %, con un lixiviado diluido al 1 %. Por otro lado, Torres *et al.* (2017) en el estudio sobre “Evaluación de la eficacia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante humedales artificiales”, obtuvieron para la DBO₅ una remoción máxima de 84 %; mientras que, para los coliformes totales, la remoción fue de 89 %. Asimismo, Flores (2014) en la investigación sobre “Aplicación de humedal artificial con macrófitas flotantes en la recuperación de aguas residuales domésticas”, obtuvo como resultado para la DBO₅ una eficiencia del 90 %; para la remoción de coliformes fecales la eficiencia fue 90 % y para los SST fue de 93 %, a 60 cm de profundidad del humedal artificial.

Rodríguez y Vargas (2019) en el estudio sobre “Evaluación del potencial de humedales artificiales piloto, implementados con *Heliconia psittacorum* para la remediación de aguas residuales domésticas de bajo caudal para zonas rurales del Piedemonte Llanero”, obtuvieron una eficiencia de remoción de DBO₅ de 86,5 %, para la DQO fue de 76,10 % y para los SST fue de 76,40 %. Ruedas (2017) en la investigación sobre “Diseño y evaluación de un sistema piloto a partir de plantas bio acumuladoras para la purificación de lixiviados generados en el parque tecnológico ambiental Las Betas”, para la especie *Heliconia psittacorum* obtuvo una eficiencia en la remoción de la DBO₅ de 71,23 %; para DQO fue 48,23 % y para SST la remoción fue de 84,61 %; mientras que, con la especie *P. purpureum* obtuvo una remoción de la DBO₅ del 71,23 %, para la DQO fue de 54,10 % y para los SST fue de 77,98 %. Vymazal (2018) atribuye que los lechos filtrantes con grava pequeña (< 5 mm), arena más plántulas en su primer funcionamiento son excelentes limpiadores de aguas contaminadas, sin embargo, esto va depender de la carga de SST, debido que estos con el pasar del tiempo van taponando los poros del lecho y en conjunto con las raíces de las plantas terminan generando encharcamiento, por lo que es recomendable usar materiales entre 5 a 20 mm.

La eficiencia de remoción de contaminantes de los lixiviados mediante el uso de estas plantas fitorremediadoras, en todas las investigaciones, se debió principalmente a que estas utilizan el oxígeno y dióxido de carbono disponible en la atmósfera, para el proceso de la fotosíntesis, donde los nutrientes son tomados del agua a través de las raíces, los cuales también actúan como un medio de filtración para los sólidos suspendidos; sumado a esto, el lecho filtrante que componen los humedales artificiales. Asimismo, la eliminación microbiana del lixiviado se debe gracias al oxígeno que las plantas transportan desde la atmósfera, hasta su sistema radicular. Por otro lado, la estacionalidad también juega un rol importante en este proceso de fitorremediación, ya que, en épocas de verano suelen remover grandes cantidades de fósforo (Martelo y Lara, 2012). Además, el crecimiento de estas especies bajo condiciones tóxicas, como los lixiviados, se debe principalmente a que estas presentan características inconstantes en la capacidad de acopiar y transformar compuestos orgánicos e inorgánicos a través de procesos de filtración, adsorción y bio absorción (Sánchez *et al.*, 2022).

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. La evaluación de la composición física, química y microbiológica de los lixiviados del botadero Municipal de Nueva Cajamarca, presentaron una elevada concentración de los parámetros considerados, los cuales sobrepasaron los límites máximos permisibles (LMP), con excepción del pH (7,60) y T (25,80 °C), quienes estuvieron por debajo de los valores establecidos. La concentración de los coliformes totales, alcanzaron los 230 000 NMP/100 mL, los SST obtuvieron una concentración de 260 mg/L, la DBO₅ fue de 344 mg OD/L, la DQO fue de 697 mg/L, el P-total fue de 6,78 ppm y el N-amoniaco fue de 180,10 ppm.
2. Los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal asociado a la macrófita *Eichhornia crassipes* y *Heliconia psittacorum* tuvieron buena eficiencia de remoción de contaminantes que con respecto al tratamiento T0 que superaron los LMP, además influyó mucho la profundidad de los sistemas y la adaptación de las plantas en los primeros meses. El proceso de remoción de contaminantes con esta tecnología osciló entre los 60 a 90 días. Su uso representa una buena alternativa amigable con el ambiente en el proceso de remoción de contaminantes.
3. La eficiencia de remoción de los contaminantes de los lixiviados evaluados con el tratamiento T1 (*Heliconia psittacorum*), con relación a coliformes totales fue a los 60 días (97,87 %); mientras que, para la DBO₅ (56,30 %), la DQO (64,32 %), SST (84,81 %), P-total (84,98 %) y N-amoniaco (89,83 %), la mayor eficiencia de remoción fue a los 90 días de iniciado el tratamiento. Asimismo, para el tratamiento T2 (*Eichhornia crassipes*), la mayor remoción de contaminantes en cuanto a la DBO₅ (68,12 %) y el N-amoniaco (90,16 %), fue a los 60 días de iniciado el tratamiento; mientras que, para los coliformes totales (95,20 %), la DQO (65,49 %), SST (88,87 %) y P-total (84,41 %) fue mayor a los 90 días después del inicio del tratamiento.

4. La eficiencia de remoción de los contaminantes de los lixiviados según cada tratamiento, determinó que el T2 fue el más eficiente al remover cuatro parámetros (DBO5, DQO, SST y N-amoniaco) de los seis parámetros evaluados, mientras que la DBO5 y la DQO, la remoción no presentó diferencias significativas respectivamente. Asimismo, en cuanto al tratamiento T1, esta presentó mayor eficiencia en la remoción de los coliformes totales y el P-total. Ambos tratamientos (T1 y T2) destacan favoreciendo la remoción de un contaminante más que otro.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

1. Las especies *Heliconia psittacorum* (Sessé y Moc) y *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, pueden ser empleadas como un tratamiento biológico, pero es recomendable emplear otro sistema de remoción de contaminantes complementario para el tratamiento de los lixiviados, como el método compuesto por cuatro etapas: a) procesos de coagulación/floculación/sedimentación mediante un coagulante inorgánico; b) adsorción con carbón activado; c) oxidación química mediante el reactivo Fentón y d) membranas de ósmosis inversa; para de esta manera cumplir con los límites máximo permisibles exigido por la ley peruana para este tipo de efluentes.
2. Caracterizar otros parámetros contaminantes que se pueden encontrar en los lixiviados, como metales pesados (Hg, Pb, Cd, Cu, Fe, entre otros) así como medicamentos.
3. Se recomienda ampliar el diseño del sistema de tratamiento de humedales artificiales para evaluar si una población más grande de plantas puede reducir aún más la contaminación de los lixiviados.
4. Se recomienda emplear otras plantas fitorremediadoras como el “pasto vetiver” y “totora”, para determinar cuál de estas especies pueden lograr una mejor remoción de contaminantes debido a la alta concentración de N-amoniaco y P-total presentes en los lixiviados.

REFERENCIAS

- Agencia de Protección Ambiental. (2015). A handbook of constructed wetlands. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/constructed-wetlands-handbook.pdf>
- Agencia de Protección Ambiental. (1993). Guía para el diseño y construcción de un humedal construido con flujos subsuperficiales. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=40001CXS.txt>
- Arias, F. (2012). El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica (6^a ed.). Editorial Episteme, C.A. <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
- Blanco, I. (2014). *Aplicación de humedales artificiales para la depuración de purines de granjas porcinas* [Tesis Doctoral, Universidad de León]. Repositorio Institucional UNILEON. <https://buleria.unileon.es/handle/10612/3669>
- Borda, L. B. E., Chulluncuy, J., L. de J., Montes, G. N. J., Inga, C. M. A., Veliz, M. M. N., Barbaran, A. R. A., Laos, W. V. L. y Muñoz, H. J. Z. (2023). Evaluación de macrófitas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en la neutralización de pH y reducción de sólidos en suspensión de aguas residuales Pichanaqui, Junín (Perú). *Yotantsipanko*, 3(1), 37–48. <https://doi.org/10.54288/yotantsipanko.v3i1.28>
- Borges, M., Pérez, I., Estrada, E. y Meneses (2009). Uso de distintos tratamientos de desinfección en el cultivo in vitro de *Dioscorea alata* L. clon caraqueño. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 11(2), 127–135. <https://www.redalyc.org/pdf/776/77613172013.pdf>
- Bragato, C., Brix, H. y Malagolì, M. (2006). Accumulation of nutrients and heavy metals in *Phragmites australis* (Cav.) Trin Ex Steudel and *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla in a constructed wetland of the Venice lagoon watershed [Acumulación de nutrientes y metales pesados en *Phragmites australis* (Cav.) Trin Ex Steudel y *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla en un humedal artificial de la cuenca de la laguna de Venecia]. *Environmental Pollution*, 144(3), 967-975. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749106000935?via%3Dihub>

- Briceño, K. y Castillo, X. (2009). *Diagnóstico ambiental y plan de manejo para el camal municipal de Zapotillo* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Institucional UNL
<http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5047/1/DIAGN%C3%93STIC%20O%20AMBIENTAL%20Y%20PLAN%20DE%20MANEJO.pdf>
- Bulc, T. G. (2006). Long term performance of a constructed wetland for landfill leachate treatment [Comportamiento a largo plazo de un humedal artificial para el tratamiento de lixiviados de vertedero]. *Ecological engineering*, 26(4), 365-374.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.01.003>
- Caballero, J. y Osorio, R. (2016). *Tratamiento de aguas residuales usando Rhizophora mangle (mangle rojo) para la remoción de nutrientes y materia orgánica en un humedal artificial de flujo vertical* [Tesis de grado, Universidad de Cartagena]. Repositorio institucional UNICARTAGENA.
<https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/3723/Tesis%20Humedal.pdf?sequence=1>
- Camacho, J. y 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* [Tesis de grado, Universidad Pontificia Bolivariana]. Repositorio Institucional UPB.
https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/203/digital_15841.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Carrión, L. y Cuenca, N. (2009). *Bioensayo con macrófitas acuáticas para el tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Pichacay* [Tesis de maestría, Universidad del Azuay]. Repositorio Institucional UAZUAY.
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/2982/1/07569.pdf>
- Cardozo, J. (2014). Evaluación de humedales artificiales pilotos de flujo horizontal y tipo superficial y subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales. *Ingenium Revista de la Facultad de Ingeniería*, 15(29), 85-112.
<https://revistas.usb.edu.co/index.php/Ingenium/article/view/1347/1137>
- Chávez W. (2011). *Tratamiento de lixiviado generados en el relleno sanitario de la Cd. De Chihuahua, Méx.* [Tesis de maestría, Centro de Investigación en Materiales Avanzados]. Repositorio Institucional CIMAV.
<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/858/1/Wendy%20Margarita%20Ch%C3%A1vez%20Montes%20MCTA.pdf>

- Chiriboga, H. (2016). *Evaluación del potencial fitorremediador de dos especies vegetales (chrysopogon zizanioides. (l.) Roberty) y (eleocharis elegans. (kunth) roem. y schult.) en la piscina de lixiviados del botadero controlado del cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Institucional UNL. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17601/1/TRABAJO%20DE%20TITULACION%20HENRRY%20CHIRIBOGA.pdf>
- Chung, A. K. C., Wu, Y., Tam, N. Y. y Wong, M. H. (2008). Nitrogen and phosphate mass balance in a sub-surface flow constructed wetland for treating municipal wastewater [Balance de masa de nitrógeno y fosfato en un humedal artificial de flujo subterráneo para el tratamiento de aguas residuales municipales]. *Ecological Engineering*, 32(1), 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.09.007>
- 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* [Tesis de grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/657/EFICIENCIA%20DEL%20JACINTO%20DE%20AGUA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Decreto 2981 de 2013 [Con fuerza de ley]. Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. 20 de diciembre de 2013. D.O. No. 49010.
- Decreto Supremo N° 003 de 2010 [Con fuerza de ley]. Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento Residuales Domésticas o Municipales. 24 octubre de 2016. D.O. No. 415676.
- Delgadillo A., Gonzales C., Prieto F., Villagómez J. y Acevedo O. (2011). Fitorremediación: Una Alternativa para Eliminar la Contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597-612. ISSN: 1870-0462. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93918231023.pdf>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. y Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA). <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- Droppelmann, C. y Oettinger, M. (2009). Tratamiento en lodo activado del lixiviado de un relleno sanitario. *Información Tecnológica*, 20(1), 11-19. <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v20n1/art03.pdf>

- Estrada, I. (2010). *Monografía Sobre Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales* [Documento de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/2821a904-67ff-4a94-a60f-9c9fec1232d7/content>
- Espinoza, M., López, T., Pellón, A., Gutiérrez, J., León, Y., Álvarez, Y., Correa, O., Rodríguez, X., Morejón, R., Oña, A., Robert, M., Agramonte, M., García, Y., Gonzales, A., Rodríguez, N. y Fernández, A. (2010). Caracterización de los lixiviados del vertedero de residuos sólidos urbanos “Calle 100”, ciudad de la Habana, Cuba. *Revista cubana de química*, 22(1), 27-35. <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543719005.pdf>
- Flores, M. (2014). *Aplicación De Humedal Artificial Con Macrófitas Flotantes En La Recuperación De Las Aguas Residuales Domésticas, Moyobamba – San Martín* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio UNSM. https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/2390/1/TP_ISA_00015_2014.pdf
- Fomento de Técnicas Extremeñas (2019). Estudio y seguimiento de la reproducción sexual de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms – Laub en el río Guadiana. https://www.chguadiana.es/sites/default/files/2020-03/Memoria_reproduccion_sexual_camalote_2019.pdf
- García, J. y Corzo, A. H. (2008). *Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/2474/JGarcia_and_ACorzo.pdf
- García, J., Aguirre, P., Barragán, J., Mujeriego, R., Matamoros, V., y Bayona, J. M. (2005). Effect of key design parameters on the efficiency of horizontal subsurface flow constructed wetlands [Efecto de los parámetros clave de diseño sobre la eficiencia de los humedales artificiales de flujo subterráneo horizontal]. *Ecological Engineering*, 25(4), 405-418. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.06.010>
- Gonzales, J. (2018) *Evaluación del riesgo ambiental que genera la planta de tratamiento de residuos sólidos de la ciudad de Cajamarca debido al manejo de los lixiviados* [Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2238>.
- Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2008). *Análisis y Diseño De Experimentos* (2ª ed.). McGraw-Hill / Interamericana Editores. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf

- Haberl, R., Grego, S., Langergraber, G., Kadlec, R., Cicalini, A., Dias, S., Novais, J., Aubert, S., Gerth, A., Thomas, H. y Hebner, A. (2003). Constructed wetlands for the treatment of organic pollutants [Humedales artificiales para el tratamiento de contaminantes orgánicos]. *Journal of Soils y Sediments*, 3(2), 109-124. DOI: <http://dx.doi.org/10.1065/jss2003.03.70>
- Hernández R., Fernández C. y Baptista M. (2014). Metodología de la Investigación (6ª edición). McGraw-Hill / Interamericana Editores. https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Hickman, L (1999). Integrated solid waste management. American Academy of Environmental Engineers.
- Lara, J. (1999). *Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales* [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña, Instituto Catalán de Tecnología]. <http://www.geocities.com/jalarab/>.
- Leto, C., Tuttolomondo, T., La Bella, S., Leone, R., y Licata, M. (2013). Effects of plant species in a horizontal subsurface flow constructed wetland–phytoremediation of treated urban wastewater with *Cyperus alternifolius* L. and *Typha latifolia* L. in the West of Sicily (Italy). [Efectos de las especies de plantas en un humedal artificial de flujo subterráneo horizontal: fitorremediación de aguas residuales urbanas tratadas con *Cyperus alternifolius* y *Typha latifolia* L. en el oeste de Sicilia (Italia)]. *Ecological engineering*, 61(1), 282-291. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.014>
- Londoño L. y Marín C. (2009). *Evaluación de la Eficiencia de Remoción de Materia Orgánica en Humedales Artificiales de Flujo Horizontal Subsuperficial Alimentados con Agua Residual Sintética* [Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira]. Repositorio institucional UTP. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/b1db3d1f-8722-4586-b894-7e9fc405dd27/content>
- López Ocaña, G., Estrada Pérez, N., Aguilar Pérez, G., Alonso Mendoza, E. C., y Torres Balcázar, C. A. (2023). Degradación de contaminantes en humedales artificiales en serie con especies macrófitas del trópico húmedo. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 12(24), 19-48. <https://doi.org/10.23913/ciba.v12i24.122>

- Madera, C., Peña, E. y Solarte, J. (2014). Efecto de la concentración de metales pesados en la respuesta fisiológica y capacidad de acumulación de metales de tres especies vegetales tropicales empleadas en la fitorremediación de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios. *Ingeniería y Competitividad*, 16(2), 179-188. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/669ace7b-d2fa-40ea-a46f-9e48915cf941/content>
- Madueño, P. y Orellana, Q. (2021). *Efecto fitorremediador de las especies Myriophyllum quitense y Elodea densa en la remoción de contaminantes del lixiviado del relleno sanitario Cepasc – Concepción, 2021* [Trabajo de grado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12380/4/IV_FIN_107_TE_Madueno_Orellana_2021.pdf
- Mañara, E. (2015). *Determinación del tiempo de residencia de las aguas en los humedales artificiales de flujo vertical* [Trabajo de grado, Universidad de Cartagena]. Repositorio Institucional Unicartagena. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/2923/TIEMPO%20DE%20RESIDENCIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martelo, J. y Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: Una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 8(15), 221-243. <https://www.redalyc.org/pdf/835/83524069011.pdf>
- Mazza, G. (2007). *Heliconia psittacorum*. <http://www.photomazza.com/?Heliconia-psittacorum&lang=es>.
- Muramoto, S., Aoyama, I. y Oki, Y. (1991). Effect of salinity on the concentration of some elements in water hyacinth (*E. crassipes*) at critical levels [Efecto de la salinidad sobre la concentración de algunos elementos en jacinto de agua (*E. crassipes*) en niveles críticos]. *Journal of Environmental Sciences and Health Part A*, 26(2), 205-215. <https://doi.org/10.1080/10934529109375628>
- Murillo, A. y Montañez, M. (2022). *Capacidad fitorremediadora del Schoenoplectus americanus y Eichhornia crassipes sobre la concentración de cianuro en el efluente de la Mina Paltarumi S.A.C., Barranca, 2020* [Tesis de grado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio institucional UCSS. https://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14095/1578/Murillo_Montanez_tesis_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Navarrete, C. D. C., Zambrano, B. L. L., Moreira, L. S. Y. y Uriña, C. V. U. (2024). Evaluación de especies vegetales *Eichhornia Crassipes*; *Lemna Minor* L para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario del Cantón Santa Lucía-Guayas. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 8(51), 59–85. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol8iss51.2024pp59-85>
- Naveen, B. P., Mahapatra, D. M., Sitharam, T. G., Sivapullaiah, P. V. y Ramachandra, T. V. (2017). Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate [Caracterización físico-química y biológica de lixiviados de vertederos municipales urbanos]. *Environmental Pollution*, 220(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.002>
- Noguera, K. y Olivero, J. (2010). Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 34(132), 347-356. https://www.accefyn.com/revista/Vol_34/132/347-356.pdf
- Núñez, E. (2019). *Evaluación de la eficiencia del sistema de fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, Zantedeschia aethiopica y Eichhornia crassipes en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural Quechua - Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional UPEU. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1797>
- Núñez, R., Meas, Y., Ortega, R. y Olgúin, E. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Revista Ciencia*, 1(1), 69-82. http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf
- Ordenanza Municipal 09 de 2018 [Municipalidad Distrital de Nueva Cajamarca]. Ordenanza que aprueba la actualización del plan de manejo de residuos sólidos en el distrito de Nueva Cajamarca. 14 de agosto de 2018.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). Fiscalización ambiental en residuos sólidos de la gestión municipal provincial. Informe 2014-2015. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=16983
- Orihuela, J. (2018). Un análisis de la eficiencia de la gestión municipal de residuos sólidos en el Perú y sus determinantes. Instituto Nacional de Estadística e informática. <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/investigaciones/residuos-solidos.pdf>

- Peñarrieta, C., Piñuela, A., Portillo, A. y Posas, A. (2001) Manual para el manejo de flores de corte. Zamorano. Colombia. https://catalogo.zamorano.edu/cgi-bin/koha/opacdetail.pl?biblionumber=23635&shelfbrowse_itemnumber=32163
- Pérez, M. (2009). *Selección de plantas acuáticas para establecer humedales en el estado de Durango* [Tesis doctoral, Centro de Investigación de Materiales Avanzados, S.C]. Repositorio Institucional. <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/598/1/Tesis%20Ma.%20Elena%20P%C3%A9rez%20L%C3%B3pez.pdf>
- Rodríguez, S. y Vargas, Y. (2019). *Evaluación del potencial de humedales artificiales piloto, implementados con la especie Heliconia psittacorum, en la remediación de aguas residuales domésticas de bajo caudal para zonas rurales del piedemonte llanero.* [Tesis de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/16743/2019saraRodriguez.pdf?sequence=13&isAllowed=y>
- Romero, J. (2002). *Calidad del Agua* (1ª ed.). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rousseau, D. P. L., Vanrolleghem, P. A., y De Pauw, N. (2004). Model-based design of horizontal subsurface flow constructed treatment wetlands: a review [Diseño basado en modelos de humedales de tratamiento construidos con flujo subterráneo horizontal: una revisión]. *Water Research*, 38(6), 1484–1493. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.12.013>
- Ruedas, L. (2017). *Diseño y evaluación de un sistema piloto a partir de plantas hiperacumuladoras para la depuración de los lixiviados generados en el parque tecnológico ambiental “Las Bateas” del municipio de Aguachica Cesar* [Tesis de grado, Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña]. Repositorio Institucional UFPSO <http://repositorio.ufpso.edu.co/xmlui/bitstream/handle/123456789/1650/30031.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sainz, J. (2005). *Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales* (1ª ed.). Fundación EOI. <https://www.eoi.es/sites/default/files/savia/documents/componente48655.pdf>
- Sánchez, E., Polanco, M. y Gelpud, C. (2022). Construcción de humedales artificiales a escala laboratorio para el estudio de cuatro especies vegetales nativas como alternativa para la descontaminación de lixiviados generados en el relleno sanitario, municipio de Mocoa, Putumayo. *Universidad de Manizales*. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/6204>

- Sánchez, L., y Fabián, Y. (2016). *Diseño y Evaluación de un Sistema Piloto para la Descontaminación de Aguas Residuales Generadas en la Ufpso, Empleando las Especies Costus Spicatus y Heliconia psittacorum* [Tesis de maestría, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Repositorio Institucional UFPSO. <http://repositorio.ufpso.edu.co/xmlui/handle/123456789/1519>
- Segura, P. y Rocha, W. (2019). *Eficiencia de remoción de contaminantes de lixiviados generado en un relleno sanitario, mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal a través de la especie macrófita emergente carrizo (phragmites australis)* [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional UPEU. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1942>
- Sheridan, C. M., Glasser, D., y Hildebrandt, D. (2014). Estimating rate constants of contaminant removal in constructed wetlands treating winery effluent: A comparison of three different methods. [Estimación de constantes de tasa de eliminación de contaminantes en humedales artificiales que tratan efluentes de bodegas: una comparación de tres métodos diferentes]. *Process Safety and Environmental Protection*, 92(6), 903-916. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2013.09.004>
- Tilley E., Ulrich L., Lüthi C., Reymond P., Schertenleib R. y Zurbrügg C. (2018). Humedal artificial de flujo vertical. BID Mejorando vidas. <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/humedal-artificial-de-flujo-vertical>
- Torres, J., Magno, J., Pineda, R., y Cruz, M. (2017). Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante humedales artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis*, en Carapongo-Lurigancho. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 3(2), 48-64. <https://doi.org/10.17162/riectd.v3i2.657>
- Vymazal, J. (2005). Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment [Sistemas de flujo subterráneo horizontal y humedales artificiales híbridos para el tratamiento de aguas residuales]. *Ecological Engineering*, 25(5), 478–490. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.07.010>
- Vymazal, J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands [Eliminación de nutrientes en diversos tipos de humedales artificiales]. *Science of the total environment*, 380(1-3), 48-65. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.09.014>

- Vymazal, J. (2018). Does clogging affect long-term removal of organics and suspended solids in gravel-based horizontal subsurface flow constructed wetlands? [¿La obstrucción afecta la eliminación a largo plazo de sustancias orgánicas y sólidos suspendidos en humedales artificiales de flujo subterráneo horizontal a base de grava?]. *Chemical Engineering Journal*, 331(1), 663-674. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.09.048>
- Zevallos, M. (2019). *Sistema de tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Zapallal utilizando nanofiltros de grafeno con hierro, 2019* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/83452/Zevallos_CMP-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Zurita, F., De Anda, J., y Belmont, M. A. (2009). Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands [Tratamiento de aguas residuales domésticas y producción de flores comerciales en subsuelo vertical y horizontal - humedales artificiales de flujo]. *Ecological engineering*, 35(5), 861-869. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.12.026>

TERMINOLOGÍA

Botadero. Son puntos de acopio ilícito de desechos sólidos que afectan de manera adversa, generando focos patógenos de gran extensión para el ambiente y la salud de los individuos. Albergan residuos municipales y no municipal (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014).

Contaminación del agua: El agua superficial se contamina cuando se arrojan residuos sólidos a los cuerpos de agua (ríos, arroyos, lagos). El agua subterránea se contamina por los lixiviados (líquidos generados por la descomposición de residuos orgánicos), que se filtran en el suelo de los botaderos (OEFA, 2014)

Residuos sólidos. Los residuos sólidos son los restos de actividades humanas, considerados por sus generadores como inútiles, indeseables o desechables, pero que pueden tener utilidad para otras personas (Chávez, 2011).

Tiempo de Retención Hidráulica (TRH): Es el periodo en que el agua residual contacta el sustrato y el sistema radicular, permitiendo la descomposición por microorganismos, el cual puede variar entre 2 y 10 días, utilizando intervalos específicos de 2, 5 y 8 días para análisis más precisos (Caballero y Osorio, 2016)

Turbidez. Propiedad que es originada por la acumulación de sólidos en suspensión en forma de partículas de diversas dimensiones, estas pueden estar compuestas por coloides, limo, arcillas, materia orgánica como también inorgánica y microorganismos (Romero, 2002).

Vector. Cualquier organismo vivo no microbiano que comience su ciclo de vida en el agua contaminada o no contaminada y que actúa como transmisor de enfermedades de un organismo a otro (Briceño y Castillo, 2009).

APÉNDICES

Apéndice 1

Autorización para realizar la investigación

**MUNICIPALIDAD DISTRICTAL DE NUEVA CAJAMARCA**
GERENCIA DE DESARROLLO ECONOMICO, AGROPECUARIO Y AMBIENTE

"Año de la Lucha Contra la Corrupción e Impunidad"

Nueva Cajamarca, 09 de Setiembre del 2019.

CARTA N° 179-2019-GDEAyA/MDNC

Srtas.
Roció Cachay Pérez
Rudith J. Romero Carbajal
Ciudad

ASUNTO : RESPUESTA A SOLICITUD PARA REALIZAR ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN.

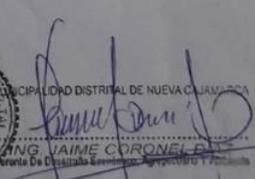
REF. : SOLICITUD S/N DE FECHA 28 DE AGOSTO DEL 2019

Es grato dirigirme a ustedes, para saludarle cordialmente a nombre de la Gerencia de Desarrollo Económico Agropecuario y Ambiente, al mismo tiempo, en atención al documento de la referencia, manifestarle que la M.D.N.C., actualmente realiza la disposición final de los Residuos Sólidos en el Botadero Municipal, ubicado en el Sector Ramiro Priale de una extensión de 1 Hectárea aproximadamente administrado por la Municipalidad mediante contrato privado de alquiler.

Es prioridad de esta gestión contar con información científica que coadyuve a mejorar la disposición final de los residuos sólidos, en tal sentido, conocedores del interés por realizar la investigación denominada **"Eficiencia de especies fitorremediadoras en humedades artificiales de flujo subsuperficial horizontal para la remoción de contaminantes del lixiviados del Botadero de Nueva Cajamarca – Región San Martín"**, se ha coordinado Autorizar el permiso para realizar el trabajo de investigación no sin antes debiendo presentar formalmente la casa superior de estudios al equipo investigador y la propuesta de investigación debidamente aprobada por la Universidad, dirigidos al titular de la entidad.

Sin otro particular, me suscribo de usted, no sin antes reiterarle las muestras de mi especial consideración y estima.

Atentamente,


ING. JAIME CORONEL DÍAZ
Gerente de Desarrollo Económico, Agropecuario y Ambiente



Cc. Archivo
JCD/GDEA
GVJ/Ses

Av. Cajamarca Norte cuadra 03, Local del Ministerio de Agricultura
A un costado de la Comisión de Regantes El Independiente – cruce a La Florida

Apéndice 2

Resultados del proceso experimental de lixiviados de botadero municipal según tratamiento y tiempo de valuación experimental

Trat.	Parámetros	Unidad	Valores de entrada	Repeticiones 30 días			Repeticiones 60 días			Repeticiones 90 días		
				R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Testigo (Sustrato + lixiviado)	Colif. totales	NMP/100mL	230000	142500,00	145000,00	144500,00	80500,00	75500,00	60000,00	70000,00	75000,00	80000,00
	pH	Unidad pH	7,6	7,60	7,00	7,54	6,90	6,61	6,69	7,50	7,45	7,00
	Temperatura	°C	25,8	25,80	24,50	22,00	27,00	26,70	27,50	27,00	25,60	26,50
	DBO5	mg OD/L	344	234,00	230,00	235,00	190,00	200,00	195,00	188,00	190,00	180,00
	DQO	mg/L	697	420,00	425,00	420,00	360,00	365,00	385,00	261,50	265,80	270,90
	SST	mg/L	260	200,00	197,00	197,00	61,00	60,50	69,50	46,00	45,00	44,00
	P-total	P, mg/L	6,78	6,78	6,40	6,10	5,90	5,50	5,00	4,30	3,90	3,50
	N. Amoniacal	mg N-NH3/L	180,1	180,10	173,50	148,90	98,90	88,00	82,10	30,50	32,00	30,50
Trat. 1 (<i>H. psittacorum</i>)	Colif. totales	NMP/100mL	230000	49500,00	49000,00	48500,00	4900,00	4760,00	5040,00	13000,00	12790,00	13210,00
	pH	Unidad pH	7,6	7,50	7,00	7,20	7,00	7,20	6,90	7,10	7,00	7,10
	Temperatura	°C	25,8	24,60	25,10	24,30	21,20	21,40	21,10	23,40	21,60	22,10
	DBO5	mg OD/L	344	280,00	282,00	278,00	158,00	160,00	156,00	150,00	145,00	155,00
	DQO	mg/L	697	670,00	665,00	675,00	340,00	330,00	350,00	248,00	253,00	243,00
	SST	mg/L	260	190,40	195,60	189,40	48,55	48,29	48,66	39,90	40,00	39,20
	P-total	P, mg/L	6,78	4,48	4,40	4,57	6,18	6,19	6,15	0,987	1,060	0,910
	N. Amoniacal	mg N-NH3/L	180,1	51,60	50,50	52,73	21,76	21,43	22,08	18,38	17,98	18,78
Trat. 2 (<i>E. crassipes</i>)	Colif. totales	NMP/100mL	230000	7950,00	7800,00	7950,00	490,00	485,00	495,00	11000,00	10900,00	11100,00
	pH	Unidad pH	7,6	7,30	7,20	7,20	6,90	7,00	6,90	7,40	7,30	7,40
	Temperatura	°C	25,8	24,50	23,60	24,10	22,10	22,00	22,10	22,90	22,50	22,00
	DBO5	mg OD/L	344	133,00	130,00	127,00	109,00	112,00	106,00	129,00	131,00	130,00
	DQO	mg/L	697	375,00	378,00	375,00	238,00	242,00	240,00	240,00	237,00	243,00
	SST	mg/L	260	175,00	161,00	168,00	33,00	32,00	34,00	29,50	28,50	29,00
	P-total	P, mg/L	6,78	2,47	2,45	2,50	2,00	1,76	1,58	1,06	1,05	1,06
	N. Amoniacal	mg N-NH3/L	180,1	55,93	55,41	56,42	17,70	17,63	17,80	24,11	24,22	23,99

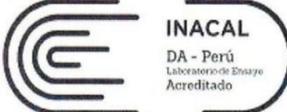
Apéndice 3

Valores de porcentajes de remoción de los parámetros evaluados de los lixiviados del botadero de Nueva Cajamarca

Trat.	Parámetros	Porcentajes (%) de remoción 30 días				Promedio	Porcentajes (%) de remoción 60 días				Promedio	Porcentajes (%) de remoción 90 días				Promedio
		R1	R2	R3			R1	R2	R3			R1	R2	R3		
Testigo (Sustrato + lixiviado)	Colif. totales	38,04	36,96	37,17	37,39	65,00	67,17	73,91	68,70	69,57	67,39	65,22	67,39			
	pH	0,00	7,89	0,79	2,89	9,21	13,03	11,97	11,40	1,32	1,97	7,89	3,73			
	Temperatura	0,00	5,04	14,73	6,59	-4,65	-3,49	-6,59	-4,91	-4,65	0,78	-2,71	-2,20			
	DBO5	31,98	33,14	31,69	32,27	44,77	41,86	43,31	43,31	45,35	44,77	47,67	45,93			
	DQO	39,74	39,02	39,74	39,50	48,35	47,63	44,76	46,92	62,48	61,87	61,13	61,83			
	SST	23,08	24,23	24,23	23,85	76,54	76,73	73,27	75,51	82,31	82,69	83,08	82,69			
	P-total	0,00	5,60	10,03	5,21	12,98	18,88	26,25	19,37	36,58	42,48	48,38	42,48			
N. Amoniacal	0,00	3,66	17,32	7,00	45,09	51,14	54,41	50,21	83,06	82,23	83,06	82,79				
Trat. 1 (<i>H.</i> <i>psittacorum</i>)	Colif. totales	78,48	78,70	78,91	78,70	97,87	97,93	97,81	97,87	94,35	94,44	94,26	94,35			
	pH	1,32	7,89	5,26	4,82	7,89	5,26	9,21	7,46	6,58	7,89	6,58	7,02			
	Temperatura	4,65	2,71	5,81	4,39	17,83	17,05	18,22	17,70	9,30	16,28	14,34	13,31			
	DBO5	18,60	18,02	19,19	18,60	54,07	53,49	54,65	54,07	56,40	57,85	54,94	56,40			
	DQO	3,87	4,59	3,16	3,87	51,22	52,65	49,78	51,22	64,42	63,70	65,14	64,42			
	SST	26,77	24,77	27,15	26,23	81,33	81,43	81,28	81,35	84,65	84,62	84,92	84,73			
	P-total	33,92	35,10	32,60	33,87	8,85	8,70	9,29	8,95	85,44	84,37	86,58	85,46			
N. Amoniacal	71,35	71,96	70,72	71,34	87,92	88,10	87,74	87,92	89,79	90,02	89,57	89,79				
Trat. 2 (<i>E.</i> <i>crassipes</i>)	Colif. totales	96,54	96,61	96,54	96,57	99,79	99,79	99,78	99,79	95,22	95,26	95,17	95,22			
	pH	3,95	5,26	5,26	4,82	9,21	7,89	9,21	8,77	2,63	3,95	2,63	3,07			
	Temperatura	5,04	8,53	6,59	6,72	14,34	14,73	14,34	14,47	11,24	12,79	14,73	12,92			
	DBO5	61,34	62,21	63,08	62,21	68,31	67,44	69,19	68,31	62,50	61,92	62,21	62,21			
	DQO	46,20	45,77	46,20	46,05	65,85	65,28	65,57	65,57	65,57	66,00	65,14	65,57			
	SST	32,69	38,08	35,38	35,38	87,31	87,69	86,92	87,31	88,65	89,04	88,85	88,85			
	P-total	63,57	63,86	63,13	63,52	70,50	74,04	76,70	73,75	84,37	84,51	84,37	84,41			
N. Amoniacal	68,95	69,23	68,67	68,95	90,17	90,21	90,12	90,17	86,61	86,55	86,68	86,61				

Apéndice 4

Resultados de los análisis de la muestra patrón

	NSF Inassa LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-001	 Registro N° LE-001
INFORME FINAL J-00385655		
Dirección de Entrega: Rocío Cachay Pérez y Rudith Romero WET CHEMICAL PERU SOCIEDAD ANONIMA Pj. Musga Lote. 10-A Z.I. Ex fundo Chacra Cerro (ALT CDRA 7-8 AV. TRAPICHE) Comas, Lima Lima, Peru	Solicitante: C0332495 WET CHEMICAL PERU SOCIEDAD ANONIMA Pj. Musga Lote. 10-A Z.I. Ex fundo Chacra Cerro (ALT CDRA 7-8 AV. TRAPICHE) Comas, Lima Lima, Peru	
<hr/>		
Resultado	Complete	Fecha de Informe
2020-12-23		
Procedencia Botadero Municipal del Distrito de Nueva Cajamarca		
Producto Agua		
Tipo de Servicio Análisis		
Informe de Ensayo N° J-00385655		
Coordinador de Proyecto Julio Manuel Zarate Vargas		
<hr/>		
Gracias por utilizar los servicios de NSF Inassa. Por favor, póngase en contacto con el Coordinador de Proyecto, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen a este informe.		
<hr/>		
Informe Autorizado por	 Ing. Victor Suárez Pérez Evaluador de Informes de Laboratorio C.I.P N° 158244	Fecha de Emisión
		2020-12-23
Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima 32 PERÚ Tel: (511) 616-5200 Email: inassa@nsf.org Web: www.nsfinaassa.pe		
FI20201223131441	J-00385655	pág 1 de 3
ER12-2; Versión 00; 2018-10-22; Documento de referencia PER12-1 El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito de NSF Inassa. Solamente los documentos originales son válidos y NSF Inassa no se responsabiliza por la validez de las copias. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto ni la autorización de uso de la Marca NSF. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados, en la condición de muestra recibida por el laboratorio.		

Información General

Matriz: Agua
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 42684 (Dic-025)
 Muestreado por: Cliente
 Procedencia: Botadero Municipal del Distrito de Nueva Cajamarca
 Referencia: A 2 Km. de la Localidad de Ramiro Prialé

Identificación de Laboratorio: S-0001769501
 Tipo de Muestra: Agua de Proceso
 Identificación de Muestra: Lixiviado
 Fecha y Hora de Muestreo: 2020-12-02 15:06
 Fecha de Recepción de la Muestra: 2020-12-07
 Fecha de Inicio de análisis: 2020-12-07

Análisis	Resultado	Unidad
Microbiología		
*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.		
Coliformes Totales	230 000	NMP/100 mL
Química		
*DBO5. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissolved) - Optical - Probe Method		
DBO5	344	mg OD/L
*DQO. Agua EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)		
DQO	697	DQO mg /L
*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C		
Sólidos Totales en Suspensión	260	mg Solidos Totales Suspendidos /L
Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Validado)		
Fósforo Total	6,78	P, mg/L
N-Amoniacal. Agua. de Proceso / Salina . SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Validado)		
N - Amoniacal	180,1	mg N-NH3/L

Ensayos realizados por:

	<u>Id</u>	<u>Dirección</u>
Ensayos realizados por: →	NSF_LIMA_E	NSF Inassa, Lima, Peru Avenida La Marina 3059 San Miguel Lima, Perú
	NSF_LIMA	NSF Inassa Lab, Lima, Peru Avenida La Marina 3035 San Miguel Lima, Perú

Referencias a los Procedimientos de Ensayo:

Referencia Técnica

IM0302	*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
IQ0694	*DQO. Agua EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)
IQ1009	*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C
IQ1766	*DBO5. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissolved) - Optical - Probe Method
IQ1875	Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Validado)
IQ1883	N-Amoniacal. Agua. de Proceso / Salina . SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Validado)

Descripciones de ensayos precedidos por un *** indican que los métodos no han sido acreditados por el INACAL-DA y la prueba se ha realizado según los requisitos de NSF. De no contar con el *** indica los parámetros asociados a esta(s) muestra(s) se encuentran dentro del alcance de la acreditación y dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

Apéndice 5

Resultados de laboratorio de parámetros de tratamiento testigo a los 30 días

	NSF Inassa LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-001	 Registro N° LE-001
INFORME FINAL J-00388618		
Dirección de Entrega: Rocío Cachay Pérez y Rudith Johana Romero Carbajal RUDITH JOHANA ROMERO CARBAJAL Nueva Cajamarca Nueva Cajamarca, Rioja San Martín, Peru	Solicitante: C0598105 RUDITH JOHANA ROMERO CARBAJAL Nueva Cajamarca Nueva Cajamarca, Rioja San Martín, Peru	
Resultado Complete	Fecha de Informe 2021-02-08	
Procedencia Botadero Municipal Distrital Nueva Cajamarca Producto Agua Tipo de Servicio Análisis Informe de Ensayo N° J-00388618 Coordinador de Proyecto Julio Manuel Zarate Vargas		
Gracias por utilizar los servicios de NSF Inassa. Por favor, póngase en contacto con el Coordinador de Proyecto, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen a este informe.		
Informe Autorizado por	Fecha de Emisión 2021-02-08	
 Ing. Victor Suárez Pérez Evaluador de Informes de Laboratorio C.I.P N° 168244		
Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima 32 PERÚ Tel: (511) 616-5200 Email: inassa@nsf.org Web: www.nsf.inassa.pe		
FI20210208143739 ER12-2; Versión 00; 2018-10-22; Documento de referencia PER12-1	J-00388618	pág 1 de 3
El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito de NSF Inassa. Solamente los documentos originales son válidos y NSF Inassa no se responsabiliza por la validez de las copias. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto ni la autorización de uso de la Marca NSF. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados, en la condición de muestra recibida por el laboratorio.		

Información General

Matriz: Agua
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 42857 (Feb-004)
 Muestreado por: Cliente
 Procedencia: Botadero Municipal Distrital Nueva Cajamarca
 Referencia: A 2 Km. de la Ramiro Priale

Identificación de Laboratorio: S-0001783311
 Tipo de Muestra: Agua de Proceso
 Identificación de Muestra: Lixiviado – Sustrato
 Fecha y Hora de Muestreo: 2021-01-30 17:30
 Fecha de Recepción de la Muestra: 2021-02-01
 Fecha de Inicio de análisis: 2021-02-02

Análisis	Resultado	Unidad
Microbiología		
*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.		
Coliformes Totales	144 000	NMP/100 mL
Química		
*DQO. Agua EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1993. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric, Mid - Level)		
DQO	421,67	DQO mg/L
*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C		
Sólidos Totales en Suspensión	198,0	mg Sólidos Totales Suspendedos /L
DBO5. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissolved) - Optical - Probe Method		
DBO5	233,0	mg O ₂ /L
Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Validado)		
Fósforo Total	6,43	P, mg/L
N-Amónico. Agua. de Proceso / Salina. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Validado)		
N - Amónico	167,50	mg N-NH ₃ /L

Nota(s) del Informe Final:

Coliformes Totales: Resultado referencial por tiempo de vida vencido. El ensayo queda fuera del alcance de Acreditación.

Ensayos realizados por:

	<u>Id</u>	<u>Dirección</u>
Ensayos realizados por: →	NSF_LIMA_E	NSF Inassa, Lima, Peru Avenida La Marina 3059 San Miguel Lima, Peru
	NSF_LIMA	NSF Inassa Lab, Lima, Peru Avenida La Marina 3035 San Miguel Lima, Peru

Referencias a los Procedimientos de Ensayo:

Referencia Técnica

IM0302	*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
IQ0694	*DQO. Agua EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)
IQ1009	*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C
IQ1875	Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Validado)
IQ1877	DBO5. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissolved) - Optical - Probe Method
IQ1883	N-Amoniacal. Agua. de Proceso / Salina . SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Validado)

Descripciones de ensayos precedidos por un "*" indican que los métodos no han sido acreditados por el INACAL-DA y la prueba se ha realizado según los requisitos de NSF. De no contar con el "*" indica los parámetros asociados a esta(s) muestra(s) se encuentran dentro del alcance de la acreditación y dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

Apéndice 6

Resultado de análisis de lixiviado de tratamiento testigo a los 60 días

	NSF Inassa LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-001	 INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N° LE-001
INFORME FINAL J-00391030		
Dirección de Entrega: Rocío Cachay Pérez y Rudith Johana Romero Carbaljal RUDITH JOHANA ROMERO CARBAJAL Nueva Cajamarca Nueva Cajamarca, Rioja San Martín, Peru	Solicitante: C0598105 RUDITH JOHANA ROMERO CARBAJAL Nueva Cajamarca Nueva Cajamarca, Rioja San Martín, Peru	
Resultado Complete	Fecha de Informe 2021-03-22	
Procedencia Botadero Municipal Distrital Nueva Cajamarca Producto Agua Tipo de Servicio Análisis Informe de Ensayo N° J-00391030 Coordinador de Proyecto Julio Manuel Zarate Vargas		
Gracias por utilizar los servicios de NSF Inassa. Por favor, póngase en contacto con el Coordinador de Proyecto, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen a este informe.		
Informe Autorizado por	Fecha de Emisión 2021-03-22	
 Ing. Vitor Suarez Pérez Evaluador de Informes de Laboratorio C.I.P N° 168244		
Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima 32 PERÚ Tel: (511) 616-5200 Email: inassa@nsf.org Web: www.nsfinaassa.pe		
F120210322171851 ER12-2; Versión 00; 2018-10-22; Documento de referencia PER12-1	J-00391030	pág 1 de 3
<small>El presente Informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito de NSF Inassa. Solamente los documentos originales son válidos y NSF Inassa no se responsabiliza por la validez de las copias. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto ni la autorización de uso de la Marca NSF. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados, en la condición de muestra recibida por el laboratorio.</small>		

Información General

Matriz: Agua
 Solitud de Análisis: Colización N° 42933 (Mar-069)
 Muestreado por: Cliente
 Procedencia: Botadero Municipal Distrital Nueva Cajamarca
 Referencia: A 2 Km. de la Ramiro Priale

Identificación de Laboratorio: S-0001796555
 Tipo de Muestra: Agua de Proceso
 Identificación de Muestra: Lixiviado
 Fecha y Hora de Muestreo: 2021-03-14 07:27
 Fecha de Recepción de la Muestra: 2021-03-15
 Fecha de Inicio de análisis: 2021-03-15

Análisis	Resultado	Unidad
Microbiología		
*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.		
Coliformes Totales	72 000	NMP/100 mL
Química		
*DQO. Agua EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)		
DQO	370	DQO mg/L
*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C		
Sólidos Totales en Suspensión	67,7	mg Sólidos Totales Suspendidos /L
DBO5. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissolved) - Optical - Probe Method		
DBO5	195,0	mg OD/L
Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Validado)		
Fósforo Total	5,47	P, mg/L
N-Amóniacal. Agua. de Proceso / Salina. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Validado)		
N - Amóniacal	89,67	mg N-NH3/L

Nota(s) del Informe Final:

Coliformes Totales: Resultado referencial por tiempo de vida vencido. El ensayo queda fuera del alcance de Acreditación.

Ensayos realizados por:

	<u>Id</u>	<u>Dirección</u>
Ensayos realizados por:	NSF_LIMA_E	NSF Inassa, Lima, Peru Avenida La Marina 3059 San Miguel Lima, Peru
	NSF_LIMA	NSF Inassa Lab, Lima, Peru Avenida La Marina 3035 San Miguel Lima, Peru

Referencias a los Procedimientos de Ensayo:

Referencia Técnica

IM0302	*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
IQ0694	*DQO. Agua. EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric, Mid - Level)
IQ1009	*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C
IQ1875	Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Validado)
IQ1877	DBO5. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissolved) - Optical - Probe Method
IQ1883	N-Amoniacal. Agua. de Proceso / Salina. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Validado)

Descripciones de ensayos precedidos por un "*" indican que los métodos no han sido acreditados por el INACAL-DA y la prueba se ha realizado según los requisitos de NSF. De no contar con el "*" indica los parámetros asociados a esta(s) muestra(s) se encuentran dentro del alcance de la acreditación y dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

Apéndice 7

Resultado de análisis de lixiviado de tratamiento testigo a los 90 días

	NSF Inassa LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-001	 INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N° LE-001	
INFORME FINAL J-00391707			
Dirección de Entrega: Rocío Cachay Pérez y Rudith Johana Romero Carabajal RUDITH JOHANA ROMERO CARBAJAL Nueva Cajamarca Nueva Cajamarca, Rioja San Martín, Peru	Solicitante: C0598105 RUDITH JOHANA ROMERO CARBAJAL Nueva Cajamarca Nueva Cajamarca, Rioja San Martín, Peru		
Resultado	Complete	Fecha de Informe	2021-04-14
Procedencia Botadero Municipal Distrital Nueva Cajamarca Producto Agua Tipo de Servicio Análisis Informe de Ensayo N° J-00391707 Coordinador de Proyecto Julio Manuel Zarate Vargas			
Gracias por utilizar los servicios de NSF Inassa. Por favor, póngase en contacto con el Coordinador de Proyecto, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen a este informe.			
Informe Autorizado por	 Ing. Victor Suarez Pérez Evaluador de Informes de Laboratorio C.I.P N° 168244	Fecha de Emisión	2021-04-14
Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima 32 PERÚ Tel: (511) 616-5200 Email: inassa@nsf.org Web: www.nsf.inassa.pe			
F120210414193851	J-00391707	pág 1 de 3	
<small>ER12-2; Versión 00; 2018-10-22; Documento de referencia PER12-1 El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito de NSF Inassa. Solamente los documentos originales son válidos y NSF Inassa no se responsabiliza por la validez de las copias. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto ni la autorización de uso de la Marca NSF. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados, en la condición de muestra recibida por el laboratorio.</small>			

Información General

Matriz: Agua
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 43019 (Abr-016)
 Muestreado por: Cliente
 Procedencia: Botadero Municipal Distrital Nueva Cajamarca
 Referencia: A 2 Km. de la Ramiro Priale

Identificación de Laboratorio: S-0001803867
 Tipo de Muestra: Agua de Proceso
 Identificación de Muestra: Lixiviado de Sustrato
 Fecha y Hora de Muestreo: 2021-04-07 07:46
 Fecha de Recepción de la Muestra: 2021-04-09
 Fecha de Inicio de análisis: 2021-04-09

Análisis	Resultado	Unidad
Microbiología		
*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.		
Coliformes Totales	75 000	NMP/100 mL
Química		
*DBO5. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissolved) - Optical - Probe Method		
DBO5	186	mg OD/L
*DQO. Agua EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)		
DQO	266,07	DQO mg /L
*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C		
Sólidos Totales en Suspensión	45	mg Sólidos Totales Suspendidos /L
Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Válidado)		
Fósforo Total	3,90	P, mg/L
N-Amóniacal. Agua. de Proceso / Salina . SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Válidado)		
N - Amóniacal	31	mg N-NH3/L

Nota(s) del Informe Final:

DBO5 y Coliformes Totales: Resultados referenciales por tiempo de vida vencido. Los ensayos quedan fuera del alcance de Acreditación.

Ensayos realizados por:

	<u>Id</u>	<u>Dirección</u>
Ensayos realizados por: →	NSF_LIMA_E	NSF Inassa, Lima, Peru Avenida La Marina 3059 San Miguel Lima, Peru
	NSF_LIMA	NSF Inassa Lab, Lima, Peru Avenida La Marina 3035 San Miguel Lima, Peru

Referencias a los Procedimientos de Ensayo:

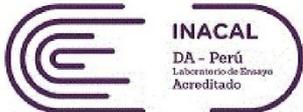
Referencia Técnica

IM0302	*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
IQ0694	*DQO. Agua EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)
IQ1009	*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C
IQ1766	*DBOS. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissolved) - Optical - Probe Method
IQ1875	Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Validado)
IQ1883	N-Amoniacal. Agua. de Proceso / Salina . SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Validado)

Descripciones de ensayos precedidos por un "*" indican que los métodos no han sido acreditados por el INACAL-DA y la prueba se ha realizado según los requisitos de NSF. De no contar con el "*" indica los parámetros asociados a esta(s) muestra(s) se encuentran dentro del alcance de la acreditación y dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

Apéndice 8

Informes del análisis lixiviado a los 30 días – *Heliconia psittacorum*

	NSF Inassa LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO <input type="checkbox"/> POR EL ORGANISMO PERUANO DE <input type="checkbox"/> ACREDITACION INACAL-DA CON <input type="checkbox"/> REGISTRO N° LE-001	 Registro N° LE - 001
INFORME FINAL J-00388618		
Dirección de Entrega: Rocio Cachay Pérez y Rudith Johana Romero Carbaljal RUDITH JOHANA ROMERO CARBAJAL Nueva Cajamarca Nueva Cajamarca, Rioja San Martín, Peru	Solicitante: C0598105 RUDITH JOHANA ROMERO CARBAJAL Nueva Cajamarca Nueva Cajamarca, Rioja San Martín, Peru	
Resultado Complete	Fecha de Informe 2021-02-08	
Procedencia Botadero Municipal Distrital Nueva Cajamarca Producto Agua Tipo de Servicio Análisis Informe de Ensayo N° J-00388618 Coordinador de Proyecto Julio Manuel Zarate Vargas		
Gracias por utilizar los servicios de NSF Inassa. Por favor, póngase en contacto con el Coordinador de Proyecto, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen a este informe.		
Informe Autorizado por	Fecha de Emisión 2021-02-08	
 Ing. Victor Suárez Pérez Evaluador de Informes de Laboratorio C.I.P N° 158244		
Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima 32 PERÚ Tel: (511) 616-5200 Email: inassa@nsf.org Web: www.nsfinaassa.pe		
FI20210208143739 ER12-2; Versión 00; 2018-10-22; Documento de referencia PER12-1	J-00388618	pág 1 de 3
El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito de NSF Inassa. Solamente los documentos originales son válidos y NSF Inassa no se responsabiliza por la validez de las copias. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto ni la autorización de uso de la Marca NSF. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados, en la condición de muestra recibida por el laboratorio.		

Información General

Matriz: Agua
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 42657 (Feb-004)
 Muestreado por: Cliente
 Procedencia: Botadero Municipal Distrital Nueva Cajamarca
 Referencia: A 2 Km. de la Ramiro Priale

Identificación de Laboratorio: S-0001783311
 Tipo de Muestra: Agua de Proceso
 Identificación de Muestra: Lixiviado - Heliconias
 Fecha y Hora de Muestreo: 2021-01-30 17:30
 Fecha de Recepción de la Muestra: 2021-02-01
 Fecha de Inicio de análisis: 2021-02-02

Análisis	Resultado	Unidad
Microbiología		
*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.		
Coliformes Totales	49 000	NMP/100 mL
Química		
*DQO. Agua EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric, Mid - Level)		
DQO	670	DQO mg/L
*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C		
Sólidos Totales en Suspensión	191,8	mg Sólidos Totales Suspendidos /L
DBO5. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissolved) - Optical - Probe Method		
DBO5	280,0	mg OD/L
Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Validado)		
Fósforo Total	4,48	P, mg/L
N-Amoniacal. Agua. de Proceso / Salina. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Validado)		
N - Amoniacal	51,61	mg N-NH3/L

Nota(s) del Informe Final:

Coliformes Totales: Resultado referencial por tiempo de vida vencido. El ensayo queda fuera del alcance de Acreditación.

Ensayos realizados por:

Id	Dirección
NSF_LIMA_E	NSF Inassa, Lima, Peru Avenida La Marina 3059 San Miguel Lima, Perú
NSF_LIMA	NSF Inassa Lab, Lima, Peru Avenida La Marina 3035 San Miguel Lima, Perú

Referencias a los Procedimientos de Ensayo:

Referencia Técnica

IM0302	*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
IQ0694	*DQO. Agua EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)
IQ1009	*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C
IQ1875	Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Validado)
IQ1877	DBO5. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissoved) - Optical - Probe Method
IQ1883	N-Amoniacal. Agua. de Proceso / Salina . SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Validado)

Descripciones de ensayos precedidos por un "*" indican que los métodos no han sido acreditados por el INACAL-DA y la prueba se ha realizado según los requisitos de NSF. De no contar con el "*" indica los parámetros asociados a esta(s) muestra(s) se encuentran dentro del alcance de la acreditación y dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

Apéndice 9

Informes del análisis lixiviado a los 60 días – *Heliconia psittacorum*

	NSF Inassa LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO <input type="checkbox"/> POR EL ORGANISMO PERUANO DE <input type="checkbox"/> ACREDITACION INACAL-DA CON <input type="checkbox"/> REGISTRO N° LE-001	 Registro N° LE - 001
INFORME FINAL J-00391032		
Dirección de Entrega: Rocio Cachay Pérez y Rudith Johana Romero Carbaljal RUDITH JOHANA ROMERO CARBAJAL Nueva Cajamarca Nueva Cajamarca, Rioja San Martín, Peru	Solicitante: C0598105 RUDITH JOHANA ROMERO CARBAJAL Nueva Cajamarca Nueva Cajamarca, Rioja San Martín, Peru	
Resultado	Complete	Fecha de Informe 2021-03-22
Procedencia Botadero Municipal Distrital Nueva Cajamarca Producto Agua Tipo de Servicio Análisis Informe de Ensayo N° J-00391032 Coordinador de Proyecto Julio Manuel Zarate Vargas		
Gracias por utilizar los servicios de NSF Inassa. Por favor, póngase en contacto con el Coordinador de Proyecto, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen a este informe.		
Informe Autorizado por	 Ing. Victor Suárez Pérez Evaluador de Informes de Laboratorio C.I.P N° 158244	Fecha de Emisión 2021-03-22
Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima 32 PERÚ Tel: (511) 616-5200 Email: inassa@nsf.org Web: www.nsfinaassa.pe		
FI20210322171851 ER12-2; Versión 00; 2018-10-22; Documento de referencia PER12-1	J-00391032	pág 1 de 3
El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito de NSF Inassa. Solamente los documentos originales son válidos y NSF Inassa no se responsabiliza por la validez de las copias. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto ni la autorización de uso de la Marca NSF. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados, en la condición de muestra recibida por el laboratorio.		

Información General

Matriz: Agua
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 42933 (Mar-069)
 Muestreado por: Cliente
 Procedencia: Botadero Municipal Distrital Nueva Cajamarca
 Referencia: A 2 Km. de la Ramiro Priale

Identificación de Laboratorio: S-0001796557
 Tipo de Muestra: Agua de Proceso
 Identificación de Muestra: Lixiviado (Hellconia)
 Fecha y Hora de Muestreo: 2021-03-14 07:27
 Fecha de Recepción de la Muestra: 2021-03-15
 Fecha de Inicio de análisis: 2021-03-15

Análisis	Resultado	Unidad
Microbiología		
*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.		
Coliformes Totales	4 900	NMP/100 mL
Química		
*DQO. Agua EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric, Mid - Level)		
DQO	340	DQO mg/L
*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids, Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C		
Sólidos Totales en Suspensión	48,5	mg Sólidos Totales Suspendidos /L
DBO5. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissolved) - Optical - Probe Method		
DBO5	158,0	mg O ₂ /L
Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Validado)		
Fósforo Total	6,17	P, mg/L
N-Amóniacal. Agua. de Proceso / Salina. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Validado)		
N - Amóniacal	21,76	mg N-NH ₃ /L

Nota(s) del Informe Final:

Coliformes Totales: Resultado referencial por tiempo de vida vencido. El ensayo queda fuera del alcance de Acreditación.

Ensayos realizados por:

	<u>Id</u>	<u>Dirección</u>
Ensayos realizados por: →	NSF_LIMA_E	NSF Inassa, Lima, Peru Avenida La Marina 3059 San Miguel Lima, Perú
	NSF_LIMA	NSF Inassa Lab, Lima, Peru Avenida La Marina 3035 San Miguel Lima, Perú

Referencias a los Procedimientos de Ensayo:

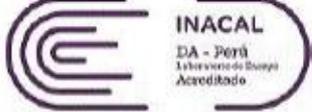
Referencia Técnica

IM0302	*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
IQ0694	*DQO. Agua EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)
IQ1009	*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C
IQ1875	Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Validado)
IQ1877	DBO5. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissolved) - Optical - Probe Method
IQ1883	N-Amóniacal. Agua. de Proceso / Salina . SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Validado)

Descripciones de ensayos precedidos por un "*" indican que los métodos no han sido acreditados por el INACAL-DA y la prueba se ha realizado según los requisitos de NSF. De no contar con el "*" indica los parámetros asociados a esta(s) muestra(s) se encuentran dentro del alcance de la acreditación y dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

Apéndice 10

Informes del análisis lixiviado a los 90 días – *Heliconia psittacorum*

	NSF Inassa LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-001	 INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N° LE-001	
INFORME FINAL J-00391709			
Dirección de Entrega: Rocío Cachay Pérez y Rudith Johana Romero Carabajal RUDITH JOHANA ROMERO CARBAJAL Nueva Cajamarca Nueva Cajamarca, Rioja San Martín, Peru	Solicitante: C0598105 RUDITH JOHANA ROMERO CARBAJAL Nueva Cajamarca Nueva Cajamarca, Rioja San Martín, Peru		
Resultado	Complete	Fecha de Informe	2021-04-12
Procedencia Botadero Municipal Distrital Nueva Cajamarca Producto Agua Tipo de Servicio Análisis Informe de Ensayo N° J-00391709 Coordinador de Proyecto Julio Manuel Zarate Vargas			
Gracias por utilizar los servicios de NSF Inassa. Por favor, póngase en contacto con el Coordinador de Proyecto, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen a este informe.			
Informe Autorizado por	 Ing. Vitor Subrez Pérez Evaluador de Informes de Laboratorio C.I.P N° 158244	Fecha de Emisión	2021-04-14
Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima 32 PERÚ Tel: (511) 616-5200 Email: inassa@nsf.org Web: www.nsfinaassa.pe			
FI20210322171851	J-00391709	pág 1 de 3	
ER12-2; Versión 00; 2018-10-22; Documento de referencia PER12-1 El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito de NSF Inassa. Solamente los documentos originales son válidos y NSF Inassa no se responsabiliza por la validez de las copias. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto ni la autorización de uso de la Marca NSF. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados, en la condición de muestra recibida por el laboratorio.			

Información General

Matriz: Agua
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 43019 (Abr-016)
 Muestreado por: Cliente
 Procedencia: Botadero Municipal Distrital Nueva Cajamarca
 Referencia: A 2 Km. de la Ramiro Priale

Identificación de Laboratorio: S-0001803868
 Tipo de Muestra: Agua de Proceso
 Identificación de Muestra: Lixiviado (Heliconia Psittacorum)
 Fecha y Hora de Muestreo: 2021-04-07 07:46
 Fecha de Recepción de la Muestra: 2021-04-09
 Fecha de Inicio de análisis: 2021-04-09

Análisis	Resultado	Unidad
Microbiología		
*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.		
Coliformes Totales	13 000	NMP/100 mL
Química		
DBO5. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissolved) - Optical - Probe Method		
DBO5	150,0	DQO mg /L
*DQO. Agua EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)		
DQO	248	mg Sólidos Totales Suspendidos /L
*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C		
Sólidos Totales en Suspensión	39,7	mg OD/L
Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Validado)		
Fósforo Total	0,986	P, mg/L
N-Amóniacal. Agua. de Proceso / Salina. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Validado)		
N - Amóniacal	18,38	mg N-NH3/L

Nota(s) del Informe Final:

Coliformes Totales: Resultado referencial por tiempo de vida vencido. El ensayo queda fuera del alcance de Acreditación.

Ensayos realizados por:

	<u>Id</u>	<u>Dirección</u>
Ensayos realizados por: →	NSF_LIMA_E	NSF Inassa, Lima, Peru Avenida La Marina 3059 San Miguel Lima, Peru
	NSF_LIMA	NSF Inassa Lab, Lima, Peru Avenida La Marina 3035 San Miguel Lima, Peru

Referencias a los Procedimientos de Ensayo:

Referencia Técnica

IM0302	*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
IQ0694	*DQO. Agua EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1963. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)
IQ1009	*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C
IQ1875	Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Validado)
IQ1877	DBO5. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissolved) - Optical - Probe Method
IQ1883	N-Amoniacal. Agua. de Proceso / Salina . SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Validado)

Descripciones de ensayos precedidos por un "*" indican que los métodos no han sido acreditados por el INACAL-DA y la prueba se ha realizado según los requisitos de NSF. De no contar con el "*" indica los parámetros asociados a esta(s) muestra(s) se encuentran dentro del alcance de la acreditación y dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

Apéndice 11

Informes del análisis lixiviado a los 30 días – *Eichhornia crassipes*

	NSF Inassa LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO <input type="checkbox"/> POR EL ORGANISMO PERUANO DE <input type="checkbox"/> ACREDITACION INACAL-DA CON <input type="checkbox"/> REGISTRO N° LE-001	 Registro N° LE - 001
INFORME FINAL J-00388617		
Dirección de Entrega: Rocio Cachay Pérez y Rudith Johana Romero Carbaljal RUDITH JOHANA ROMERO CARBAJAL Nueva Cajamarca Nueva Cajamarca, Rioja San Martín, Peru	Solicitante: C0598105 RUDITH JOHANA ROMERO CARBAJAL Nueva Cajamarca Nueva Cajamarca, Rioja San Martín, Peru	
Resultado	Complete	Fecha de Informe 2021-02-08
Procedencia Botadero Municipal Distrital Nueva Cajamarca Producto Agua Tipo de Servicio Análisis Informe de Ensayo N° J-00388617 Coordinador de Proyecto Julio Manuel Zarate Vargas		
Gracias por utilizar los servicios de NSF Inassa. Por favor, póngase en contacto con el Coordinador de Proyecto, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen a este informe.		
Informe Autorizado por	 Ing. Victor Suárez Pérez Evaluador de Informes de Laboratorio C.I.P N° 158244	Fecha de Emisión 2021-02-08
Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima 32 PERÚ Tel: (511) 616-5200 Email: inassa@nsf.org Web: www.nsfinaassa.pe		
FI20210208143739 ER12-2; Versión 00; 2018-10-22; Documento de referencia PER12-1	J-00388617	pág 1 de 3
El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito de NSF Inassa. Solamente los documentos originales son válidos y NSF Inassa no se responsabiliza por la validez de las copias. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto ni la autorización de uso de la Marca NSF. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados, en la condición de muestra recibida por el laboratorio.		

Información General

Matriz: Agua
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 42832 (Feb-003)
 Muestreado por: Cliente
 Procedencia: Botadero Municipal Distrital Nueva Cajamarca
 Referencia: A 2 Km. de la Ramiro Prialé

Identificación de Laboratorio: S-0001783304
 Tipo de Muestra: Agua de Proceso
 Identificación de Muestra: Lixiviado - Jacinto de agua
 Fecha y Hora de Muestreo: 2021-01-30 17:00
 Fecha de Recepción de la Muestra: 2021-02-01
 Fecha de Inicio de análisis: 2021-02-02

Análisis	Resultado	Unidad
Microbiología		
*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.		
Coliformes Totales	7 900	NMP/100 mL
Química		
*DQO. Agua EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)		
DQO	376	DQO mg/L
*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C		
Sólidos Totales en Suspensión	168	mg Sólidos Totales Suspended /L
DBO5. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissolved) - Optical - Probe Method		
DBO5	130,0	mg OD/L
Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Validado)		
Fósforo Total	2,47	P, mg/L
N-Amoniaco. Agua. de Proceso / Salina. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Validado)		
N - Amoniaco	55,92	mg N-NH3/L

Ensayos realizados por:

	<u>Id</u>	<u>Dirección</u>
Ensayos realizados por: →	NSF_LIMA_E	NSF Inassa, Lima, Peru Avenida La Marina 3059 San Miguel Lima, Perú
	NSF_LIMA	NSF Inassa Lab, Lima, Peru Avenida La Marina 3035 San Miguel Lima, Perú

Referencias a los Procedimientos de Ensayo:

Referencia Técnica

IM0302	*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
IQ0694	*DQO. Agua EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)
IQ1009	*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C
IQ1875	Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Validado)
IQ1877	DBO5. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissolved) - Optical - Probe Method
IQ1883	N-Amoniacal. Agua. de Proceso / Salina. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Validado)

Descripciones de ensayos precedidos por un "*" indican que los métodos no han sido acreditados por el INACAL-DA y la prueba se ha realizado según los requisitos de NSF. De no contar con el "*" indica los parámetros asociados a esta(s) muestra(s) se encuentran dentro del alcance de la acreditación y dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

Apéndice 12

Informes del análisis lixiviado a los 60 días – *Eichhornia crassipes*

	NSF Inassa LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-001	 Registro N° LE-001
INFORME FINAL J-00391031		
Dirección de Entrega: Rocío Cachay Pérez y Rudith Johana Romero Carabajal RUDITH JOHANA ROMERO CARBAJAL Nueva Cajamarca Nueva Cajamarca, Rioja San Martín, Peru	Solicitante: C0598105 RUDITH JOHANA ROMERO CARBAJAL Nueva Cajamarca Nueva Cajamarca, Rioja San Martín, Peru	
Resultado	Complete	Fecha de Informe 2021-03-22
Procedencia Botadero Municipal Distrital Nueva Cajamarca Producto Agua Tipo de Servicio Análisis Informe de Ensayo N° J-00391031 Coordinador de Proyecto Julio Manuel Zarate Vargas		
Gracias por utilizar los servicios de NSF Inassa. Por favor, póngase en contacto con el Coordinador de Proyecto, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen a este informe.		
Informe Autorizado por	 Ing. Vitor Suárez Pérez Evaluador de Informes de Laboratorio C.I.P N° 168244	Fecha de Emisión 2021-03-22
Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima 32 PERÚ Tel: (511) 616-5200 Email: inassa@nsf.org Web: www.nsfhassa.pe		
F120210322171851 ER12-2; Versión 00; 2018-10-22; Documento de referencia PER12-1	J-00391031	pág 1 de 3
<small>El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito de NSF Inassa. Solamente los documentos originales son válidos y NSF Inassa no se responsabiliza por la validez de las copias. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto ni la autorización de uso de la Marca NSF. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados, en la condición de muestra recibida por el laboratorio.</small>		

Información General

Matriz: Agua
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 42933 (Mar-068)
 Muestreado por: Cliente
 Procedencia: Botadero Municipal Distrital Nueva Cajamarca
 Referencia: A 2 Km. de la Ramiro Priale

Identificación de Laboratorio: S-0001796556
 Tipo de Muestra: Agua de Proceso
 Identificación de Muestra: Lixiviado
 Fecha y Hora de Muestreo: 2021-03-14 07:53
 Fecha de Recepción de la Muestra: 2021-03-15
 Fecha de Inicio de análisis: 2021-03-15

Análisis	Resultado	Unidad
Microbiología		
*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.		
Coliformes Totales	490	NMP/100 mL
Química		
*DQO. Agua EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)		
DQO	240	DQO mg/L
*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C		
Sólidos Totales en Suspensión	33	mg Sólidos Totales Suspendedos /L
DBO5. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissolved) - Optical - Probe Method		
DBO5	109,0	mg OD/L
Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Validado)		
Fósforo Total	1,78	P, mg/L
N-Amóniacal. Agua. de Proceso / Salina. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Validado)		
N - Amóniacal	17,71	mg N-NH3/L

Nota(s) del Informe Final:

Coliformes Totales: Resultado referencial por tiempo de vida vencido. El ensayo queda fuera del alcance de Acreditación.

Ensayos realizados por:

	<u>Id</u>	<u>Dirección</u>
Ensayos realizados por: →	NSF_LIMA_E	NSF Inassa, Lima, Peru Avenida La Marina 3059 San Miguel Lima, Peru
	NSF_LIMA	NSF Inassa Lab, Lima, Peru Avenida La Marina 3035 San Miguel Lima, Peru

Referencias a los Procedimientos de Ensayo:

Referencia Técnica

IM0302	*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
IQ0694	*DQO. Agua. EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)
IQ1009	*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C
IQ1875	Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Validado)
IQ1877	DBO5. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissolved) - Optical - Probe Method
IQ1883	N-Amomiacal. Agua. de Proceso / Salina. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Validado)

Descripciones de ensayos precedidos por un "*" indican que los métodos no han sido acreditados por el INACAL-DA y la prueba se ha realizado según los requisitos de NSF. De no contar con el "*" indica los parámetros asociados a esta(s) muestra(s) se encuentran dentro del alcance de la acreditación y dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

Apéndice 13

Informes del análisis lixiviado a los 90 días – *Eichhornia crassipes*

	NSF Inassa LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO <input type="checkbox"/> POR EL ORGANISMO PERUANO DE <input type="checkbox"/> ACREDITACION INACAL-DA CON <input type="checkbox"/> REGISTRO N° LE-001	 Registro N° LE - 001	
INFORME FINAL J-00391708			
Dirección de Entrega: Rocío Cachay Pérez y Rudith Johana Romero Carabajal RUDITH JOHANA ROMERO CARBAJAL Nueva Cajamarca Nueva Cajamarca, Rioja San Martín, Peru	Solicitante: C0598105 RUDITH JOHANA ROMERO CARBAJAL Nueva Cajamarca Nueva Cajamarca, Rioja San Martín, Peru		
Resultado	Complete	Fecha de Informe	2021-04-14
Procedencia Botadero Municipal Distrital Nueva Cajamarca Producto Agua Tipo de Servicio Análisis Informe de Ensayo N° J-00391708 Coordinador de Proyecto Julio Manuel Zarate Vargas			
Gracias por utilizar los servicios de NSF Inassa. Por favor, póngase en contacto con el Coordinador de Proyecto, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen a este informe.			
Informe Autorizado por	 Ing. Victor Suárez Pérez Evaluador de Informes de Laboratorio C.I.P N° 158244	Fecha de Emisión	2021-04-14
Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima 32 PERÚ Tel: (511) 616-5200 Email: inassa@nsf.org Web: www.nsfinaassa.pe			
FI20210414193851 ER12-2; Versión 00; 2018-10-22; Documento de referencia PER12-1		J-00391708	pág 1 de 3
<small>El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito de NSF Inassa. Solamente los documentos originales son válidos y NSF Inassa no se responsabiliza por la validez de las copias. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto ni la autorización de uso de la Marca NSF. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados, en la condición de muestra recibida por el laboratorio.</small>			

Información General

Matriz: Agua
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 43019 (Abr-015)
 Muestreado por: Cliente
 Procedencia: Botadero Municipal Distrital Nueva Cajamarca
 Referencia: A 2 Km. de la Ramiro Prialé

Identificación de Laboratorio: S-0001803869
 Tipo de Muestra: Agua de Proceso
 Identificación de Muestra: Lixiviado (Jacinto de Agua)
 Fecha y Hora de Muestreo: 2021-04-07 08:02
 Fecha de Recepción de la Muestra: 2021-04-09
 Fecha de Inicio de análisis: 2021-04-09

Análisis	Resultado	Unidad
Microbiología		
*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.		
Coliformes Totales	11 000	NMP/100 mL
Química		
*DBO5. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissolved) - Optical - Probe Method		
DBO5	130,0	mg OD/L
*DQO. Agua EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)		
DQO	240	DQO mg /L
*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C		
Sólidos Totales en Suspensión	29	mg Solidos Totales Suspendedos /L
Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Validado)		
Fósforo Total	1,06	P, mg/L
N-Amóniacal. Agua. de Proceso / Salina . SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Validado)		
N - Amóniacal	24,11	mg N-NH3/L

Ensayos realizados por:

	<u>Id</u>	<u>Dirección</u>
Ensayos realizados por: →	NSF_LIMA_E	NSF Inassa, Lima, Peru Avenida La Marina 3059 San Miguel Lima, Perú
	NSF_LIMA	NSF Inassa Lab, Lima, Peru Avenida La Marina 3035 San Miguel Lima, Perú

Referencias a los Procedimientos de Ensayo:

Referencia Técnica

IM0302	*Coliformes Totales (N). Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
IQ0694	*DQO. Agua EPA Method 410.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)
IQ1009	*Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C
IQ1766	*DBO5. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B/4500-O H, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (Dissolved) - Optical - Probe Method
IQ1875	Fósforo Total. Agua de Proceso. EPA Method 365.3, 1983. Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid two Reagent) (Validado)
IQ1883	N-Amoniacal. Agua. de Proceso / Salina. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method (Validado)

Descripciones de ensayos precedidos por un "*" indican que los métodos no han sido acreditados por el INACAL-DA y la prueba se ha realizado según los requisitos de NSF. De no contar con el "*" indica los parámetros asociados a esta(s) muestra(s) se encuentran dentro del alcance de la acreditación y dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.