

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Efecto de la biorremediación con microorganismos
eficaces y humedales artificiales con las especies
Eichhornia crassipes y Lemna gibba en la calidad
de aguas residuales de curtiembre del PIRS,
Arequipa - 2021**

Brian Kevin Ordoñez Luna
Alex Alejandro Huamani Huaraca
Katherin Rocio Mayta Chino

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

A : Felipe Néstor Gutarra Meza
Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : Steve Dann Camargo Hinostraza
Asesor de tesis

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

FECHA : 12 de Setiembre de 2023

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: **“EFECTO DE LA BIORREMEDIACIÓN CON MICROORGANISMOS EFICACES Y HUMEDALES ARTIFICIALES CON LAS ESPECIES *Eichhornia crassipes* Y *Lemna gibba* EN LA CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE DEL PIRS, AREQUIPA - 2021”**, perteneciente al/la/los/las estudiante(s) **BRIAN KEVIN ORDOÑEZ LUNA, KATHERIN ROCIO MAYTA CHINO y ALEX ALEJANDRO HUAMANI HUARACA**, de la E.A.P. de **Ingeniería Ambiental**; se procedió con la carga del documento a la plataforma “Turnitin” y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: 10) SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



Asesor de tesis

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, **Brian Kevin Ordoñez Luna**, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 72201427, de la E.A.P. de **Ingeniería Ambiental** de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: **“EFECTO DE LA BIORREMEDIACIÓN CON MICROORGANISMOS EFICACES Y HUMEDALES ARTIFICIALES CON LAS ESPECIES *Eichhornia crassipes* Y *Lemna gibba* EN LA CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE DEL PIRS, AREQUIPA - 2021”**, es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de **Ingeniero ambiental**.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

30 de Agosto de 2023.



Brian Kevin Ordoñez Luna

DNI. No. 72201427

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, **Katherin Rocio Mayta Chino**, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 76599427, de la E.A.P. de **Ingeniería Ambiental** de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

5. La tesis titulada: **“EFECTO DE LA BIORREMEDIACIÓN CON MICROORGANISMOS EFICACES Y HUMEDALES ARTIFICIALES CON LAS ESPECIES *Eichhornia crassipes* Y *Lemna gibba* EN LA CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE DEL PIRS, AREQUIPA - 2021”**, es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.
6. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
7. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
8. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.



30 de Agosto de 2023.

Katherin Rocio Mayta Chino

DNI. No. 76599427

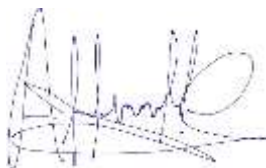
DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, **Alex Alejandro Huamani Huaraca**, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. **71017724**, de la E.A.P. de **Ingeniería Ambiental** de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

9. La tesis titulada: **“EFECTO DE LA BIORREMEDIACIÓN CON MICROORGANISMOS EFICACES Y HUMEDALES ARTIFICIALES CON LAS ESPECIES *Eichhornia crassipes* Y *Lemna gibba* EN LA CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE DEL PIRS, AREQUIPA - 2021”**, es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.
10. La tesis no ha sido plagada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
11. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
12. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

30 de Agosto de 2023.



Alex Alejandro Huamani Huaraca

DNI. No. 71017724

EFFECTO DE LA BIORREMEDIACIÓN CON MICROORGANISMOS EFICACES Y HUMEDALES ARTIFICIALES CON LAS ESPECIES *Eichhornia crassipes* Y *Lemna gibba* EN LA CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE DEL PIRS, AREQUI

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	5%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	3%
4	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1%
7	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1%

repositorio.unfv.edu.pe

8

Fuente de Internet

<1 %

9

Submitted to uniminuto

Trabajo del estudiante

<1 %

10

Submitted to Universidad Católica de Santa
María

Trabajo del estudiante

<1 %

11

repositorio.untels.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

12

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1 %

13

repositorio.upn.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

14

repositorio.upsc.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

15

hdl.handle.net

Fuente de Internet

<1 %

16

Submitted to Nuestra Señora del Pilar

Trabajo del estudiante

<1 %

17

docplayer.es

Fuente de Internet

<1 %

18

core.ac.uk

Fuente de Internet

<1 %

19

Submitted to Universidad Católica San Pablo

Trabajo del estudiante

<1 %

20

Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru

Trabajo del estudiante

<1 %

21

bibliotecadigital.exactas.uba.ar

Fuente de Internet

<1 %

22

dspace.espoch.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

23

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1 %

24

1library.co

Fuente de Internet

<1 %

25

Submitted to Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco

Trabajo del estudiante

<1 %

26

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

27

repositorio.upeu.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

28

ciatej.repositorioinstitucional.mx

Fuente de Internet

<1 %

29

J & C INGENIEROS CONSULTORES INTEGRALES S.A.C.. "DAA de la Planta Industrial dedicada a la Fabricación de

<1 %

Productos de Plástico de la Empresa
Inversiones San Gabriel-IGA0012316", R.D. N°
350-2019-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2020
Publicación

30 Submitted to Infile <1 %
Trabajo del estudiante

31 alicia.concytec.gob.pe <1 %
Fuente de Internet

32 www.patentguru.com <1 %
Fuente de Internet

33 repositorio.unac.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

34 repositorio.unh.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

35 repositorio.upao.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

36 Submitted to Organismo de Evaluación y
Fiscalización <1 %
Trabajo del estudiante

37 REINGENIERIA EN GESTION AMBIENTAL
S.A.C.. "PAMA de la Planta de Elaboración de
Harinas Proteicas para Alimento Balanceado
para Animales Piensos-IGA0006808", R.D. N°
00990-2019-PRODUCE/DGAAMI, 2020 <1 %
Publicación

38

Fuente de Internet

<1 %

39

laccei.org

Fuente de Internet

<1 %

40

doaj.org

Fuente de Internet

<1 %

41

repositorio.ujcm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

42

repositorio.uss.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

43

tesis.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

44

INERCO CONSULTORIA PERU S.A.C..

"Calificación Previa del Proyecto Ampliación de la Planta Industrial Ate-IGA0010000", R.D. N° 054-2015-PRODUCE/DVMYPE-I/DIGGAM, 2020

Publicación

<1 %

45

repositorio.espe.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

46

ESPECIALISTAS AMBIENTALES S.A.C.. "EIA del Proyecto de Instalación de la Fábrica de Clinker y Cemento-IGA0009653", R.V.M. N° 003-2015-PRODUCE-DVMYPE-I, 2020

Publicación

<1 %

47 SERV GEOGRAFICOS Y MEDIO AMBIENTE SAC. "Plan de Cese Temporal de Actividades del Pozo Sheshea 1X en el Lote 126-IGA0000983", R.D. N° 143-2013-MEM/AAE, 2022
Publicación <1 %

48 Submitted to University of Sheffield
Trabajo del estudiante <1 %

49 creativecommons.org
Fuente de Internet <1 %

50 www.dspace.uce.edu.ec
Fuente de Internet <1 %

51 GESTION EN CONSULTORIA INTEGRAL Y MEDIO AMBIENTE S.A.C. - GESIM SAC. "DAA Colectiva de la Planta Campoy-IGA0002126", R.D. N° 034-2019-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2020
Publicación <1 %

52 INGENIEROS AMBIENTALES S.A.C.. "DAA para su Planta de Trabajos en Piedra-IGA0003176", R.D. N° 335-2019-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2020
Publicación <1 %

53 repositorio.uta.edu.ec
Fuente de Internet <1 %

54 repositorioacademico.upc.edu.pe
Fuente de Internet

<1 %

55

Submitted to Universidad Nacional Agraria de la Selva

Trabajo del estudiante

<1 %

56

dspace.unl.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

57

repositorio.uap.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

58

Submitted to unapiquitos

Trabajo del estudiante

<1 %

59

INVESCAPERU S.A.C.. "EIA para el Proyecto Planta de Parque Industrial Río Seco - Curtiembre Pacheco-IGA0003297", R.D. N° 198-2015-PRODUCE/DVMYPE-I/DIGGAM, 2020

Publicación

<1 %

60

Q'MIR S.R.L.. "DAA para la Planta Industrial de Curtido y Adobo de Cueros-IGA0003136", R.D. N° 028-2017-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2020

Publicación

<1 %

61

Submitted to University of La Guajira

Trabajo del estudiante

<1 %

62

cybertesis.unmsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

63	pesquisa.bvsalud.org Fuente de Internet	<1 %
64	repositorio.unapiquitos.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
65	www.proyectohombrestur.org Fuente de Internet	<1 %
66	www.revistatyca.org.mx Fuente de Internet	<1 %
67	ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A.. "PAMA del Camal Conchucos-IGA0011540", R.D.G. N° 220-2015-MINAGRI-DVDIAR-DGAAA, 2020 Publicación	<1 %
68	ciencialatina.org Fuente de Internet	<1 %
69	repositorio.escuelamilitar.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
70	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante	<1 %
71	repositorio.utp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
72	INERCO CONSULTORIA PERU S.A.C.. "Modificación de la DIA del Proyecto Hidroeléctrico Carhuac de 20MW-	<1 %

IGA0011465", R.D. N° 199-2018-GRL-GRDE-
DREM, 2021

Publicación

73	bibliotecadigital.usb.edu.co Fuente de Internet	<1 %
74	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
75	www.elprincipes.com Fuente de Internet	<1 %
76	Submitted to Universidad de Manizales Trabajo del estudiante	<1 %
77	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
78	Ana M. Guerrero-Padilla, Carlos F. Cabrera-Carranza. "Calidad de agua de uso agrícola en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú", Tecnología y ciencias del agua, 2021 Publicación	<1 %
79	Chen, Tzu-Yiu, Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Traducció i d'Interpretació i d'Estudis de l'Àsia Oriental. "Un estudio descriptivo sobre la competencia intercultural de los estudiantes sinohablantes en el aula de español L2/LE /", 2020 Fuente de Internet	<1 %

80	<p>INSTITUTO COMERCIO Y PRODUCCION. "PAMA de la Planta Industrial de Procesamiento y Comercialización de Cueros de Clase Vacuna-IGA0004623", R.D. N° 272- 2016-PRODUCE/DVMYPE-I/DIGGAM, 2020</p> <p>Publicación</p>	<1 %
81	<p>repositorio.uandina.edu.pe</p> <p>Fuente de Internet</p>	<1 %
82	<p>repositorio.upt.edu.pe</p> <p>Fuente de Internet</p>	<1 %
83	<p>revistas.uniscjsa.edu.pe</p> <p>Fuente de Internet</p>	<1 %
84	<p>Diana Moreno-Rodriguez, Daniel Lovera- Dávila, Jesus Villaca-Chipana. "Tratamiento de aguas residuales de un centro de beneficio avícola usando moringa oleifera", Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, 2023</p> <p>Publicación</p>	<1 %
85	<p>downloads.hindawi.com</p> <p>Fuente de Internet</p>	<1 %
86	<p>pdffox.com</p> <p>Fuente de Internet</p>	<1 %
87	<p>repositorio.ucss.edu.pe</p> <p>Fuente de Internet</p>	<1 %

88

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

89

revistabionatura.com

Fuente de Internet

<1 %

90

sigmadafclarifiers.com

Fuente de Internet

<1 %

91

www.msn.com

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Activo

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiarnos en todo momento por el buen camino, dándonos las fuerzas necesarias para salir adelante, quien nos da y demuestra su amor infinito cuidando de nuestros padres y dándoles la fuerza necesaria para que nos sigan apoyando.

A nuestros asesores, por compartir sus conocimientos y brindarnos el apoyo en la búsqueda de soluciones, por brindarnos la confianza necesaria hacia el logro de esta meta.

A la Universidad Continental, por permitirnos alcanzar nuestra meta de ser grandes profesionales y aplicar todos nuestros conocimientos a favor de la sostenibilidad de nuestro planeta.

DEDICATORIA

A Dios quien me guio y cuidó a diario.

A mis padres Victoria Luna y Claudio Ordoñez, quienes forjaron la persona que soy, por confiar en mí y brindarme su comprensión, palabras de aliento y su apoyo incondicional al brindarme su tiempo para lograr mis objetivos y crecer profesionalmente a cada paso que doy.

A mi tío Pedro Luna y cada persona que estuvo apoyándome de alguna u otra manera en el transcurso de esta investigación

Brian Kevin Ordoñez Luna

A mis padres, Florentina Chino y Francisco Mayta, que con su paciencia, confianza y apoyo a lo largo de mi crecimiento profesional, afianzaron en mí que todo lo puedo en Cristo que me fortalece.

A mi hermana Elizabeth por su apoyo incondicional durante mi formación y crecimiento profesional; y a mis hermanos Gladys, Alcides y Jhonny por su apoyo, presencia y palabras de ánimo durante el desarrollo de la investigación.

Katherin Rocio Mayta Chino

Dedico este peldaño de mi vida por su apoyo constante e incondicional:

A mis padres: Sr. Ronald Huamani Ccosco y Sra. Madre Marleny Huaraca Condori, ya que con su apoyo y motivación es posible lograr mis objetivos profesionales, por brindarme sus sabios consejos para tomar decisiones firmes en todas las etapas de mi vida.

Alex Alejandro Huamani Huaraca

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	2
DEDICATORIA	3
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	12
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.1.1. Problema General.....	13
1.1.2. Problemas Específicos	13
1.2. OBJETIVOS	14
1.2.1. Objetivo general.....	14
1.2.2. Objetivos específicos	14
1.3. JUSTIFICACIÓN	14
1.4. HIPÓTESIS	15
1.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	18
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	18
2.1.2. Antecedentes Nacionales	19
2.1.3. Antecedentes Regionales y Locales.....	20
2.2. BASES TEÓRICAS	22
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	36
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	38
3.1. MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	38
3.1.1. Método	38
3.1.2. Alcance y Tipo de investigación.....	38
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	39
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	40
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	40
3.5. PROCEDIMIENTO.....	41
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	52
4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS	58
4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	96
CONCLUSIONES.....	112
RECOMENDACIONES.....	113
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
ANEXOS	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de Variables	17
Tabla 2.	ECA para Agua, Categoría 3	23
Tabla 3.	LMP de efluentes para Alcantarillado de la Actividad de Curtiembre ..	23
Tabla 4.	VMA de las descargas de aguas residuales no domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario	24
Tabla 5.	Parámetros Físicoquímicos característicos del agua residual de Curtiembre	28
Tabla 6.	Composición química de solución HOAGLAND	45
Tabla 7.	Cantidad de agua residual por proceso de curtido	47
Tabla 8.	Comparación de los valores basales de los parámetros físicoquímicos con respecto a los valores de la normativa ambiental vigente	52
Tabla 9.	Comparación de los valores de parámetros físicoquímicos del tratamiento de Biorremediación de 11 Días con y sin concentración de choque (S/C – C/C) con respecto al basal.....	53
Tabla 10.	Comparación de los valores de parámetros físicoquímicos del tratamiento de Biorremediación de 23 Días S/C – C/C con respecto al basal.....	54
Tabla 11.	Comparación de los valores de parámetros físicoquímicos del tratamiento de Biorremediación de 11 Días y 23 Días S/C y C/C.....	55
Tabla 12.	Comparación de los valores de parámetros físicoquímicos del tratamiento de Fitorremediación de 10 Días S/C y C/C con respecto a los valores basales obtenidos con el tratamiento de EMa	55
Tabla 13.	Comparación de los valores de parámetros físicoquímicos del tratamiento de Fitorremediación de 22 Días S/C y C/C con respecto a los valores basales obtenidos con el tratamiento de EMa	56
Tabla 14.	Comparación de los valores de parámetros físicoquímicos del tratamiento de Fitorremediación de 10 Días y 22 Días S/C y C/C	57

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i>	Estrategias de Fitorremediación.....	35
<i>Figura 2.</i>	Colecta de Efluentes de Curtiembre Pacheco S.R.L.TDA, 2021.....	42
<i>Figura 3.</i>	Puntos de colecta de <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Lemna gibba</i> , 2021.....	43
<i>Figura 4.</i>	Especies colectadas <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Lemna gibba</i> , 2021.....	43
<i>Figura 5.</i>	Colecta de individuos como muestra para IMOD, 2021.....	44
<i>Figura 6.</i>	Aclimatación de especies macrófitas en pozas, 2021.	44
<i>Figura 7.</i>	Construcción de estructura de soporte para el sistema de tratamiento, 2021.	45
<i>Figura 8.</i>	Distribución de los niveles para el sistema de tratamiento, 2021.	46
<i>Figura 9.</i>	Tamizado y homogenización de efluentes, 2021.....	47
<i>Figura 10.</i>	Esquema del Sistema de Tratamiento, 2021.....	48
<i>Figura 11.</i>	Registro de parámetros <i>in situ</i> y muestreo para parámetros <i>ex situ</i> , 2021.	50

RESUMEN

La contaminación de recursos hídricos es un problema que aqueja a todos los seres vivos. Por ello, los efluentes de curtiembre ubicados en el Parque Industrial Rio Seco (PIRS) en Arequipa son un problema latente, al contaminar agua, suelo y aire sin previo tratamiento.

La presente investigación tuvo por objetivo determinar la efectividad de un Sistema de Tratamiento de aguas residuales de la Curtiembre Pacheco S.R.L.TDA, que combina la Biorremediación con Microorganismos Eficaces activados (EMa) en una concentración de 10% (S/C) y una concentración inicial de choque (C/C) de 30%, en 2 tiempos de tratamiento de 11 y 23 días; y posteriormente utilizar la capacidad fitorremediadora de las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* por separado, en 2 tiempos de tratamiento de 10 y 22 días.

La experimentación se realizó en un Sistema de Tratamiento que contó con Unidades de Observación para el tratamiento de Biorremediación con EMa y la adecuación de Humedales Artificiales para el tratamiento de Fitorremediación con las especies escogidas, donde se evaluaron parámetros fisicoquímicos como el Potencial de Hidrógeno (pH), Conductividad Eléctrica (C.E.), Temperatura (C°), Cromo Total (Cr T), Cromo Hexavalente (Cr VI) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

Los resultados evidencian que existe una reducción significativa de los parámetros fisicoquímicos, utilizando los EMa y las especies fitorremediadoras (*Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba*). Esta reducción de contaminantes es mayor en un tratamiento con EMa sin concentración de choque (S/C) a un periodo de 11 días. Mientras que el tratamiento de fitorremediación obtuvo mejores resultados en un agua previamente tratada con EMa con concentración de choque (C/C) en un periodo de 23 días, permitiendo reducir los contaminantes evaluados de las aguas residuales de una curtiembre del PIRS.

Palabras Clave: Fitorremediación, Biorremediación, Microorganismos Eficaces activados, humedales artificiales, aguas residuales, curtiembre.

ABSTRACT

The contamination of water resources is a problem that afflicts all living beings, therefore, the effluents from the tanneries located in the Rio Seco Industrial Park (PIRS) in Arequipa are a latent problem, contaminating water, soil and air without previous treatment.

The objective of this research was to determine the effectiveness of a Wastewater Treatment System of Tannery Pacheco S.R.L.TDA, combining Bioremediation with Effective Activated Microorganisms (EMa) at a concentration of 10% (S/C) and an initial shock concentration (C/C) of 30%, in 2 treatment times of 11 and 23 days; to subsequently use the phytoremediation capacity of the species *Eichhornia crassipes* and *Lemna gibba* separately, in 2 treatment times of 10 and 22 days.

The experimentation was carried out in a Treatment System that had Observation Units for the Bioremediation treatment with EMa and the adequacy of Constructed Wetlands for the Phytoremediation treatment with the chosen species, where physicochemical parameters such as Hydrogen Potential (pH) were evaluated., Electrical Conductivity (C.E), Temperature (C°), Total Chromium (Cr T), Hexavalent Chromium (Cr VI) and Biochemical Oxygen Demand (BOD5).

The results show that there is a significant reduction of the physicochemical parameters, using EMa and the phytoremediation species (*Eichhornia crassipes* and *Lemna gibba*). This reduction of contaminants is greater in a treatment with EMa without shock concentration (S/C) for a period of 11 days. Although the phytoremediation treatment obtained better results in a water previously treated with EMa with shock concentration (C/C) in a period of 23 days, it allowed to reduce the pollutants evaluated in the wastewater of a PIRS tannery.

Keywords: Phytoremediation, Bioremediation, Activated Effective Microorganisms, Constructed Wetlands, Wastewater, Tannery.

INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento fundamental, único e indispensable para el desarrollo de los organismos vivos incluido el hombre, a quien le es indispensable para beber, uso doméstico, recreativo y actividades productivas (1).

Al ser altamente demandado, es importante la adecuada gestión del recurso hídrico para el desarrollo de un país. La ONU en el 2010, reconoció el derecho al libre acceso al agua y saneamiento de forma continua, segura, adecuada, asequible y de buena calidad para uso personal y doméstico (1).

Actualmente, la sociedad hace frente a la falta de agua de buena calidad, debido a que la introducción de contaminantes limita el acceso a este recurso. La escasez de agua limpia es el resultado del rápido desarrollo industrial que demandan grandes cantidades de agua, y genera grandes volúmenes de agua residual que parcialmente tratadas y no tratadas se descargan al ambiente, que llega a contaminar otros cuerpos de agua natural superficiales y subterráneos (2).

Las aguas residuales normalmente contienen grandes cantidades de contaminantes desde físicos, químicos y biológicos hasta radioactivos. Muchos en forma de metales pesados, como el cromo, elemento que se ha reportado está directamente vinculado con el desarrollo de enfermedades cancerígenas, cuando se encuentra como cromo hexavalente (Cr VI) (2).

En el Perú, 70% de efluentes industriales y domésticos son vertidos al medio externo sin tratamiento, que imposibilita volver a utilizarlos, y ocasionan alteraciones negativas al ambiente y en la salud humana (3). La industria de curtido genera un importante volumen de contaminantes en efluentes con una gran carga de cromo proveniente de su proceso de curtición (4).

En Arequipa, actualmente, la mayor parte de las empresas de curtido del Parque Industrial de Río Seco – PIRS no cuentan con la implementación de tratamientos previos a sus descargas de efluentes, lo que dificulta su tratamiento total. Esta situación se agudiza por el hecho de que las Lagunas de Oxidación del PIRS presentan una sobresaturación y sus pozas no tienen la protección impermeable correspondiente (5).

La realidad descrita lleva a que la industria de curtido se considere la actividad productiva más contaminante en el sector del PIRS, debido a la descarga de efluentes con gran contenido de materia orgánica y elevada acumulación de sustancias como sulfuros y cromo en niveles tóxicos que directa o indirectamente contaminan el entorno, que alcanzaron el poblado de Río Seco, y cruzó la Quebrada de Añashuayco hacia la zona agrícola de Uchumayo (6).

Es necesario recuperar la calidad del agua residual mediante un tratamiento eficiente, autónomo y económicamente viable. Actualmente, existen métodos biológicos para el tratamiento de aguas contaminadas; como el uso de microorganismos eficaces que suprimen la cantidad de compuestos orgánicos y patógenos, y el uso de plantas hidrofíticas que poseen la capacidad de mitigar la carga de metales pesados presente en aguas contaminadas (7).

Dentro de este contexto, esta investigación busca aportar una opción de tratamiento mediante la aplicación de la biorremediación con dos tecnologías probadas como son la fitorremediación y los microorganismos eficaces, respondiendo a la interrogante, ¿cuál es el efecto de la biorremediación con microorganismos eficaces y humedales artificiales con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* en la calidad de aguas residuales de curtiembre del PIRS, Arequipa – 2021?

Respondiendo a la pregunta de investigación se hipotetiza que la biorremediación con microorganismos eficaces y humedales artificiales con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* mejora significativamente la calidad de aguas residuales de curtiembre del PIRS. Para contrastar la hipótesis propuesta se plantea como objetivo general, determinar el efecto de la biorremediación con microorganismos eficaces y humedales artificiales con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba*, en la calidad de aguas residuales de curtiembre del PIRS Arequipa 2021.

Finalmente, el presente informe describe de manera secuencial y comprensible el proceso de investigación desarrollado, estructurado en cuatro capítulos. El capítulo I presenta el planteamiento y formulación del problema objeto de estudio; los objetivos, justificación e importancia vinculada al planteamiento de las hipótesis y la operacionalización de las variables.

El capítulo II se enfoca en la identificación de estudios preexistentes, las bases teóricas y terminología básica referente al estudio. El capítulo III detalla aspectos metodológicos que se componen del método y alcance del estudio, el diseño del estudio, población, muestra y las técnicas e instrumentos de recolección de datos. El capítulo IV detalla los resultados correspondientes a los objetivos formulados, como también la discusión que fundamenta los resultados obtenidos y contrasta con investigaciones relacionadas, para finalmente formular las conclusiones de acuerdo con cada objetivo específico planteado.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

El agua es considerada el elemento vital y el recurso más demandado para la ejecución de distintas actividades antrópicas y no antrópicas; y su contaminación resulta en efectos negativos para la salud humana y los ecosistemas (8).

Las actividades humanas ocasionan la contaminación de cuerpos de aguas, siendo las actividades del sector industrial las más contaminantes, porque utilizan en sus procesos distintos compuestos procedentes de hidrocarburos, metales pesados (cromo, mercurio, cadmio, plomo, etc.), productos a base de silicatos, sulfatos, tensoactivos, cal, ácido sulfúrico entre otros (9), (10).

Entre las actividades industriales más contaminantes se considera a la industria de curtiembre, donde se procesa la piel animal transformándola en “cuero” destinado a la generación o confección de artículos de piel curtida. Este proceso de curtido de pieles es una seria fuente de contaminación para el ambiente y para los habitantes de localidades cercanas a la zona industrial (11).

Los diferentes residuos emitidos por la curtiembre se caracterizan por su elevado grado de carga orgánica y presencia de compuestos químicos tóxicos que difieren de acuerdo con la tecnología empleada en cada empresa de curtido (12). En general, entre las etapas del curtido más alarmantes se encuentran el pelambre y curtido, debido a que sus efluentes presentan un elevado DQO, DBO y contenido de Cromo. Este último es uno de los residuos más preocupantes debido a su toxicidad para plantas, animales, y su poder cancerígeno para la población humana (12), (13).

En Arequipa, la presencia del Parque Industrial de Río Seco (PIRS) ha sido cuestionada por la elevada descarga de efluentes altamente perjudiciales para la salud ambiental y humana, que sin previo tratamiento son liberados al entorno. Estos efluentes exceden ampliamente los Límites Máximos Permisibles (LMP) y generan contaminación de sectores como Río Seco, Añashuayco y Uchumayo (10).

Esta problemática impulsó al Gobierno Regional de Arequipa a construir dos pozas de oxidación para el tratamiento convencional de efluentes. Esta estrategia no solucionó el problema ambiental, por el contrario, la limitada capacidad de las pozas y su elevado costo de mantenimiento ha llevado al colapso de estas, que profundizan la problemática descrita anteriormente (10).

Como alternativa a esta situación, se han propuesto tecnologías sustentables como la biorremediación mediante la Tecnología de los Microorganismos Eficaces y la fitorremediación, que mediante la utilización de distintos microorganismos y vegetales permite la degradación o reducción de los contaminantes (12).

La Tecnología de Microorganismos Eficaces considera la utilización del metabolismo microbiano para la degradación de los contaminantes incorporándolos en sus procesos metabólicos hasta lograr su neutralización o eliminación en el ambiente (14). Por otro lado, la fitorremediación es una tecnología que usa macrófitas, con el fin de mitigar la concentración y severidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos en diferentes medios, que parten de una sucesión bioquímica ocasionados por los microorganismos de la rizósfera y las plantas (12).

Las técnicas de biorremediación antes mencionadas son relativamente actuales, rentables, eficientes, novedosas, respetuosas con el ambiente y tienen muy buena aceptación del público al mejorar el paisaje y no dejar residuos secundarios (12). Las especies fitorremediadoras en humedales artificiales han demostrado su capacidad de remover desechos tóxicos en efluentes, que se convierten en una alternativa atractiva no solo por su menor costo de inversión, sino, también, por la eficiencia demostrada al reducir la contaminación de grandes volúmenes de agua (5).

A la actualidad, existe gran cantidad de información acerca de la efectividad de la fitorremediación y biorremediación cuando se aplican de manera individual en el tratamiento de aguas contaminadas. No obstante, es escasa la información sobre la eficiencia de la aplicación sinérgica de estas dos tecnologías. Por ello, la presente investigación se enfoca en determinar el efecto de la aplicación conjunta de biorremediación con EM y fitorremediación en humedales artificiales con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* sobre la calidad de aguas residuales de curtiembre.

1.1.1. Problema General

¿Cuál es el efecto de la biorremediación con microorganismos eficaces y humedales artificiales con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* sobre la calidad de las aguas residuales de curtiembre del PIRS, Arequipa – 2021?

1.1.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de curtiembre antes del tratamiento?

- ¿Cuál es el efecto de la aplicación de EMa, sobre los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de curtiembre a los 11 y 23 días de tratamiento?
- ¿Cuál es el efecto del tratamiento por 10 y 22 días en humedales artificiales con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* sobre los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de curtiembre previamente tratadas con EMa?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la biorremediación con microorganismos eficaces y humedales artificiales con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* sobre la calidad de las aguas residuales de curtiembre del PIRS, Arequipa – 2021.

1.2.2. Objetivos específicos

- Cuantificar los valores de los parámetros fisicoquímicos (pH, CE, T°. Cr Total, Cr VI, DBO₅) de las aguas residuales de curtiembre del PIRS, Arequipa – 2021.
- Cuantificar el efecto de la aplicación de EMa, sobre los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de curtiembre a los 11 y 23 días de tratamiento.
- Cuantificar el efecto del tratamiento por 10 y 22 días en humedales artificiales con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* sobre los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de curtiembre en estudio.

1.3. Justificación

1.3.1. Teórica

Teóricamente, el presente trabajo permitirá contribuir al conocimiento científico actual sobre el tratamiento de efluentes líquidos de curtiembre empleando la biorremediación y fitorremediación, información que será base para posteriores investigaciones.

1.3.2. Metodológica

Esta investigación permitirá la optimización del método de biorremediación con Microorganismos eficaces acoplado a la eficiencia de la fitorremediación para el tratamiento de aguas residuales de la Curtiembre Pacheco S.R.L.TDA en específico. Para ello, se verificará la alternativa de emplear una concentración de shock inicial

con una elevada concentración de EM que permita favorecer la actividad microbiana y vegetal en la remoción de contaminantes en estas aguas residuales.

1.3.3. Práctica

Esta investigación permite poner en práctica el conocimiento básico de investigaciones anteriores sobre el tratamiento de contaminantes en el agua residual de curtiembre, así como integrar el conocimiento sobre la acción de los microorganismos eficaces y las plantas fitorremediadoras. El resultado es la concepción de un sistema de tratamiento altamente efectivo para las aguas residuales de curtiembres, con aplicabilidad práctica en el ámbito de la industria del cuero en el PIRS.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general.

H₀. La biorremediación con microorganismos eficaces y humedales artificiales con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* no mejora de manera significativa la calidad de las aguas residuales de curtiembre del PIRS, Arequipa – 2021.

H_a. La biorremediación con microorganismos eficaces y humedales artificiales con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* mejora de manera significativa la calidad de las aguas residuales de curtiembre del PIRS, Arequipa – 2021.

1.4.2. Hipótesis específicas.

H₀: Los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de curtiembre del PIRS, no superan los Límites Máximos Permisibles en su categoría.

H_a: Los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de curtiembre del PIRS, superan los Límites Máximos Permisibles en su categoría.

H₀: La aplicación de EMa no influye sobre los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de curtiembre.

H_a: La aplicación de EMa disminuye los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de curtiembre, en donde existen diferencias entre el tratamiento con y sin la aplicación de la concentración de choque de EMa al 30% y entre los diferentes tiempos de tratamiento.

H₀: El tratamiento de aguas residuales en humedales artificiales con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* no reduce los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas previamente tratadas con EMa, en donde no se observa influencia del tiempo de tratamiento en los resultados.

H_a: El tratamiento de aguas residuales en humedales artificiales con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* reduce los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas previamente tratadas con EMa, que es diferente el efecto entre los diferentes tiempos de tratamiento.

1.5. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de Variable

	VARIABLES	DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO
INDEPENDIENTES	Microorganismos eficaces	Combinación de microorganismos benéficos naturales para la recuperación de aguas contaminadas y eliminación de malos olores (15).	Tecnología de biorremediación para el tratamiento de efluentes de curtiembre, por aplicación del Producto comercial EM-Agua activado en diferentes concentraciones.	Concentración de EMa	0	%	Volumétrico
					10		
					30		
INDEPENDIENTES	Humedales artificiales	Ecosistema acuático donde se cultivan especies vegetales macrófitas en aguas retenidas o de flujo lento (16).	Contenedor con aguas residuales en tratamiento que contiene dos especies vegetales acuáticas con capacidad fitorremediadora.	<i>Eichhornia crassipes</i> <i>Lemna gibba</i>	40	unidades	Conteo
					200	gramos	Balanza granataria
INDEPENDIENTES	Tiempo de tratamiento	Periodo de exposición de las aguas residuales al sistema de tratamiento.	Tiempo de exposición de las aguas residuales a los EMa y Tiempo de Retención Hidráulica en humedales para el tratamiento de fitorremediación.	Tiempo con EMa Tiempo en Humedales	11	días	Calendario
					23		
					10		
					22		
DEPENDIENTE	Calidad de agua	Condición en la que se encuentra el agua, caracterizado por su composición física, química y biológica en su estado natural o después de ser alteradas por la acción humana (17).	Valores de parámetros de las aguas residuales de curtiembre registrados antes del tratamiento de biorremediación (basal), 11 y 23 días con EMa; y a los 10 y 22 días en humedales.	Parámetros	Conduc. Eléctrica	mS/cm	Multiparámetro EZ9909
					pH	0 - 14	Multiparámetro HANNA
					Temperatura	°C	HI98129/HI98130
					Cr Total	mg/L	Espectrofotómetro de masas con absorción atómica
					Cr VI	mg/L	Equipo de BOD respirométrico
					DBO ₅	mg/L	

Nota.: Elaboración propia 2021.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Gomez (18) evaluó la capacidad fitorremediadora de cromo de las especies *Lemna gibba*, *Salvinia minima* y *Azolla filiculoides*, y las expuso a diferentes concentraciones de cromo (1, 5, 10, y 20 mg Cr T/L). Encontraron que *Lemna gibba* tiene un FBC de 50-144, *Azolla filiculoides* con un FBC de 65-125 y *Salvinia minima* con un FBC de 73-79, concluyendo que *Salvinia minima* presenta un rango estable de concentración y tolerancia al metal en sus tejidos, mientras que *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides* presentan una mayor capacidad de remoción, aunque también una gran variabilidad.

Chaudhary y Sharma (19) evaluaron el potencial de fitorremediación de *Lemna gibba* para la eliminación del Cr y Cd a concentraciones de 1mg/L, 3mg/L, 5mg/L, 7mg/L y 9mg/L; y demostraron que *Lemna gibba* es un hiperacumulador para el cadmio con un porcentaje de remoción de 81.6% a 94.6% y un FBC de 237 a 1144. Para cromo, es un acumulador moderado con un porcentaje de remoción de 37.3% a 98.6% y un FBC de 37 a 295. Concluyeron que *L. gibba* logró la mayor remoción de ambos metales en una concentración de 5mg/L, en donde presentan clorosis completa a niveles de 9mg/L, que es más sensible al cromo que al cadmio.

Carreño (20) evaluó la capacidad de retención de cromo en un biosistema de tratamiento de aguas de curtiembres a través de la especie *Eichhornia crassipes*, que mostraron la remoción del 18% de cromo (740 mg/L inicial) en dos días, y en el tercer día se obtuvo una remoción de más del 30%, y finaliza el tratamiento con una remoción del 58%. Concluye que la especie *Eichhornia crassipes* es eficaz para el tratamiento y retención de metales pesados como el cromo a partir del cuarto día.

Chakrabarty, Afrin, MD. y MD. Zakir (21) evaluaron la capacidad fitorremediadora de la especie *Eichhornia crassipes* en efluentes de curtiembre sobre los parámetros pH, C.E., DBO y Cr, comparando los tratamientos de fitorremediación y sedimentación en dos periodos de tiempo de 7-15 días y 15 días respectivamente; en donde muestran una concentración inicial del efluente de 1232.4 mg/L para Cr, pH de 8.9, 9230 μ S/cm para C.E., 8746 mg/L para SDT y 920 mg/L para DBO. Reportaron, a los 15 días de tratamiento con *Eichhornia crassipes*, una remoción de 54.72% para el Cr, 17.97% para pH, 67.15% para el SDT, 61.93% para la C.E. y 81.73% para el DBO. También, encontraron una remoción de 14.37%

en Cr, 7.86% en pH, 30.21% en SDT, 22.28% en C.E. y 54.23% en DBO en los 15 días de tratamiento de sedimentación. Concluyeron que la especie *Eichhornia crassipes* es eficiente para la reducción de los parámetros, en donde permite conocer que en un mayor tiempo de tratamiento se obtendría mejores resultados.

Romero y Vargas (22) evaluaron el empleo de microorganismos eficientes en el tratamiento de aguas contaminadas, en donde observaron los cambios fisicoquímicos y microbiológicos que se dan en estas aguas después de la aplicación del producto Versaklin (microorganismos) en 0, 24, y 48 horas. Se tomaron muestras después de la aplicación de EM, en donde se encontró que no hubo cambio significativo en cuanto al pH y, la T°, fue importante en el desarrollo de los microorganismos. El OD fue inestable variando entre los diferentes puntos de muestreo, que está influenciado por la presencia de sustancias orgánicas, efluentes domiciliarios y las precipitaciones pluviales. El DBO y DQO presentaron una disminución en las primeras 24h, y posteriormente a las 48h se mostró una tendencia al aumento. Concluyeron que la mayor eficiencia de remoción se dio en las primeras 24h en los distintos parámetros evaluados con la aplicación de microorganismos Versaklin.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Calderón, Huaranca y Díaz (23) evaluaron la efectividad de la aplicación de los Microorganismos Eficientes en el Tratamiento Aguas Residuales. Encontraron una disminución positiva de los parámetros DQO en 68.09%, DBO en 65.83% y Coliformes totales en 99.95%. Concluyen que dentro de la semana 4 y 6 de tratamiento existe una mayor reducción de los parámetros, indicando que el tiempo influye dentro del comportamiento de los resultados obtenidos.

Vásquez (24) evaluó la eficiencia de los microorganismos eficientes aplicando dosis de 5ml, 10ml y 15ml de EM en el agua residual para conocer el efecto en la disminución de DBO. Reportaron una disminución de DBO (89.2 mg/L) a la dosis de 10 mL. Se concluye que la disminución del DBO se encuentra condicionada a la aplicación de una dosis determinada.

Ayala, Calderón, Rascón y Collazos (25) evaluaron la capacidad fitorremediadora en la remoción de contaminantes fisicoquímicos utilizando las especies *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale*. Encontraron que *Nymphoides humboldtiana* tuvo una capacidad en remover DBO en un 82.12%, DQO en un 84.77%, sólidos totales suspendidos en un 83.02 %,

turbidez en un 92.00%, microorganismos patógenos en un 93.46%. *Eichhornia crassipes* tuvo una efectividad en un 84.72% en DBO, 90.77% en DQO, 80.87% en sólidos totales suspendidos, 90.33% en turbidez, 91.92% en microorganismos patógenos. *Nasturtium officinale* tuvo una efectividad de 84.19% en DBO, 82,12% en DQO, 70.03% en sólidos totales suspendidos, 89,00% en turbidez y 90,77% en la remoción de microorganismos patógenos. Concluyen que la especie *Eichhornia crassipes* demostró la capacidad más destacada en la remoción de DBO y DQO. Esta superioridad se atribuye a la presencia de microorganismos asociados a dicha especie, los cuales facilitan la degradación de los compuestos orgánicos presentes.

Rojas y Suyon (26) evaluaron la capacidad fitorremediadora de la especie *Eichhornia crassipes* para remover concentraciones de arsénico, encontraron una eficiencia de remoción del 34 % al día 7 y una eficiencia de remoción de 60% en el día 14. Concluyen que la especie *Eichhornia crassipes* a mayor tiempo de exposición al agua contaminada con arsénico será más eficiente.

Valencia (27) evaluó la capacidad fitorremediadora de cobre de la especie *Lemna minor* exponiéndola a variadas concentraciones de pH (4, 5 y 6) durante 0, 5, 10 y 15 días. Encontraron que a los 10 días de tratamiento se logró una capacidad de remoción del 43.32% a un pH de 4, 64.63% a un pH de 5 y 97.44% a un pH de 6. Al día 15 se logró una capacidad de remoción 21.82% a un pH de 4, 50.70% a un pH de 5 y 99.84% a un pH de 6. Concluye que a un de pH 6 y los 15 de tratamiento se observó la mayor eficiencia de remoción.

Chavarry y Valderrama (28) evaluaron la capacidad fitorremediadora de la especie *Lemna minor* en la absorción de Cromo presente en agua residual. En el día tres, reportaron la remoción de 21.42 ppm, 13.13 ppm y 9.25 ppm en las concentraciones de 20, 40 y 60 unidades de lenteja respectivamente. En el día seis, reportaron una remoción de 4.60 ppm, 3.76 ppm y 3.54 ppm en las concentraciones de 20, 40 y 60 unidades de lenteja respectivamente. Concluyen que la mayor eficiencia de absorción se logró a los seis días de tratamiento con 60 unidades de lentejas, por lo tanto, a mayor cantidad de unidades de lentejas y mayor tiempo de exposición mejor será la efectividad en la absorción.

2.1.3. Antecedentes Regionales y Locales

Vargas (29) evaluó la capacidad de los microorganismos eficientes en la reducción de las concentraciones de los parámetros DBO y DQO de agua residual industrial en distintas dosis (200, 400 y 600 ml) y tiempos de tratamiento (10, 15 y

20 días). Demostrando que la dosis de 200 ml en 20 días de tratamiento fue óptima para la disminución de estos parámetros en un 79.51% y 49.01% respectivamente. Concluye que el uso de microorganismos eficientes es una alternativa para la reducción de las concentraciones en parámetros como DBO y DQO presentes en efluentes industriales.

Zapana (30) evaluó la remoción de Cr^{+6} de efluentes de curtiembre, seleccionando las cepas fúngicas *Trichoderma viride* y *Penicillium citrinum*, las cuales demostraron una mayor actividad enzimática de Lacasa con 66.790 ± 2.851 y 70.127 ± 2.303 (U/L) respectivamente a concentración de 1000 mg/L de Cr^{+6} . Demostraron un índice de biorremoción (PB) de 79.8% para *Penicillium citrinum* y 12.2% para *Trichoderma viride*, concluyendo que la especie *Penicillium citrinum* es la más aceptable para su utilización en el tratamiento de remoción de Cr^{+6} en efluentes de curtiembre por su elevada biorremoción.

Arizabal (31) evaluó la capacidad de remoción de Cr Total de aguas residuales de la Industria de curtido, utilizando humedales artificiales con *Eleocharis palustris* o *Chenopodium álbum*. Demostró que los humedales artificiales con *Eleocharis palustris* a una proporción de 25% y con un período de retención hidráulica de 4 días, presentó mayor remoción debido a la alta concentración de Cr Total en las raíces; concluyendo que la utilización de humedales artificiales se revela como una estrategia adecuada y efectiva para el tratamiento y remoción del cromo.

Mena y Eyzaguirre (32) evaluaron la remoción de Hg proveniente de efluentes mineros, mediante el uso de *Eichhornia crassipes* en dos tiempos de tratamiento (10 y 20 días) y aplicando de 80 a 100 gr de la especie. Demostraron que a los 10 días de tratamiento se alcanzó una remoción de Hg del 77% y 52% de remoción a los 20 días, concluyendo que la especie *Eichhornia crassipes* es más efectiva en la remoción de metales pesados como el mercurio (Hg) en un menor tiempo de exposición.

Delgado (33) evaluó la efectividad de la especie *Eichhornia crassipes* en la remoción de elementos eco tóxicos y materia orgánica provenientes de fluidos residuales de una empresa farmacéutica, obteniendo valores iniciales de pH 5.1 a T° 24.5°C, 503 mg/l de DBO_5 , 0.00656 mg/l de Cr, 0.01207 mg/l de As y 0.00100 mg/l de Cd. Los resultados mostraron que después del tratamiento con *Eichhornia crassipes* los valores fueron de 6.5 pH, T° 25.1°C, 585.3 uS/cm de C.E., 151 mg/l de DBO_5 , y una disminución de valores de 0.05 mg/l para Cr, 0.005 mg/l para As y

0.00172 mg/l para Cd; concluyendo que la especie *Eichhornia crassipes* demuestra eficacia en el proceso de depuración de diversos metales pesados.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. El Agua

El agua es un recurso natural fundamental para mantener la vida, compuesta por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno. Además, puede encontrarse de forma natural en estado gaseoso, sólido y líquido. Posee atributos singulares que lo convierten en un recurso sumamente valioso y fundamental para mantener la estabilidad de los ecosistemas, por lo tanto, es importante la concientización sobre su protección y adecuado uso (34).

El agua desempeña un papel vital en diversas formas de vida, siendo esencial para el consumo humano, la higiene personal y una amplia gama de actividades humanas, como la agricultura, ganadería, industria, minería y uso doméstico. Este recurso natural garantiza el adecuado funcionamiento de los ecosistemas, el desarrollo de la biodiversidad y la regulación climática a través del ciclo hidrológico (35).

El estado del medio hídrico, que constantemente es modificado por causas naturales y antropogénicas, determina la calidad del agua. Asimismo, se le define como un conjunto de características microbiológicas y fisicoquímicas que permiten el desarrollo de un ecosistema equilibrado (36). La mala gestión del recurso hídrico afecta su calidad, propiciando la eutrofización, desequilibrios tróficos, erosión e impactos en aguas subterráneas (37).

2.2.2. Agua residual

Según OEFA, las aguas residuales presentan una modificación antrópica en sus características fisicoquímicas y biológicas, producto de actividades industriales, domésticas y municipales. Con el propósito de prevenir consecuencias desfavorables en el entorno, éstas deben tratarse previamente antes de ser vertidas, descargadas o reutilizadas (38).

Los Estándares de Calidad Ambiental del Agua son un mecanismo de regulación ambiental que establece los niveles de concentración de elementos o sustancias presentes en el entorno, sin representar una amenaza para la salud humana ni el medio ambiente (39).

Mediante el Decreto Supremo. N°004-2017-MINAM, se definen y ratifican los ECA para el Agua, presentando los parámetros fisicoquímicos para diferentes categorías.

Los estándares concernientes a la categoría 3 de bebida de animales y riego de vegetales, se encuentran especificados en la Tabla 2 (40).

Tabla 2. ECA para Agua, Categoría 3

Parámetros	Unidades de medida	Riesgo de vegetales	Bebida de animales
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15	15
Conductividad	μS/cm	2 500	5 000
Cromo Total	mg/L	0,1	1

Nota: Valores establecidos para los parámetros de la Categoría 3 – ECA para agua, de acuerdo con la información obtenida de (40).

Los Límites Máximos Permisibles, constituyen otro instrumento esencial en el ámbito de la calidad del agua. Los límites máximos permisibles son los niveles máximos de sustancias, parámetros fisicoquímicos y biológicos que se permiten en un efluente, cuya superación podría acarrear efectos negativos para los ecosistemas y la salud humana (41).

El Decreto Supremo N°003-2002-PRODUCE establece los Límites Máximos Permisibles (LMP) y Valores Referenciales para las actividades industriales de curtiembre, entre otras. Además, los parámetros fisicoquímicos se encuentran detallados en la Tabla 3. (42).

Tabla 3. LMP de efluentes para Alcantarillado de la Actividad de Curtiembre

Parámetros	Curtiembre	
	En curso	Nueva
pH	-	6.0 - 9.0
Temperatura (°C)	35	35
DBO ₅ (mg/l)	-	500
Cromo VI (mg/l)	-	0.4
Cromo Total (mg/l)		2

Nota: Valores establecidos para los parámetros, de acuerdo con la información obtenida de (42).

Finalmente, un tercer instrumento, para contrastar la calidad del agua, son los Valores Máximos Admisibles, definidos como la concentración de sustancias, elementos y parámetros fisicoquímicos, característicos de un efluente que será

vertido al sistema de alcantarillado y que, al ser excedido, causan daño a las instalaciones o infraestructura sanitaria (43).

A través del Decreto Supremo N°021-2009-VIVIENDA, se validan los Valores Máximos Admisibles (VMA) para los vertidos de aguas residuales de origen no residencial que se vierten en el sistema de alcantarillado sanitario. La información detallada de estos valores se encuentra disponible en la Tabla N° 4 (44).

Tabla 4. VMA de las descargas de aguas residuales no domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario

Parámetro	Unidad	Expresión	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
pH	unidad	pH	6-9
Temperatura	°C	T	<35
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	DBO ₅	500
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/L	Cr	10

Nota: Valores establecidos para los parámetros, de acuerdo con la información obtenida de (44).

2.2.3. Parámetros fisicoquímicos.

Los parámetros fisicoquímicos brindan información sobre los componentes químicos y propiedades físicas de un efluente (45).

- A. **pH - Potencial de Hidrógeno.** Se refiere al nivel de acidez o alcalinidad presente en el agua y está relacionado con la cantidad de iones de hidrógeno presentes (46). Entonces, la concentración de iones hidrógeno es un indicador de calidad, crucial para conocer la calidad, tanto en aguas residuales como naturales. Asimismo, el agua residual que tiene un pH bajo presenta mayor dificultad de tratamiento con procesos biológicos y el vertimiento del efluente hacia las aguas naturales receptoras puede modificar el pH. (47).
- B. **Temperatura (T).** Este parámetro afecta a la descomposición de la materia orgánica al contribuir a los procesos químicos y biológicos en términos cinéticos (46). Influye tanto en la velocidad de reacción de las sustancias químicas y en el desarrollo de los ecosistemas acuáticos. Este atributo se configura como un indicador de la calidad del agua que podría impactar en el nivel de pH, presencia de oxígeno, conductividad eléctrica y otros (47).
- C. **Conductividad Eléctrica (C.E.).** Es la medida de la capacidad de las soluciones acuosas para conducir corriente eléctrica y cambia según la concentración de iones y la temperatura (48). Esta propiedad está asociada

con la presencia de sales en el agua y su capacidad de transmitir electricidad aumenta en consecuencia. Se expresa en micro Siemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (47).

- D. DBO₅ - Demanda Bioquímica de Oxígeno.** Se interpreta como un indicador que refleja el nivel de contaminación orgánica en el agua, resultado de la descomposición de tres tipos de sustancias (nitrógeno oxidable, compuestos orgánicos de carbono y compuestos químicos reductores). Representa la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para degradar la materia orgánica. (47).
- E. DQO – Demanda Química de Oxígeno.** Parámetro que indica la cantidad de oxígeno requerida para oxidar las sustancias reductoras presentes en el agua (49). La DQO puede asociarse empíricamente con la DBO (50).
- F. Cromo Total.** Este parámetro engloba Cr III y Cr VI, se puede encontrar en el agua casi exclusivamente en forma de compuestos, que presenta diferencias en sus propiedades químicas. El Cr III en su estado de sulfato de cromo y óxido de cromo; presenta menor movilidad y se encuentra presente en la materia orgánica, suelos y medios acuáticos (51). Es menos tóxico y soluble que los iones de Cr VI (52).
- G. Cromo VI.** Elemento que se encuentra en forma de ácido crómico, trióxido de cromo y dicromato. Este elemento se encuentra de manera espontánea en el recurso hídrico, suelos, rocas, y en cultivos como remanente en suelos agrícolas; siendo los diversos compuestos del Cr VI representantes de amenaza, debido a su alta toxicidad y efectos sobre el material genético (cancerígeno) (47).

2.2.4. Industria de Curtiembre en Arequipa

La industria del curtido utiliza la piel de animal, principalmente de vacas, ovejas y cerdos, para transformarla en cuero. El cuero debe tener las características de ser duradero, flexible, resistente y de buen aspecto. El curtido se puede hacer con sales de cromo o agentes vegetales como taninos, siendo mayormente utilizada las sales de cromo en un 80 % de las industrias (53).

2.2.4.1. Proceso Industrial de Curtiembre.

- A. Recepción de pieles:** Se realiza la descarga, almacenaje de pieles y se aplica sal para su conservación hasta la carga en los tambores o botales (53).

- B. Pre-remojo y remojo:** Es el proceso en el cual las pieles se sumergen en agua donde se le adicionan tensoactivos, bactericidas y detergentes para rehidratar y lograr la limpieza de la piel (53). Los efluentes producidos se destacan por presentar una gran cantidad de materia orgánica y elevados valores de SST, DBO, DQO, grasas y aceites (54).
- C. Pelambre:** Se trata del proceso en el cual se elimina el pelaje con ayuda de agua y productos químicos como un álcali (Ca(OH)_2 - cal apagada) y (Na_2S - sulfuro de sodio). Estas sustancias químicas penetran en la piel y ocasionan la separación entre la dermis y la piel superficial (53), (55). Los residuos líquidos generados en este proceso contienen una alta cantidad de sulfuros, residuos sólidos, y altos valores de DBO y DQO (54).
- D. Descarnado y dividido:** Proceso mecánico que logra la división de la carnaza, grasas y retazos de piel. Esta etapa es importante para facilitar la penetración de las sustancias químicas en los posteriores procesos hasta el curtido. Esta etapa ocasiona la generación de enormes cantidades de materia orgánica (53).
- E. Desencalado y purga:** Es el proceso en el cual se consigue la eliminación de sulfuros, cal y productos alcalinos mediante el uso de agua, sulfuro de amonio y ácidos dicarboxílicos. También, se logra el deshinchamiento alcalino de la piel mediante una combinación de neutralización, acción mecánica y temperatura (48). Los efluentes generados en este proceso contienen sulfuros, cal y materia orgánica (54).
- F. Piquelado:** Es el proceso donde se prepara la piel para el curtido. Se usa agua y productos químicos como ácido acético (CH_3COOH), ácido fórmico (H-COOH), y sales que detienen las reacciones enzimáticas sobre el colágeno. Favorece la separación de cal y se consigue un pH entre 1.8 y 3.5. El valor del pH varía de acuerdo con la piel que se fabrica (53). Los efluentes líquidos generados se caracterizan por contener un alto grado de sales residuales como el hidróxido de calcio y NaCl , que fueron aplicadas en el proceso de pelambre (54).
- G. Curtido:** En este proceso se añade sulfato básico de cromo [Cr(OH)SO_4] que penetra en la piel y reacciona con las proteínas de la piel y modifica las propiedades de ésta. El producto obtiene firmeza a

fin de evitar la descomposición y degradación del cuero (53). Los residuos líquidos generados en este proceso son ácidos y poseen sales de cromo (54).

- H. Rebajado:** Previamente a este proceso el cuero se somete a un enjuague con agua. Posteriormente, se realiza el raspado de la piel con una maquina raspadora para alcanzar el espesor requerido dependiendo del uso que se le dará al cuero (55). En este proceso se generan residuos sólidos como la viruta con cromo (54).
- I. Recurtido:** Proceso donde nuevamente se adiciona sales de cromo para mejorar las propiedades y características del cuero dándole mayor firmeza, elasticidad, durabilidad, suavidad, resistencia al agua y homogeneidad del teñido (55).
- J. Teñido y Engrase:** En este proceso se da color al cuero en su totalidad y a la vez se adiciona aceites para lograr un cuero flexible, sedoso y suave (55).
- K. Escurrido y acabado:** Proceso donde se elimina la humedad por acción mecánica en su totalidad (4). Luego el cuero se somete a una zaranda giratoria que lo golpea y ocasiona su ablandamiento. Finalmente se estira el cuero con ganchos metálicos para la eliminación de arrugas del lado de la flor y se añade lacas y pinturas que protegerá el acabo del cuero (55).

2.2.4.2. Características de las aguas residuales de curtiembre.

Los efluentes típicos de las curtiembres tienen una concentración muy alta de carga de materia orgánica biodegradable (DBO₅) y un alto contenido de nitrógeno, debido a que la piel está compuesta de proteínas, grasas, queratinas, etc., además de otros compuestos químicos y orgánicos como curtientes, grasas, sintéticos, colorantes, etc. (56).

Asimismo, el agua residual presenta componentes inorgánicos como cromo, amonio, cloruros, sulfatos, sulfuros, y otros. El cromo es el más concentrado y peligroso. También, contiene sales que se utilizan para la conservación de la piel (sal, sulfuros, sales de cromo, etc.), lo que le da un alto nivel de alcalinidad al agua residual (alrededor de un pH de 10) (55).

La concentración de aceites y grasas no es significativa (57). En tabla 5 se muestra una composición que caracteriza a un efluente homogeneizado proveniente de una industria de curtido.

Tabla 5. *Parámetros Físicoquímicos característicos del agua residual de Curtiembre*

Parámetro (mg/L)	Efluentes generales	Efluentes tratados en cuanto a la recuperación de pelo, cromo y desulfuración
DQO	7.000 - 8.000	5.000-5.500
DBO	4.000 - 4.500	3.000-3.500
NH ₃	200 - 250	<200
SS	3.500 - 250	2.500-3500
SST	-	-
SSV	-	-
NTK	-	-
Cr ³⁺	200 - 300	80-100
S ²⁻	200 - 250	<2
SO ₄ ²⁻	1.800	1.800
Cl ⁻	5.000 – 6.000	5.000-6.000

Nota: Elaboración propia de acuerdo con información obtenida de (57).

2.2.4.3. Tratamiento de Aguas Residuales de Curtiembre

Se puede encontrar una amplia diversidad de enfoques para el tratamiento de efluentes líquidos industriales, los cuales varían según el nivel de calidad deseado y los componentes específicos que se deben eliminar (aceites y grasas, arenas y sólidos sedimentables, residuos, amoníaco, compuestos con nitratos y fosfatos, entre otros) (58).

La clasificación más conocida es aquella que toma en cuenta el tipo de proceso que sufre el compuesto, dando lugar a un conjunto integrado de procesos y operaciones (58).

En los tratamientos físicos, el agua residual en su composición no sufre ninguna alteración. En los tratamientos químicos, el agua residual, sufre una alteración química debido a la adición de sustancias químicas. En los tratamientos biológicos, se utiliza ciertas especies de microorganismos y vegetales que tienen la capacidad de degradar ciertos elementos contaminantes (58).

A. Pretratamiento

Implica la considerable reducción de partículas sólidas de dimensiones considerables, y una disminución significativa de sulfuros y cromo, con el fin de favorecer el tratamiento en las siguientes etapas (5). Puede aplicarse mediante:

Rejas: Son barrotes con 3 a 5 cm de separación que permiten retener material sólido de tamaño considerable que fluye en el agua residual. Esta estructura es de material anticorrosivo de 6mm de espesor y se instalan en una posición inclinada en relación con la horizontal, con ángulos que varían entre 60 y 80 grados (55).

Tamizado: Permite retener una considerable cantidad de sólidos de pequeño tamaño que se encuentran en suspensión y flotación como pelos y restos de piel, que por su alta propiedad orgánica incrementa el valor de DQO y DBO. Los tamices se elaboran con mallas filtrantes de material metálico que presentan una separación de entre 0,5 y 1 mm, dispuestas en un ángulo de inclinación que al pasar el agua los materiales sólidos son retenidos y desplazados fuera de la malla (55).

Desarenado - Desengrasado: Logra la eliminación de material particulado superior a 200 micras, espumas, grasas, partículas flotantes. Generalmente el material particulado en suspensión posee baja densidad, por lo que es separado en el decantador primario (55).

B. Tratamiento primario

Permite la separación mediante medios físicos complementados con medios químicos, de sólidos suspendidos sedimentables y flotantes no retenidos en el tratamiento previo, como grasas, fibras, etc. (4).

Las operaciones unitarias utilizadas en el tratamiento primario son:

- a. Sedimentación o decantación
- b. Flotación
- c. Corrección del pH

a. Sedimentación: Mediante la fuerza de gravedad se consigue la separación de un sólido presente en el agua (53). La sedimentación se puede aplicar en dos situaciones:

- La sedimentación primaria: Se realiza después del pre-tratamiento para apartar sólidos en suspensión sedimentables presentes en las aguas residuales, en una cantidad entre 50% y

70% de los sólidos totales. Permite remover sustancias orgánicas de un 25% a 35% en DBO₅, generándose lodo que requerirá un tratamiento de estabilización (53).

- La sedimentación secundaria: Es un proceso complementario al tratamiento biológico. En esta fase la materia orgánica sedimentable producido por los microorganismos se separan del agua (53).

Los sedimentadores o decantadores se caracterizan por su tamaño y por los puentes móviles, diferenciando a los elementos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR. Tras el transcurso de sedimentación se obtienen agua depurada y lodo (4).

- b. Flotación:** Proceso físico de división sólido-líquido. Se basa en la variación de densidad levantando a la superficie partículas con una densidad inferior a la densidad del líquido (53). Este proceso requiere una instalación de tamaño moderado y muchos elementos mecánicos (válvulas, motores, etc.). Los sistemas más utilizados son: la inyección de aire, el aire infundido y el vacío (53).

La flotación por inyección de aire comprimido utiliza un difusor de burbujas finas para soplar aire directamente a la fase líquida en el tanque de flotación. Las burbujas generadas son grandes (milímetros de diámetro), con velocidades de ascenso más rápidas, tiempos de viaje más cortos en el tanque, mayor impacto en la ascendencia de sólidos menos densos y un rendimiento eficiente en la flotación. Se usa para mejorar el proceso de flotación natural en la separación de aceites y grasas, y algunas partículas de baja densidad; así como para el tratamiento de ciertas aguas residuales propensas a formar espuma (53).

C. Tratamiento secundario

Este tratamiento se apoya en la integración de procedimientos mecánicos y biológicos con el fin de eliminar del agua las impurezas que no son retenidas mediante la decantación o en sistemas de rejillas. (59).

Al tratarse de aspectos biológicos, estos sistemas se ven afectados por factores climáticos, por lo cual, es necesario considerar las características y adaptación de los organismos al sitio del proyecto. Se

utiliza el tratamiento biológico cuando el valor de DBO₅ a remover se encuentra entre 75% a 98%, los TSS entre 75% a 98%, el nivel de remoción de parásitos y microorganismos patógenos (> 99%), se requiere la remoción o reducción de la presencia de nutrientes y lograr la estabilidad de compuestos volátiles sólidos que están presentes en las aguas residuales (59).

D. Biorremediación

Se aprovecha las capacidades metabólicas de los microorganismos y plantas para remediar suelos y aguas contaminadas. Es decir, se utiliza sistemas biológicos que cataliza la destrucción o conversión de elementos químicos a otras de menor contaminación y toxicidad. La utilización de estos organismos biológicos reduce o elimina riesgos ambientales ocasionados por la acumulación de elementos químicos tóxicos y otras sustancias o compuestos peligrosos (60), (61).

Dentro de las diferentes técnicas de biorremediación en el presente trabajo aplicaremos dos de ellas, la fitorremediación y la tecnología de los microorganismos eficaces (EM).

a. Microorganismos Eficaces (EM)

Esta biotecnología fue desarrollada en la Universidad de Ryukyus, de la ciudad de Okinawa - Japón por el Dr. Teruo Higa, con la finalidad de reemplazar fertilizantes y plaguicidas por alternativas naturales. Encontró que el éxito de la actividad microbiana radicaba en el efecto potenciador de la sinergia entre diferentes microorganismos: bacterias fototrópicas, levaduras, bacterias ácido-lácticas, hongos fermentadores y actinomicetos. Además, estos microorganismos no han sido químicamente alterados, no representan nocividad ni toxicidad, ni fueron alterados genéticamente por el hombre. Son altamente eficientes y se pueden encontrar de forma natural en el ambiente, sencillamente fueron seleccionados por la misma naturaleza benéfica y se han puesto actuar juntos (7), (62).

- **Composición de los microorganismos eficaces**

- *Rhodopseudomonas spp.* (**Bacterias fototrópicas**). Son bacterias fototrópicas facultativas que pertenecen al grupo de las bacterias púrpuras no del azufre. Degradan varios compuestos

aromáticos derivados del petróleo, por lo que, se implica en el manejo de compuestos carbonados. Su crecimiento puede ocurrir tanto en entornos con presencia como con ausencia de oxígeno. Las condiciones óptimas para su desarrollo se encuentran en un rango de temperatura entre 30°C y 37°C, mientras que su pH más adecuado oscila alrededor de 6.9, dentro de un margen que abarca desde 5.5 hasta 8.5 (7), (62).

Estos microorganismos emplean el calor terrestre y la radiación solar como sus fuentes de energía, permitiéndoles llevar a cabo la síntesis de compuestos beneficiosos a partir de exudados radiculares, gases perjudiciales como el ácido sulfhídrico, y materia orgánica. Estos microorganismos producen metabolitos como: aminoácidos, sustancias bioactivas, azúcares y ácidos nucleicos, por lo que favorecen en el desarrollo de la planta y fomentan el aumento de poblaciones de microorganismos benéficos, como las micorrizas en la rizósfera, *Azotobacter* y *Rhizobium*, que fijan nitrógeno de la atmósfera (7), (62).

- ***Lactobacillus spp.* (Bacterias ácido-lácticas).** Son microorganismos que conforman los EM y son las más abundantes. A través de la fermentación de azúcares y otros tipos de carbohidratos originados por levaduras y bacterias fototrópicas, se producen ácidos lácticos. Estos son un componente esterilizador muy eficaz, capaz de atacar microorganismos nocivos e incita que se descomponga la materia orgánica y compuestos recalcitrantes como la celulosa y la lignina. También, suprimen enfermedades ocasionadas por *Fusarium*, el cual debilita las plantas exponiéndolas a plagas como los nemátodos (63).

- ***Saccharomyces spp.* (Levaduras).** Son colonias blancas de hongos unicelulares que exhiben la habilidad de descomponer la materia orgánica a través del proceso de fermentación. Estos organismos generan compuestos con propiedades antimicrobianas al liberar los aminoácidos y azúcares, tanto a través de las bacterias fototrópicas como del rizoma de las plantas y materia orgánica. Aumentan la actividad celular mediante sustancias

bioactivas como hormonas y enzimas que funcionan como sustrato útil para los actinomicetos y bacterias ácido-lácticas (64).

- **Actinomicetes.** Son estructuras intermedias entre hongos y bacterias que al coexistir con las bacterias fotosintéticas cumplen la función de descomponer la materia orgánica y producen sustancias como aminoácidos y azúcares que tienen un efecto antimicrobiano para eliminar microorganismos patógenos y hongos perjudiciales. Aumentan la resistencia de las plantas y regeneran la calidad de los suelos (63), (64).

- **Hongos de Fermentación.** Son microorganismos como *Aspergillus* y *Penicillium* que descomponen de manera rápida la materia orgánica. Producen ésteres, alcohol, y elementos antimicrobianos que desodorizan y previene la aparición de insectos dañinos. Poseen la capacidad de reproducirse de manera sexual como asexual permitiendo una multiplicación de manera rápida bajo condiciones favorables (63).

b. Fitorremediación.

Es una biotecnología que utiliza ciertas especies de plantas que remueven, toleran, absorben, acumulan y/o degradan los compuestos orgánicos, pueden aplicarse de manera *in situ* como *ex situ*. Este método ofrece ventajas como su bajo costo en tecnologías de degradación de los contaminantes y nos muestra el efecto positivo de estas especies consideradas invasivas (65). Medina (12), señala que es una tecnología relativamente actual de bajo presupuesto, eficiente, innovador y amigable con el medio ambiente. Está impulsada por la radiación solar y es muy aceptado por el público, al hacer uso de las macrófitas en distintas formas, con el fin de mitigar la peligrosidad y concentración de los contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos en diferentes medios a partir de reacciones bioquímicas ocasionadas por las plantas (12).

- **Estrategias de fitorremediación**

- **Fitoestabilización.** Esta técnica ayuda a reducir el movimiento y dispersión de los contaminantes presentes en el suelo, al

promover su acumulación y la adsorción en la zona de la rizósfera; evitando su desplazamiento a la capa freática o al aire. Se aplica a suelos donde existe contaminación superficial y gran contenido de materia orgánica (66).

- **Rizofiltración.** Las plantas son cultivadas hidropónicamente y el sistema radicular elimina los contaminantes del cuerpo de agua. Es decir, las raíces absorben y acumulan metales, y cuando se saturan se cosechan para su disposición final. Esta técnica puede eliminar metales, residuos industriales, escorrentía de tierras, drenajes ácidos y elementos radioactivos (67).

- **Fitoextracción o Fitoacumulación.** En esta técnica el sistema radicular de la planta absorbe y acumula los metales contaminantes hacia las partes aéreas (tallos y hojas). Se requiere la selección de especies adecuadas de acuerdo con las características de los metales. Luego de absorber los contaminantes, las plantas son cosechadas e incineradas para luego ser trasladadas a un vertedero (67).

- **Fitovolatilización.** En esta técnica las plantas absorben los contaminantes, que posteriormente los convierte en su forma volátil con menor grado de toxicidad y los libera al aire mediante la transpiración. Así, se elimina la contaminación en cuerpos de agua, como por ejemplo algunos contaminantes metabolizados de mercurio, selenio, compuestos clorados, triclorometano, entre otros (68).

- **Fitodegradación.** Las plantas, en simbiosis con los microorganismos presentes en la rizósfera, degradan los contaminantes y los descomponen en formas más simples y menos tóxicas mediante la asistencia de enzimas como la oxigenasa y la deshalogenasa. (69).

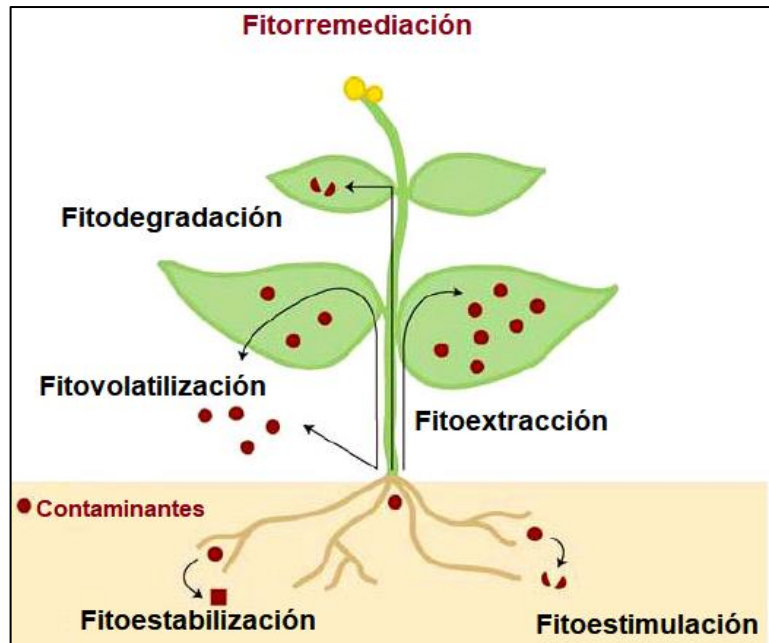


Figura 1. Estrategias de Fitorremediación. Tomada de «Fitorremediación como una alternativa para el tratamiento de suelos contaminados», por Muñoz et al (70).

● **Plantas fitorremediadoras.**

- *Eichhornia crassipes*. Que se conoce comúnmente como “Jacinto de agua”, es una especie hidrofita vascular de origen sudamericano adaptado a ecosistemas tropicales y subtropicales. Además, presenta sacos llenos de aire denominados Peciolos que forman parte de las hojas y tallos, lo que permite su flotación en los cuerpos de agua. Esta planta es constantemente estudiada a causa de su destacada capacidad en la fitorremediación de metales pesados. Su consideración en la tecnología de fitorremediación se debe a su eficacia y rentabilidad en el tratamiento de aguas que están contaminadas con metales pesados (cromo VI) y también debido a su gran capacidad de tolerancia y absorción (71).

Categoría taxonómica, según SiB Colombia (72), se presenta de la posterior manera:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Commelinales

Familia: Pontederiaceae

Género: Eichhornia

Especie: *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms

- ***Lemna gibba***. También, conocida como lenteja de agua por su forma ovoide. Esta planta flotante presenta una hoja y su propia raíz alargada que se extiende bajo la superficie acuática. Se encuentran en aguas estancadas o en aguas lentas que presentan un valor elevado de nutrientes, morfológicamente no se distingue el tallo de la raíz, por lo cual su estructura es muy simple y muy pocas veces florecen. Esta especie es muy estudiada en cuanto a su capacidad fitorremediadora de materia orgánica y absorción de contaminantes, además de su rápida producción de biomasa (73).

Categoría taxonómica, según Banco de Datos de Biodiversidad de Canarias (74) es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Spermatophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Alismatales

Familia: Lemnaceae

Género: Lemna

Especie: *Lemna gibba* L.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Humedales artificiales: Sistema de tratamiento que actúa como biofiltro para la depuración de contaminantes de agua residual industrial, mediante la utilización de especies vegetales tolerantes (31).

2.3.2. Macrófitas flotantes: Grupo de especies con diferente morfología, que poseen la característica de mantener en la superficie del agua a sus órganos asimiladores. Asimismo, estas especies son utilizadas en configuraciones de la depuración de aguas residuales (75).

2.3.3. Tiempo de Retención Hidráulica: Cantidad de tiempo que permanece el agua en un sistema de tratamiento, abarcando desde su ingreso hasta su salida tras el proceso de tratamiento. Este concepto puede cuantificarse mediante la siguiente fórmula matemática (76):

$$\text{TRH} = V (\text{m}^3) / Q (\text{m}^3/\text{hr})$$

Donde: TRH (hora) – V (volumen) – Q (gasto)

2.3.4. Biofiltro: Tecnología de depuración de agua residual mediante el uso de plantas que retienen y descomponen los contaminantes orgánicos e inorgánicos (77).

2.3.5. Órganos asimiladores: Se denomina a aquellos elementos de la planta (tallos, hojas y raíces) conformadas por tejidos asimiladores, las cuales se pueden encontrar sumergidos o en flotación como las hidrófitas (78).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método

El presente trabajo se relaciona al Método Científico. Según autores como Figueroa (79) y Bautista (80), el método científico hace referencia a un estudio sistemático, empírico, controlado, y crítico de proposiciones hipotéticas; que abarcan la observación, el planteamiento de la problemática identificada, la formulación de hipótesis, la experimentación, la interpretación de resultados, las conclusiones y la comunicación de los detalles realizados en el trabajo.

Además, el método general de este trabajo es científico, debido a que sigue una serie de pasos identificados, como la observación, con la cual se llegó a identificar la problemática de nuestra investigación, y la posterior formulación de los objetivos e hipótesis, la experimentación considerada como la parte laboriosa de la investigación. La etapa culmina con la interpretación de los resultados acumulados a lo largo de la fase experimental, y brindando las conclusiones relacionadas hacia el logro de los objetivos e hipótesis planteadas. Por ello, esta investigación consideró al método hipotético deductivo, debido a que impulsa a los investigadores a combinar la reflexión lógica con la observación empírica para contrastar las hipótesis formuladas (81).

El método específico adoptado en el trabajo es el experimental, cuyo objetivo es verificar y medir las variaciones o efectos manifestados en una variable dependiente al manipular una o más variables independientes (82). Asimismo, en la presente investigación, se registra el cambio de los parámetros fisicoquímicos presentes en las aguas residuales procedentes del proceso de curtiembre. Esto se realiza en función de la aplicación de diversos tratamientos de biorremediación.

3.1.2. Alcance y Tipo de investigación

La investigación realizada es de carácter aplicado que posee como característica la aplicación de teorías y leyes científicas comprobadas para realizar la explicación y solución a las problemáticas identificadas en el entorno; permitiendo su aplicación práctica a nuevos problemas identificados que requieran de soluciones comprobadas (83).

La presente investigación pone en práctica dos técnicas probadas de biorremediación como son la Tecnología de Microorganismos Eficaces, y la

fitorremediación en Humedales Artificiales con especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba*, como alternativa para dar solución al problema de contaminación causado por los efluentes del proceso de curtiembre en el sector del PIRS.

El enfoque de esta investigación es correlacional y explicativo. Además, en el contexto de la investigación explicativa, se busca comprender la relación de un evento con sus causas o fundamentos. (83). Por ello, esta investigación se categoriza como explicativa, dado que pretende explicar la relación de la funcionalidad de los EM (Microorganismos Eficaces) respecto a la actividad de las dos especies fitorremediadoras (*Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba*) y su efecto sobre la calidad del agua residual de curtiembre.

Por último, este estudio adopta un enfoque cuantitativo, ya que la observación de los resultados se realizará mediante la medición con instrumentos de campo y equipos de laboratorio. Los resultados obtenidos serán utilizados para determinar las respuestas a las variables y validar las hipótesis por medio del análisis estadístico y la interpretación numérica.

3.2. Diseño de la investigación

Esta investigación se clasifica como un Diseño Experimental. Para Bautista (80) y Tacillo (83), la investigación experimental pone a prueba los hechos e hipótesis mediante la comprobación de las condiciones creadas y la manipulación de variables en estudio por parte de los investigadores, diferenciándose de otros tipos de investigación por el grado de control sobre las variables.

Asimismo, se considera el diseño experimental como propio de investigaciones cuantitativas; y contemplando al diseño pre - experimental como aquel al que se le realiza un pre test y un post test en el tratamiento (82).

En este sentido, el presente estudio adopta un diseño experimental y de tipo pre-experimental, donde el grupo de estudio será evaluado considerando datos de entrada (O1) que fueron anotados antes del tratamiento (basal), y datos de salida que fueron obtenidos en el transcurso y después del tratamiento (O2) (82). Esta disposición se ilustra en la representación siguiente:

G: O1 ----- X -----O2

Donde:

G : Grupo de estudio

- O1 : Observación de entrada
- O2 : Observación de salida
- X : Tratamiento

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Se refiere al total de elementos que se están investigando, que pueden incluir personas, objetos, acontecimientos, fenómenos u otros elementos que muestren características relevantes para el propósito del estudio (84). La población en cuestión está compuesta por los residuos generados durante el proceso de producción de Curtiembre Pacheco S.R.LTDA, que se encuentra en el Parque Industrial de Río Seco (PIRS), en el departamento de Arequipa.

3.3.2. Muestra

Es la parte o fracción seleccionada y representativa de una población que se encuentra sujeta a investigación, y que posee las características requeridas que permiten la generalización de resultados del estudio (84). La presente investigación considera ciento ocho litros (108 L) de efluentes del proceso de curtimiento de las pieles en la Curtiembre Pacheco S.R.L.TDA, efluentes que siendo homogenizados fueron distribuidos en 6 baldes de retención conteniendo 18 litros de efluente cada uno; estableciendo la cantidad requerida para disponer de 14 litros de efluente para el Tratamiento mediante la Fitorremediación (7 litros para el tratamiento usando la especie *Eichhornia crassipes* y 7 litros para el tratamiento con la especie *Lemna gibba*) y disponer de 4 litros para el muestro en laboratorio de Cr VI, Cr Total y DBO₅.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Según Ñaupas (84), las técnicas comprenden un conjunto de procedimientos que regulan un determinado proceso para alcanzar el objetivo del estudio. Mientras tanto, los instrumentos representan las herramientas conceptuales o materiales empleadas para recolectar información o datos en el estudio, asumiendo diferentes formas de acuerdo con las técnicas que forman la base del estudio.

En la investigación, la técnica utilizada es la Observación, que involucra el registro sistemático, preciso y fiable de situaciones que son susceptibles de ser observadas (82). Esta técnica tiene un propósito deliberado de orientar la recolección de datos partiendo de las unidades de análisis identificadas.

Para llevar a cabo la recolección de datos *in situ*, se emplearon instrumentos de investigación como el dispositivo multiparámetro EZ 9909 (previamente calibrado en fábrica), que se empleó para registrar la Conductividad Eléctrica (C.E.), y el multiparámetro Hanna Instruments (Modelo HI98129/ HI98130), utilizado para cuantificar los valores de Temperatura y pH.

Por otro lado, en el ámbito del laboratorio, se emplearon instrumentos específicos para la toma de datos. Estos instrumentos estuvieron destinados a la evaluación de los niveles de descomposición de la contaminación orgánica mediante el método de DBO₅ y la medición de las concentraciones de Cromo VI y Cromo Total mediante el método de espectrometría de masas con absorción atómica. Cabe mencionar que estos métodos son estándar y han sido aprobados, siendo realizados en un laboratorio certificado BHIOS.

3.5. Procedimiento

3.5.1. Lugar y fecha

La investigación se realizó en las Instalaciones del Centro de Investigación DIVA-VIDA E.I.R.L., localizado en Jirón Arequipa 103-A Alto Libertad, en el distrito de Cerro Colorado, en la provincia y región Arequipa. Ubicada en las coordenadas UTM N: 8 187 020 y E: 0 225 745 (ANEXO I). El período de desarrollo de esta investigación abarcó 12 meses, extendiéndose desde junio de 2021 hasta mayo de 2022.

3.5.2. Colecta de agua residual del proceso de curtiembre

La colecta se realizó previa coordinación con la Curtiembre Pacheco S.R.L.TDA, localizada en el Parque Industrial de Rio Seco, Mz. B Lote 14 - distrito de Cerro Colorado, región de Arequipa, ubicada en las coordenadas UTM N:8 190 470 y E:0 223 149 Zona 19K (ANEXO II). El proceso de curtido realizado en la planta consta de los procesos de pre remojo, remojo, pelambre, lavado 1, lavado 2 (pre desengrase), desengrase, purga y desengrase, curtido, recurtido, engrase y teñido, los mismos que tienen diferentes tiempos de duración y no se realizan dentro de un mismo día. Por lo mencionado, la colecta se realizó en diferentes días y horas, colectando el agua de cada proceso mencionado en baldes con capacidad de 20 L, en un periodo de una semana. (Figura 2). El día 1 se realizó la colecta de los efluentes originados durante las etapas de pre remojo y remojo, el día 2 los efluentes provenientes del proceso de pelambre, el día 3 de los procesos de lavado 1 y lavado 2, el día 4 del proceso de desengrase, día 5 del proceso de curtido, el día 6 de los procesos de purga y desengrase y recurtido, y el día 7 de los procesos de engrase y teñido.



Figura 2. Colecta de Efluentes de la Curtiembre Pacheco S.R.L.TDA, 2021

3.5.3. Colecta y aclimatación de especies fitorremediadoras

Se realizó la colecta de la planta Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en el lugar “La Motobomba”, distrito de Dean Valdivia, ubicado en la provincia de Islay de la región de Arequipa, localizada mediante las coordenadas UTM N: 8 104 709 y E: 0 192 504 (ANEXO III). Haciendo uso de un cordel y un enganche se procedió a arrastrar hacia la orilla las especies macrófitas, que posteriormente fueron depositadas en un contenedor de plástico transparente para su traslado. Se prosiguió con la colecta de Lenteja de agua (*Lemna gibba*) que se encuentra en el Lago Titicaca en la provincia y región de Puno, localizada mediante las coordenadas UTM N: 8 249 031 y E: 0 391 338 (ANEXO IV). Haciendo uso de guantes de nitrilo se procedió a colectar la especie en contenedores de 20 L de capacidad para su posterior traslado al C.I. DIVA-VIDA ubicada en la ciudad de Arequipa (Figura 3 y 4).



Figura 3. Puntos de colecta de *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba*, 2021.



Figura 4. Especies colectadas *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba*, 2021.

Dentro del C.I. DIVA-VIDA, se procedió a extraer por cada especie una muestra para ser enviada al Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD) para su identificación (Figura 5), las cuales constataron a las especies *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (ANEXO V) y *Lemna gibba* L. (ANEXO VI), mediante determinación taxonómica dentro de las instalaciones del Herbario de IMOD.



Figura 5. Colecta de individuos como muestra para IMOD, 2021.

Una vez identificadas las especies, se empezó con el proceso de aclimatación de ambas especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba*, en dos pozos (con una capacidad de 40 L aproximadamente) para cada especie (Figura 6). Se utilizó como medio nutritivo la Solución de HOAGLAND, complementando la solución con micronutrientes obtenidos del fertilizante balanceado “Grow COMBI 1”, que tiene presencia de microelementos quelatados con citrato, vitaminas y aminoácidos (preparado en una relación de 1 gr x 2 L de agua destilada) (Tabla 6).



Figura 6. Aclimatación de especies macrófitas en pozas, 2021.

Tabla 6. Composición química de solución HOAGLAND

SOLUCIÓN	g/L	[stock]	ml stock/L	Para 10 L
Ca(NO ₃) ₂	236.15	1 M	2.5	25 ml
KNO ₃	101.11	1 M	2.5	25 ml
MgSO ₄	246.48	1 M	1.0	20 ml
KHP ₂ PO ₄	136.09	1 M	0.5	5 ml
Fe-EDTA	2.42	8.96mM Fe	11	110 ml
Micronutrientes			1.1	11 ml

Nota: Composición química modificada de la Solución de HOAGLAND'S. Tomado de Garland, 1992 (85)

3.5.4. Acondicionamiento del área de experimentación.

Se realizó el acondicionamiento del área, mediante la construcción del soporte que permitió la ejecución de la etapa de experimentación. Para este propósito, se emplearon materiales como planchas de OSB de 18 mm de espesor, listones, clavos y tornillos, luego del armado se obtuvo una estructura de madera de tres niveles, el primer nivel con 2.60 m (largo), 1.20 m (ancho), el segundo nivel y el tercer nivel con 2.60 m (largo) por 0.40 m (ancho). La estructura de soporte de madera se recubrió con papel film y el área de experimentación estuvo bajo malla raschell 50% sombra (Figura 7).



Figura 7. Construcción de estructura de soporte para el sistema de tratamiento, 2021.

Posteriormente, se realizó la distribución de los niveles, situando en el tercer nivel 6 baldes con capacidad de 20 L para el sistema de tratamiento microbiológico con EM (Microorganismos eficaces); en el segundo nivel se situó 6 bandejas con capacidad de 15 L de 0.46 (largo) x 0.34 (ancho) 0.9 (altura) para el tratamiento con la especie *Eichhornia crassipes* y en primer nivel fueron situados 6 bandejas con capacidad de 15 L de 0.46 (largo) x 0.34 (ancho) 0.9 (altura) para el tratamiento con la especie *Lemna gibba* (Figura 8).

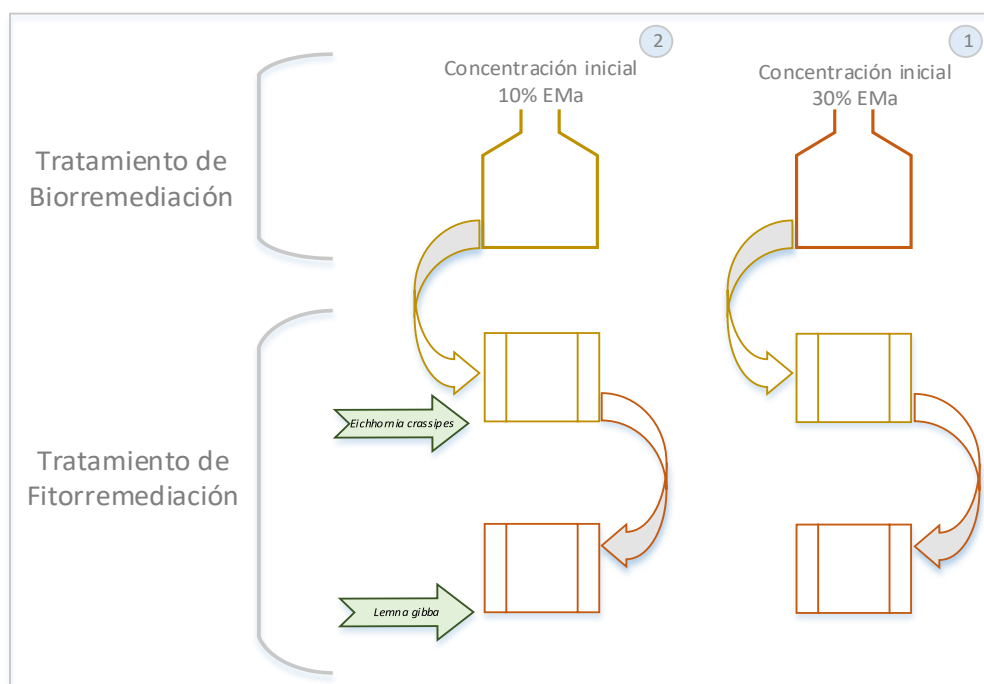


Figura 8. Distribución de los niveles para el sistema de tratamiento, 2021.

3.5.5. Adquisición y activación de los EM

Se realizó la compra de un bidón de 5 L de EM (Microorganismos Eficaces) y Melaza (3L). Posteriormente se realizaron los cálculos respectivos para la obtención de los microorganismos eficaces activados (EMa) en las concentraciones de 10% y 30%, utilizando la información consignada en la ficha técnica del producto (ANEXO VII), con la siguiente relación:

- **EM al 10%**
2 L EM + 2 L Melaza + 16 L Agua = 20 L de EMa
- **EM al 30%**
6 L EM + 6 L Melaza + 8 L Agua = 20 L de EMa

Los microorganismos preparados al 10% y 30% se almacenaron en un envase de cierre hermético debidamente rotulado, en un ambiente limpio y adecuado para su fermentación (activación) durante 07 días.

3.5.6. Tamizado y homogenización de aguas residuales a tratar.

Se realizó un tratamiento previo de tamizado de los efluentes recolectados mediante el uso de una tela para separar el exceso de materia orgánica (Figura 9). Seguidamente se homogenizó el agua residual obtenida proveniente de los diversos procesos de curtido en contenedores de mayor capacidad volumétrica (80 L y 100 L), de acuerdo con las cantidades precisadas en la Tabla 7, para su posterior uso en la etapa de experimentación.



Figura 9. Tamizado y homogenización de efluentes, 2021.

Tabla 7. Cantidad de agua residual por proceso de curtido

N°	PROCESO	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL DE CURTIEMBRE EN %	CANTIDAD EN LITROS
1.	Pre - remojo	15.6	16.85
2.	Remojo	9.4	10.15
3.	Pelambre	10.2	11.02
4.	Lavado 1 – Pre desencalado	15.6	16.85
5.	Lavado 2 – Pre desencalado	7.8	8.42
6.	Desencalado	7.8	8.42
7.	Purga y desengrase	3.9	4.21
8.	Curtido	3.9	4.21
9.	Recurtido	15.6	16.85
10.	Engrase	7.8	8.42
11.	Teñido	2.4	2.59

Nota: Elaboración propia en base a datos proporcionados por la Curtiembre Pacheco S.R.L.TDA, 2021.

3.5.7. Instalación de sistema de tratamiento.

En la estructura de soporte de tres niveles, se distribuyó el sistema de tratamiento. En la parte superior del soporte (tercer nivel) se distribuyó los 108 litros de agua residual procedentes del proceso de curtimiento en 6 baldes (unidades de observación) para el sistema de tratamiento de biorremediación con EM (Microorganismos Eficaces) por un periodo de 11 y 23 días. En el segundo nivel se distribuyó 6 bandejas conteniendo 40 unidades de la especie *Eichhornia crassipes* por bandeja para que se les realice el tratamiento de fitorremediación por un periodo de 5 y 11 días. En el primer nivel se distribuyó otras 6 bandejas conteniendo 200 g de la especie *Lemna gibba* por bandeja) para que se dé el segundo tratamiento de

fitorremediación por un periodo de 5 y 11 días, cumpliendo un tiempo de 21 y 45 días en el sistema de tratamiento (Figura 10).

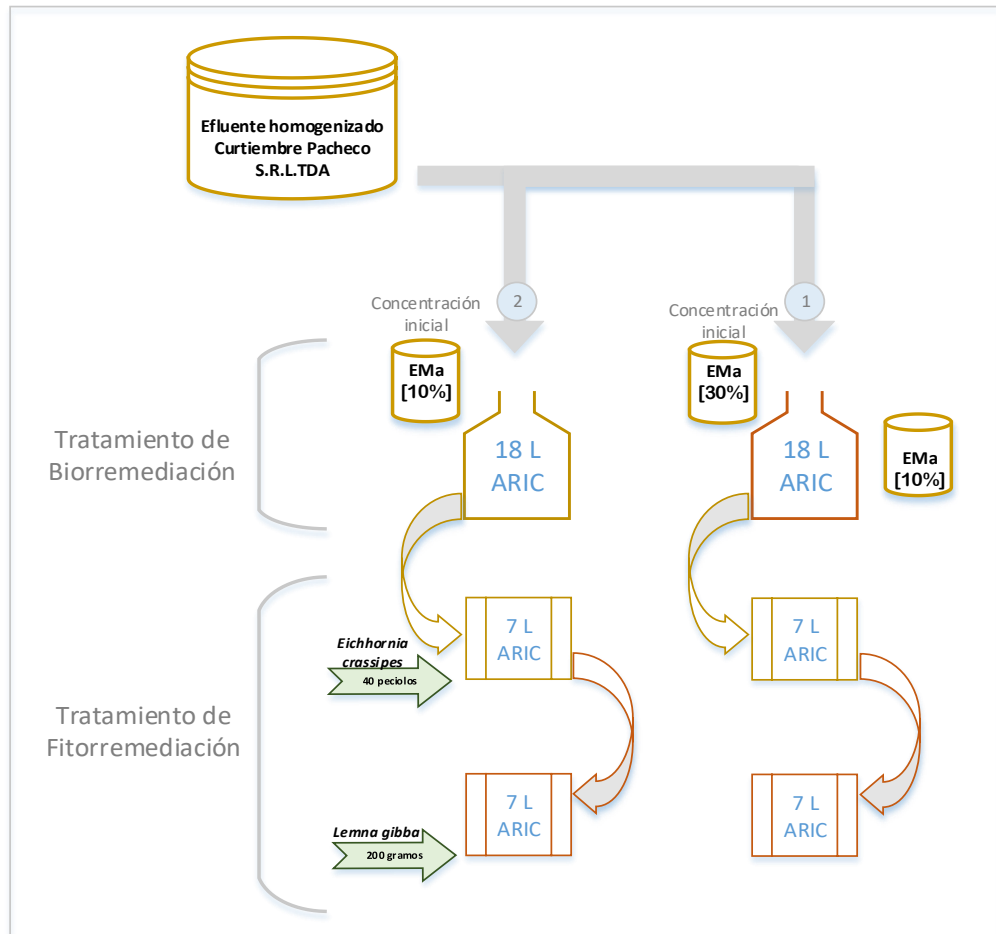


Figura 10. Esquema del Sistema de Tratamiento, 2021.

3.5.8. Ejecución del Sistema de Tratamiento.

El desarrollo para el sistema de tratamiento fue realizado en dos periodos de 21 y 45 días. El periodo de 21 días comprende 11 días de tratamiento de biorremediación en las 6 UO (ubicadas en el tercer nivel de la estructura de soporte) cada uno con un volumen determinado de 18 L de agua residual provenientes de la curtiembre, en el cual se añadió 180 mL de EMA (1% v/v) en dos concentraciones iniciales (una concentración inicial de 10% en 3 UO y una concentración de choque de 30% en 3 UO). Posteriormente, para todos los baldes se aplicó una dosis de mantenimiento de EMA al 10% a los 8 días de tratamiento. Al cumplir los 11 días de tratamiento se realizó el muestreo de las 6 UO (3 UO 10% y 3 UO 30% de EMA inicial) para determinar los parámetros Cr VI, Cr Total y DBO₅ por Laboratorios BHIOS. Las determinaciones de C.E., pH y T° se realizaron diariamente en tres turnos.

Seguidamente se vertieron 7 L de efluente tratado con EMA en los 6 baldes, en su correspondiente bandeja del segundo nivel para el tratamiento de fitorremediación

con *E. crassipes* con un tiempo de retención hidráulica de 5 días. Posteriormente se vertieron los 7 L de efluentes tratados en el nivel 2 hacia las 6 bandejas del primer nivel para el tratamiento de fitorremediación con *Lemna gibba*, con un tiempo de retención hidráulica de 5 días, completando el periodo total de los 10 días de tratamiento en fitorremediación. Durante el tiempo de tratamiento de fitorremediación, también, se midió los parámetros *in situ*; (CE, pH y T°) en los turnos de 8:00am, 12:00pm y 18:00pm durante el tiempo de tratamiento; y al término de este tiempo se realizó el muestreo de efluentes tratados en los 6 últimos humedales para determinar los parámetros Cr VI, Cr Total y DBO₅ en Laboratorios BHIOS.

El tratamiento que dura 45 días comprende 23 días de tratamiento de biorremediación en las 6 UO (ubicadas en el tercer nivel de la estructura de soporte) cada uno con un volumen de 18 L de agua residual de curtiembre, en el cual se añadió 180 mL de EMa (1% v/v) en dos concentraciones iniciales (una concentración inicial de 10% en 3 UO y una concentración de choque de 30% en 3 UO). Posteriormente, para todos los baldes se aplicó una dosis de mantenimiento de EMa al 10% cada 8 días de tratamiento. Al cumplir los 23 días de tratamiento se realizó el muestreo de las 6 UO (3 UO 10% y 3 UO 30% de EMa inicial) para determinar los parámetros Cr VI, Cr Total y DBO₅ por Laboratorios BHIOS. Las determinaciones de C.E., pH y T° se realizaron diariamente en tres turnos.

Seguidamente se vertieron 7 L de efluente tratado con EMa en los 6 baldes, en su correspondiente bandeja del segundo nivel para el tratamiento de fitorremediación con *E. crassipes* con un tiempo de retención hidráulica de 11 días. Posteriormente se vertieron los 7 L de efluentes tratados en el nivel 2, hacia las 6 bandejas del primer nivel para el tratamiento de fitorremediación con *Lemna gibba*, con un tiempo de retención hidráulica de 11 días, completando el periodo total de los 22 días de tratamiento en fitorremediación. Durante el tiempo de tratamiento de fitorremediación, también se midió los parámetros *in situ*; (CE, pH y T°) en los turnos de 8:00am, 12:00pm y 18:00pm durante el tiempo de tratamiento; y al término de este tiempo se realizó el muestreo de efluentes tratados en los 6 últimos humedales para determinar los parámetros Cr VI, Cr Total y DBO₅ en Laboratorios BHIOS.

3.5.9. Determinación de parámetros fisicoquímicos *in situ* y *ex situ*

Se utilizaron los instrumentos “Multiparámetro EZ9909” y “Multiparámetro HANNA HI98129/ HI98130”, para realizar la medición tres veces al día, en los turnos de 8 am, 12 pm y 6 pm; homogenizando previamente las muestras mediante el uso de una varilla o bagueta para posteriormente proceder a realizar la toma de datos. El equipo “Multiparámetro EZ9909” se usó para la medición de Conductividad Eléctrica (C.E.) y el equipo “Multiparámetro HANNA HI98129/ HI98130” para la medición de

temperatura y pH que se llevó a cabo en la duración del periodo de experimentación (Figura 11).

La determinación de los parámetros Cr VI, Cr Total y DBO₅ (Demanda bioquímica de oxígeno) se analizaron en Laboratorios BHIOS S.R.L. que se encuentra en la Av. Quiñones Mz. B Lote 6 Urb. Magisterial 2 Etapa – distrito de Yanahuara, Arequipa, quienes nos proporcionaron el material para la toma de muestras. Además, las muestras para laboratorio fueron tomadas en los tiempos de 0 días (Basal) (ANEXO VIII - X), 11 (ANEXO XI) y 23 (ANEXO XIII) días (Biorremediación con EM) y, 10 (ANEXO XII) y 22 (ANEXO XIV) días (Fitorremediación con especies macrófitas); siendo etiquetadas y almacenadas en contenedores isotérmicos que evitan la pérdida de temperatura, y que en su interior contaban con paquetes de hielo que permitía mantener una temperatura óptima hasta su llegada a instalaciones del Laboratorio (Figura 11).



Figura 11. Registro de parámetros *in situ* y muestreo para parámetros *ex situ*, 2021.

3.5.10. Diseño Experimental y Análisis estadístico de datos

Fue aplicado un diseño de Bloques al Azar (DCR) mediante un arreglo factorial 2x2, donde el primer factor corresponde a la Aplicación y No aplicación de concentración de Choque de EMa al 30%, y el segundo factor a los dos periodos de tratamiento total de 21 y 45 días. Cada tratamiento se repitió en tres ocasiones, generando un total de 12 unidades de observación (UO), realizando las determinaciones de 6 UO a los 11 días de biorremediación con EMa y a los 10 días de fitorremediación dentro del periodo de tratamiento total de 21 días; y las determinaciones de 6 UO a los 23 días de biorremediación con EMa y a los 22 días de fitorremediación dentro del periodo de tratamiento total de 45 días.

Los datos obtenidos de las determinaciones realizadas *in situ* y por el Laboratorio BHIOS, fueron vaciados en una Base de Datos en Excel, y luego de ser verificados cuidadosamente, se exportaron a la Base de Datos en SPSS versión 2.5 donde se llevó a cabo el procesamiento estadístico correspondiente. Los datos fueron analizados con respecto a su distribución bajo la curva Normal. Se aplicaron pruebas de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov según la naturaleza de los datos. Aquellos que demostraron distribución normal fueron sometidos a análisis paramétricos utilizando pruebas de t de Student y ANOVA. En contraste, los datos que no exhibieron una distribución normal fueron sometidos a análisis no paramétricos empleando pruebas como Kruskal-Wallis, Wilcoxon y Friedman.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de curtiembre del PIRS, Arequipa – 2021.

La Tabla 8 exhibe los valores iniciales de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales del proceso de curtido. Se aprecia que los valores basales de pH (7.29) y T° (21.95°C) se sitúan dentro de los límites admitidos por las Normativas Ambientales Nacionales pertinentes para la industria de curtido, tales como el D.S. N°003-2002-PRODUCE (LMP de Efluentes para Alcantarillado de la Actividad de Curtiembre), el D.S. N°004-2017-MINAM (ECA para Agua Categoría 3) y el D.S. N°021-2009-VIVIENDA (VMA para descargas al sistema de alcantarillado). No obstante, los valores de C.E., Cr Total, Cr VI y DBO₅ sobrepasan los límites establecidos por la regulación vigente para el Sector de Curtiembres.

Tabla 8. Comparación de los valores basales de los parámetros fisicoquímicos con respecto a los valores de la normativa ambiental vigente

Parámetros	BASAL	LMP		ECA		VMA
		En curso	Nueva	Riego de vegetales	Bebida de animales	
pH	7.29	-	6.0 – 9.0	6.5 – 8.5	6.5 – 8.4	6-9
C.E. (mS/cm)	28.52	-	-	2, 50	5,00	-
T° (°C)	21.95	35	35	Δ 3	Δ 3	< 35
Cr Total (mg/L)	48.69	-	2	0.1	1	10
Cr VI (mg/L)	39.85	-	0.4	-	-	0.5
DBO (mg/L)	4190	-	500	15	15	500

4.1.2. Efecto de la aplicación de EMa, sobre los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de curtiembre a los 11 y 23 días de tratamiento.

En la tabla 9, se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados en el tratamiento de Biorremediación con las concentraciones de EMa al 10% y EMa 30% (concentración de choque) por 11 días contrastados con los valores basales de las aguas residuales de curtiembre. Se observa que en el tratamiento de 11 días S/C el único parámetro cuyo valor aumenta significativamente es el pH (De 7.29 a 7.50); todos los demás parámetros disminuyen, aunque esta disminución no es significativa para DBO₅ (De 4190 a 3423.33 mg/L), pero si es significativa para C.E. (De 28.52 a 25.92 mS/cm), T° (De 21.95 a 19.06 °C), Cr Total (De 48.69 a 10.96 mg/L) y Cr VI (De 39.85 a 9.02 mg/L). En cuanto al tratamiento de 11 días

C/C, se observa que el único parámetro cuyo valor aumenta de manera no significativa es DBO₅ (De 4190 a 6618.33 mg/L); todos los demás parámetros disminuyen, aunque esta disminución no es significativa para Cr Total (De 48.69 a 28.53 mg/L) y CrVI (De 39.85 a 23.62 mg/L), pero si es significativa para pH (De 7.29 a 7.16), C.E. (De 28.52 a 26.43 mS/cm) y T° (De 21.95 a 19.08 °C).

Tabla 9. Comparación de los valores de parámetros fisicoquímicos del tratamiento de Biorremediación de 11 Días con y sin concentración de choque (S/C – C/C) con respecto al basal

Parámetros	BIORREMEDIACIÓN EMa 11 DÍAS							
	Basal	S/C	Valor p	Acepta	Basal	C/C	Valor p	Acepta
pH	7.29	7.50±0.33	0.00	H ₁	7.29	7.16±0.36	0.00	H ₁
C.E. (mS/cm)	28.52	25.92±2.22	0.00	H ₁	28.52	26.43±1.91	0.00	H ₁
T° (°C)	21.95	19.06±3.54	0.00	H ₁	21.95	19.08±3.43	0.00	H ₁
Cr Total (mg/L)	48.69	10.96±3.34	0.00	H ₁	48.69	28.53±8.25	0.052	H ₀
Cr VI (mg/L)	39.85	9.02±0.56	0.00	H ₁	39.85	23.62±9.43	0.097	H ₀
DBO ₅ (mg/L)	4190	3423.33±701.11	0.199	H ₀	4190	6618.33±2741.08	0.265	H ₀

La tabla 10 muestra los resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados en el tratamiento de Biorremediación con las concentraciones de EMa al 10% y EMa 30% por 23 días contrastados con los valores basales de las aguas residuales de curtiembre. Se observa que en el tratamiento de 23 días S/C los parámetros que disminuyen significativamente son C.E. (De 28.52 a 25.37mS/cm), T° (De 21.95 a 19.34 °C) y DBO₅ (De 4190 a 2550.00 mg/L). En cambio, se incrementa significativamente el valor de pH (De 7.29 a 7.82), Cr Total (De 48.69 a 60.89 mg/L) y Cr VI (De 39.85 a 51.76 mg/L). En el tratamiento de 23 días C/C, se observa una respuesta similar, los parámetros que disminuyen significativamente son C.E. (De 28.52 a 26.37 mS/cm), T° (De 21.95 a 19.16 °C) y DBO₅ (De 4190 a 3403.33 mg/L). En cambio, se incrementa significativamente los valores de pH (De 7.29 a 7.66), Cr Total (De 48.69 a 63.17 mg/L) y Cr VI (De 39.85 a 53,69 mg/L).

Tabla 10. Comparación de los valores de parámetros fisicoquímicos del tratamiento de Biorremediación de 23 Días S/C – C/C con respecto al basal

Parámetros	BIORREMEDIACIÓN EMa 23 DÍAS							
	Basal	S/C	Valor p	Acepta	Basal	C/C	Valor p	Acepta
pH	7.29	7.82±0.45	0.00	H ₁	7.29	7.66±0.60	0.00	H ₁
C.E. (mS/cm)	28.52	25.37±2.55	0.00	H ₁	28.52	26.37±2.15	0.00	H ₁
T° (°C)	21.95	19.34±3.58	0.00	H ₁	21.95	19.16±3.45	0.00	H ₁
Cr Total (mg/L)	48.69	60.89±1.17	0.003	H ₁	48.69	63.17±5.56	0.046	H ₁
Cr VI (mg/L)	39.85	51.76±0.99	0.002	H ₁	39.85	53.69±4.73	0.037	H ₁
DBO ₅ (mg/L)	4190	2550.00±90.00	0.001	H ₁	4190	3403.33±147.51	0.012	H ₁

La Tabla 11 presenta los resultados derivados de la comparación entre los parámetros fisicoquímicos evaluados en el tratamiento de Biorremediación por 11 y 23 días tratadas con EMa S/C y C/C. Se observa que el menor valor de pH (7.16) se logró con el tratamiento de EMa 11 días C/C y el mayor valor (7.82) con el tratamiento de EMa 23 días S/C, y valores intermedios con el tratamiento de EMa 11 días S/C y EMa 23 días C/C, si bien las diferencias entre los tratamientos no son estadísticamente significativas. Así mismo, no se observa diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento de 11 y 23 días S/C y C/C para el parámetro de T° en el que el menor valor se registró en 11 días S/C y el mayor en 23 días S/C. Los parámetros restantes si muestran diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Para C.E. el menor valor (25.37 mS/cm) se obtuvo con el tratamiento de 23 días S/C y el mayor valor (26.43 mS/cm) con el tratamiento de 11 días S/C. En Cr Total el menor valor (10.96 mg/L) se obtuvo en el tratamiento de 11 días S/C, y el mayor valor (63.17 mg/L) a los 23 días C/C. En Cr VI se registró el menor valor (9.02 mg/L) con el tratamiento de 11 días S/C, y el mayor valor (53.69 mg/L) se registró a los 23 días C/C. Finalmente, DBO₅ presentó el menor valor (2550 mg/L) a los 23 días S/C, y el mayor valor (6618.33 mg/L) con el tratamiento de 11 días C/C.

Tabla 11. Comparación de los valores de parámetros fisicoquímicos del tratamiento de Biorremediación de 11 Días y 23 Días S/C y C/C

Parámetros	Biorremediación EMa 11 Días		Biorremediación EMa 23 Días		Valor p	Acepta
	S/C	C/C	S/C	C/C		
pH	7.50±0.33	7.16±0.36	7.82±0.45	7.66±0.60	0.000	H ₁
CE (mS/cm)	25.92±2.22	26.43±1.91	25.37±2.55	26.37±2.15	0.000	H ₁
T°(°C)	19.06±3.54	19.08±3.43	19.34±3.58	19.16±3.45	0.682	H ₀
Cr Total (mg/L)	10.96±3.34	28.53±8.25	60.89±1.17	63.17±5.56	0.000	H ₁
Cr VI (mg/L)	9.02±0.56	23.62±9.43	51.76±0.99	53.69±4.73	0.000	H ₁
DBO ₅ (mg/L)	3423.33±701.11	6618.33±2741.08	2550.00±90.00	3403.33±147.51	0.034	H ₁

4.1.3. Efecto del tratamiento por 10 y 22 días en humedales artificiales con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* sobre los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de curtiembre en estudio.

En la tabla 12, se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados en el tratamiento de Fitorremediación con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* por 10 días contrastados con los valores basales de las aguas residuales después de ser tratadas con EMa S/C y C/C por 11 días. Se observa que en el tratamiento de 10 días S/C los parámetros que disminuyen significativamente son C.E. (De 25.92 a 23.93mS/cm), T° (De 19.06 a 17.33°C). El parámetro de DBO₅ disminuye de manera no significativa (De 3423.33 a 3243.33 mg/L). En cambio, se incrementa significativamente los valores de pH (De 7.50 a 8.52), Cr Total (10.96 a 62.94 mg/L) y Cr VI (De 9.02 a 50.53 mg/L). En el tratamiento de 10 días C/C, se observa una respuesta similar, los parámetros que disminuyen significativamente son C.E. (De 26.43 a 24.76 mS/cm), T° (De 19.08 a 17.14°C) y DBO₅ (De 6618.33 a 3584.67 mg/L). En cambio, se incrementa significativamente los valores de pH (De 7.16 a 8.64), Cr Total (28.53 a 58.11 mg/L) y Cr VI (De 23.62 a 46.47 mg/L).

Tabla 12. Comparación de los valores de parámetros fisicoquímicos del tratamiento de Fitorremediación de 10 días S/C y C/C con respecto a los valores basales obtenidos con el tratamiento de EMa

Parámetros	FITORREMEDIACIÓN 10 DÍAS							
	Basal	S/C	Valor p	Acepta	Basal	C/C	Valor p	Acepta
pH	7.50	8.52±0.30	0.00	H ₁	7.16	8.64±1.44	0.00	H ₁

C.E. (mS/cm)	25.92	23.93±3.69	0.00	H _i	26.43	24.76±3.95	0.00	H _i
T° (°C)	19.06	17.33±4.37	0.00	H _i	19.08	17.14±4.54	0.00	H _i
Cr Total (mg/L)	10.96	62.94±7.63	0.007	H _i	28.53	58.11±5.01	0.009	H _i
Cr VI (mg/L)	9.02	50.53±6.33	0.008	H _i	23.62	46.47±4.02	0.010	H _i
DBO ₅ (mg/L)	3423.33	3243.33±729.42	0.711	H ₀	6618.33	3584.67±230.04	0.002	H _i

En la tabla 13, se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados en el tratamiento de Fitorremediación con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* por 22 días contrastados con los valores basales de las aguas residuales después de ser tratadas con EMA S/C y C/C por 23 días. Se observa que en el tratamiento de 22 días S/C el único parámetro cuyo valor aumenta significativamente es el pH (De 7.82 a 8.53) todos los demás parámetros disminuyen, aunque esta disminución no es significativa para Cr VI (De 51.76 a 36.55 mg/L), pero si es significativa para C.E. (De 25.37 a 17.79 mS/cm), T° (De 19.34 a 17.30 °C), Cr Total (De 60.89 a 46.48 mg/L), DBO₅ (De 2550.00 a 704.67 mg/L). En cuanto al tratamiento C/C, se observa una respuesta similar a S/C, con la diferencia de que todas las variaciones en los parámetros son estadísticamente significativas. Así, solo el pH incrementa (7.66 a 8.55), mientras que los parámetros restantes disminuyen C.E. (De 26.37 a 17.42 mS/cm), T° (De 19.16 a 17.11 °C), Cr Total (De 63.17 a 47.46 mg/L), Cr VI (De 53.69 a 26.37 mg/L), DBO₅ (De 3403.33 a 704.67 mg/L).

Tabla 13. Comparación de los valores de parámetros fisicoquímicos del tratamiento de Fitorremediación de 22 Días S/C y C/C con respecto a los valores basales obtenidos con el tratamiento de EMA

Parámetros	FITORREMEDIACIÓN 22 DÍAS							
	Basal	S/C	Valor p	Acepta	Basal	C/C	Valor p	Acepta
pH	7.82	8.53±0.36	0.00	H _i	7.66	8.55±0.38	0.00	H _i
C.E. (mS/cm)	25.37	17.79±5.61	0.00	H _i	26.37	17.42±5.32	0.00	H _i
T° (°C)	19.34	17.30±5.64	0.00	H _i	19.16	17.11±5.80	0.00	H _i

Cr Total (mg/L)	60.89	46.48±2.14	0.007	H ₁	63.17	47.46±5.42	0.038	H ₁
Cr VI (mg/L)	51.76	36.55±12.56	0.171	H ₀	53.69	26.37±3.11	0.004	H ₁
DBO ₅ (mg/L)	2550.00	704.67±115.68	0.001	H ₁	3403.33	704.67±261.55	0.003	H ₁

En la tabla 14, se muestran los resultados de la comparación entre los parámetros fisicoquímicos evaluados en el tratamiento de Fitorremediación con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* por 10 y 22 días previamente tratadas con EMA S/C y C/C. Se observa que el menor valor de pH (8.52) se obtuvo con el tratamiento de Fito 10 días S/C y el mayor valor (8.64) con el tratamiento de 10 días C/C, y valores intermedios con el tratamiento de 22 días S/C y C/C, aunque las diferencias entre los tratamientos no son estadísticamente significativas. Asimismo, no se observa diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento de 10 y 22 días S/C y C/C para el parámetro de T° en el que el menor valor se registró en 22 días C/C y el mayor valor en 10 días S/C. Los parámetros restantes sí muestran diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Para C.E. el menor valor (17.42 mS/cm) se obtuvo con el tratamiento de 22 días C/C y el mayor valor (24.76 mS/cm) con el tratamiento de 10 días C/C. En Cr Total el menor valor (46.48 mg/L) se obtuvo en 22 días S/C, y el mayor valor (62.94 mg/L) a los 10 días S/C. Cr VI registró el menor valor (26.37 mg/L) a los 22 días C/C, y el mayor valor (50.53 mg/L) se registró a los 10 días S/C. Finalmente, DBO₅ presentó el menor valor (704.67 mg/L) a los 22 días tanto S/C como C/C, y el mayor valor (3584.67 mg/L) a los 10 días C/C.

Tabla 14. Comparación de los valores de parámetros fisicoquímicos del tratamiento de Fitorremediación de 10 días y 22 días S/C y C/C

Parámetros	Fitorremediación 10 Días		Fitorremediación 22 Días		Valor p	Acepta
	S/C	C/C	S/C	C/C		
pH	8.52±0.30	8.64±1.44	8.53±0.36	8.55±0.38	0.420	H ₀
CE (mS/cm)	23.93±3.69	24.76±3.95	17.79±5.61	17.42±5.32	0.000	H ₁
T°(°C)	17.33±4.37	17.14±4.54	17.30±5.64	17.11±5.80	0.942	H ₀
Cr Total (mg/L)	62.94±7.63	58.11±5.01	46.48±2.14	47.46±5.42	0.014	H ₁
Cr VI (mg/L)	50.53±6.33	46.47±4.02	36.55±12.56	26.37±3.11	0.017	H ₁
DBO ₅ (mg/L)	3243.33±729.42	3584.67±230.04	704.67±115.68	704.67±261.55	0.000	H ₁

4.2. Prueba de hipótesis

1. Hipótesis para probar

La aplicación de EMa disminuye los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales de curtiembre, en donde existen diferencias entre el tratamiento con y sin la aplicación de la concentración de choque de EMa al 30% y entre los diferentes tiempos de tratamiento.

2. Evaluación de la Normalidad

Tabla de Normalidad

Pruebas de normalidad							
EMA		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
pH	11 días S/C	,079	99	,128	,985	99	,309
	11 días C/C	,124	99	,001	,965	99	,010
	23 días S/C	,068	207	,021	,977	207	,002
	23 días C/C	,081	207	,002	,972	207	,000
CE	11 días S/C	,196	99	,000	,859	99	,000
	11 días C/C	,194	99	,000	,854	99	,000
	23 días S/C	,170	207	,000	,896	207	,000
	23 días C/C	,194	207	,000	,881	207	,000
Temperatura	11 días S/C	,169	99	,000	,910	99	,000
	11 días C/C	,126	99	,001	,941	99	,000
	23 días S/C	,144	207	,000	,910	207	,000
	23 días C/C	,125	207	,000	,937	207	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Pruebas de normalidad							
EMaQ		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CrTotal	11 días S/C	,370	3	.	,787	3	,083
	11 días C/C	,291	3	.	,925	3	,470
	23 días S/C	,223	3	.	,985	3	,764
	23 días C/C	,181	3	.	,999	3	,941
CrVI	11 días S/C	,373	3	.	,780	3	,068
	11 días C/C	,361	3	.	,807	3	,132
	23 días S/C	,224	3	.	,984	3	,761
	23 días C/C	,181	3	.	,999	3	,939
DBO5	11 días S/C	,227	3	.	,983	3	,748
	11 días C/C	,332	3	.	,864	3	,278

23 días S/C	,175	3	.	1,000	3	1,000
23 días C/C	,176	3	.	1,000	3	,981

a. Corrección de significación de Lilliefors

H₀: Los datos presentan distribución normal ($p > 0.05$)

H₁: Los datos no presentan distribución normal ($p < 0.05$)

Conclusión: De acuerdo con el análisis realizado mediante la prueba de Kolmogorov Smirnov, los datos concernientes a los parámetros físicos no exhiben una distribución normal, excepto el pH 11 días S/C. Por otro lado, según la prueba Shapiro Wilk, los datos de los parámetros químicos presentan distribución normal.

3. Evaluación de la igualdad de varianzas (ANOVA)

No aplica para parámetros físicos.

Si aplica para parámetros químicos.

4. Tipo de prueba a aplicar

- Para comparación de Parámetros físicos con el Valor Basal, se aplica el test Wilcoxon para una muestra.
- Para la comparación de Parámetros químicos con el Valor Basal, se aplica el test de T de Student para una muestra.
- Para la comparación de los Parámetros físicos de 11 días Vs. 23 días con y sin concentración de choque (S/C – C/C), se aplica la prueba de Kruskal-Wallis.
- Para la comparación de Parámetros químicos de 11 días Vs. 23 días con y sin concentración de choque (S/C – C/C), se aplica el test de ANOVA de un factor.

5. Procedimiento

➤ **Comparación de pH de 11 y 23 días con y sin concentración de choque (S/C – C/C) con respecto al basal**

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

$$\mathbf{H_0: Me_{pH11 \text{ DÍAS S/C}} = Me_{pHBASAL}}$$

$$\mathbf{H_1: Me_{pH11 \text{ DÍAS S/C}} \neq Me_{pHBASAL}}$$

$$\mathbf{H_0: Me_{pH11 \text{ DÍAS C/C}} = Me_{pHBASAL}}$$

$$\mathbf{H_1: Me_{pH11 \text{ DÍAS C/C}} \neq Me_{pHBASAL}}$$

$$\mathbf{H_0: Me_{pH23 \text{ DÍAS S/C}} = Me_{pHBASAL}}$$

$$\mathbf{H_1: Me_{pH23 \text{ DÍAS S/C}} \neq Me_{pHBASAL}}$$

$H_0: Me_{pH23 \text{ DÍAS C/C}} = Me_{pHBASAL}$

$H_1: Me_{pH23 \text{ DÍAS C/C}} \neq Me_{pHBASAL}$

Donde:

H_0 : Hipótesis nula

H_1 : Hipótesis alternativa

Me : Mediana

S/C : Tratamiento sin concentración de choque (Ema 10%)

C/C : Tratamiento con concentración de choque (Ema 30%)

$pH11DÍAS$: Valores de potencial de Hidrógeno a los 11 días de tratamiento

$pH23DÍAS$: Valores de potencial de Hidrógeno a los 23 días de tratamiento

$pHBASAL$: Valor de potencial de Hidrógeno basal del agua residual antes del tratamiento

5.2. Nivel de significancia

$\alpha = 0.05$

5.3. Cálculo del estadístico de prueba

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de $pH11DíasSC$ es igual a 7,29.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000	Rechazar la hipótesis nula.
2	La mediana de $pH11DíasCC$ es igual a 7,29.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,002	Rechazar la hipótesis nula.
3	La mediana de $pH23DíasSC$ es igual a 7,29.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000	Rechazar la hipótesis nula.
4	La mediana de $pH23DíasCC$ es igual a 7,29.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

5.4. Regla de decisión

H_0 : Los valores entre grupos son iguales $p > 0.05$

H_1 : Los valores entre grupos no son iguales $p < 0.05$

5.5. Decisión sobre la H_0

Se rechaza la Hipótesis nula H_0 y se acepta la Hipótesis alternativa H_1 .

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor pH con el tratamiento de EMa S/C y C/C a los 11 y 23 días difiere del valor basal.

➤ Comparación de pH de 11 días con respecto al pH a los 23 días S/C y C/C

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

$$H_0: Me_{pH11DÍAS C/C} = Me_{pH11DÍAS S/C} = Me_{pH23DÍAS C/C} = Me_{pH23DÍAS S/C}$$

$$H_1: Me_{pH11DÍAS C/C} \neq Me_{pH11DÍAS S/C} \neq Me_{pH23DÍAS C/C} \neq Me_{pH23DÍAS S/C}$$

5.2. Nivel de significancia

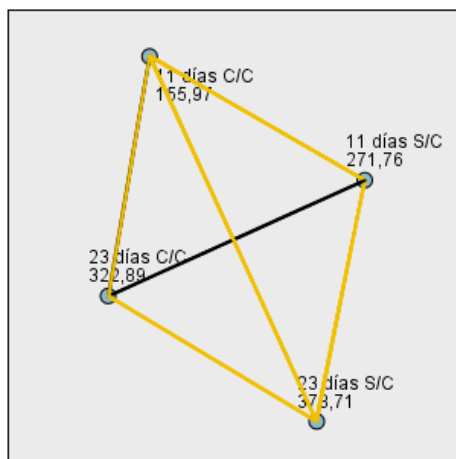
$$\alpha = 0.05$$

5.3. Cálculo del estadístico de prueba

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La distribución de pH es la misma entre las categorías de EMa.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

Comparaciones entre parejas de EMa



Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de EMa.

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error Error	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
11 días C/C-11 días S/C	115,783	25,130	4,607	,000	,000
11 días C/C-23 días C/C	-166,917	21,605	-7,726	,000	,000
11 días C/C-23 días S/C	-222,740	21,605	-10,310	,000	,000
11 días S/C-23 días C/C	-51,134	21,605	-2,367	,018	,108
11 días S/C-23 días S/C	-106,957	21,605	-4,951	,000	,000
23 días C/C-23 días S/C	55,824	17,379	3,212	,001	,008

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es ,05. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección de Bonferroni para varias pruebas.

5.4. Regla de decisión

H_0 : Los valores entre grupos son iguales $p > 0.05$

H_1 : Los valores entre grupos no son iguales $p < 0.05$

5.5. Decisión sobre la H_0

Se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alternativa H_1 .

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor de pH con el tratamiento de EMa S/C y C/C a los 11 y 23 días difieren entre sí.

- **Comparación de C.E. de 11 y 23 días con y sin concentración de choque (S/C – C/) con respecto al basal**

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

$$H_0: Me_{CE11DÍAS\ S/C} = Me_{CEBASAL}$$

$$H_1: Me_{CE11DÍAS\ S/C} \neq Me_{CEBASAL}$$

$$H_0: Me_{CE11DÍAS\ C/C} = Me_{CEBASAL}$$

$$H_1: Me_{CE11DÍAS\ C/C} \neq Me_{CEBASAL}$$

$$H_0: Me_{CE23DÍAS\ S/C} = Me_{CEBASAL}$$

$$H_1: Me_{CE23DÍAS\ S/C} \neq Me_{CEBASAL}$$

$$H_0: Me_{CE23DÍAS\ C/C} = Me_{CEBASAL}$$

$$H_1: Me_{CE23DÍAS\ C/C} \neq Me_{CEBASAL}$$

Donde:

H₀: Hipótesis nula

H₁: Hipótesis alternativa

Me: Mediana

S/C: Tratamiento sin concentración de choque (Ema 10%)

C/C: Tratamiento con concentración de choque (Ema 30%)

CE11DÍAS: Valores de Conductividad Eléctrica a los 11 días de tratamiento

CE23DÍAS: Valores de Conductividad Eléctrica a los 23 días de tratamiento

CEBASAL: Valor de Conductividad Eléctrica basal del agua residual antes del tratamiento

5.2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

5.3. Cálculo del estadístico de prueba

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La mediana de 1 CE11DíasSC es igual a 28,52.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000	Rechazar la hipótesis nula.

2	La mediana de CE11DíasCC es igual a 28,52.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000	Rechazar la hipótesis nula.
3	La mediana de CE23DíasSC es igual a 28,52.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000	Rechazar la hipótesis nula.
4	La mediana de CE23DíasCC es igual a 28,52.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

5.4. Regla de decisión

H_0 : Los valores entre grupos son iguales $p > 0.05$

H_1 : Los valores entre grupos no son iguales $p < 0.05$

5.5. Decisión sobre la H_0

Se rechazan la Hipótesis nula H_0 y se acepta la Hipótesis alternativa H_1 .

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor C.E. con el tratamiento de EMa S/C y C/C a los 11 y 23 días difieren del valor basal.

➤ Comparación de C.E. de 11 días con respecto al C.E. a los 23 días S/C y C/C

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

H_0 : $Me_{CE11DÍAS C/C} = Me_{CE11DÍAS S/C} = Me_{CE23DÍAS C/C} = Me_{CE23DÍAS S/C}$

H_1 : $Me_{CE11DÍAS C/C} \neq Me_{CE11DÍAS S/C} \neq Me_{CE23DÍAS C/C} \neq Me_{CE23DÍAS S/C}$

5.2. Nivel de significancia

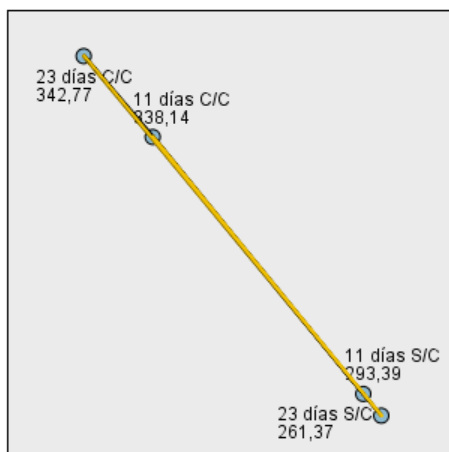
$\alpha = 0.05$

5.3. Cálculo del estadístico de prueba

Resumen de prueba de hipótesis			
	Hipótesis nula	Prueba	Sig. Decisión
1	La distribución de CE es la misma entre las categorías de EMa.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000 Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

Comparaciones entre parejas de EMa



Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de EMa.

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error Error	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
23 días S/C-11 días S/C	32,014	21,599	1,482	,138	,830
23 días S/C-11 días C/C	76,762	21,599	3,554	,000	,002
23 días S/C-23 días C/C	-81,391	17,375	-4,685	,000	,000
11 días S/C-11 días C/C	-44,747	25,124	-1,781	,075	,449
11 días S/C-23 días C/C	-49,377	21,599	-2,286	,022	,134
11 días C/C-23 días C/C	-4,629	21,599	-,214	,830	1,000

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es ,05. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección de Bonferroni para varias pruebas.

5.4. Regla de decisión

H_0 : Los valores entre grupos son iguales $p > 0,05$

H_1 : Los valores entre grupos no son iguales $p < 0,05$

5.5. Decisión sobre la H_0

Se rechaza la Hipótesis nula para la mayoría de las comparaciones, excepto 23 días S/C Vs. 11 días S/C, 11 días C/C y 23 días C/C.

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor C.E. de las aguas residuales tratadas con EMa S/C y C/C difiere significativamente entre el tratamiento de 23 días S/C con los tratamientos de 11 días S/C, 11 días C/C y 23 días C/C. No existe diferencia significativa entre el valor C.E. de los tratamientos restantes.

➤ **Comparación de Temperatura de 11 y 23 días con y sin concentración de choque (S/C – C/C) con respecto al basal**

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

$$H_0: Me_{T^{\circ}11DÍAS\ S/C} = Me_{T^{\circ}BASAL}$$

$$H_1: Me_{T^{\circ}11DÍAS\ S/C} \neq Me_{T^{\circ}BASAL}$$

$$H_0: Me_{T^{\circ}11DÍAS\ C/C} = Me_{T^{\circ}BASAL}$$

$$H_1: Me_{T^{\circ}11DÍAS\ C/C} \neq Me_{T^{\circ}BASAL}$$

$$H_0: Me_{T^{\circ}23DÍAS\ S/C} = Me_{T^{\circ}BASAL}$$

$$H_1: Me_{T^{\circ}23DÍAS\ S/C} \neq Me_{T^{\circ}BASAL}$$

$$H_0: Me_{T^{\circ}23DÍAS\ C/C} = Me_{T^{\circ}BASAL}$$

$$H_1: Me_{T^{\circ}23DÍAS\ C/C} \neq Me_{T^{\circ}BASAL}$$

Donde:

H₀: Hipótesis nula

H₁: Hipótesis alternativa

Me: Mediana

S/C: Tratamiento sin concentración de choque (Ema 10%)

C/C: Tratamiento con concentración de choque (Ema 30%)

T°11DÍAS: Valores de Temperatura a los 11 días de tratamiento

T°23DÍAS: Valores de Temperatura a los 23 días de tratamiento

T°BASAL: Valor de Temperatura basal del agua residual antes del tratamiento

5.2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

5.3. Cálculo del estadístico de prueba

Resumen de prueba de hipótesis			
	Hipótesis nula	Prueba	Sig. Decisión
1	La mediana de T°11DíasSC es igual a 21,95.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000 Rechazar la hipótesis nula.
2	La mediana de T°11DíasCC es igual a 21,95.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000 Rechazar la hipótesis nula.
3	La mediana de T°23DíasSC es igual a 21,95.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000 Rechazar la hipótesis nula.

4 La mediana de T°23DíasCC es Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra ,000 Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

5.4. Regla de decisión

H₀: Los valores entre grupos son iguales p>0.05

H₁: Los valores entre grupos no son iguales p<0.05

5.5. Decisión sobre la H₀

Se rechazan la Hipótesis nula H₀ y se acepta la Hipótesis alternativa H₁.

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor T° con el tratamiento de EMa S/C y C/C a los 11 y 23 días difieren del valor basal.

➤ Comparación de T° de 11 días con respecto a T° a los 23 días S/C y C/C

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

H₀: Me_{T°11DÍAS C/C} = Me_{T°11DÍAS S/C} = Me_{T°23DÍAS C/C} = Me_{T°23DÍAS S/C}

H₁: Me_{T°11DÍAS C/C} ≠ Me_{T°11DÍAS S/C} ≠ Me_{T°23DÍAS C/C} ≠ Me_{T°23DÍAS S/C}

5.2. Nivel de significancia

α = 0.05

5.3. Cálculo del estadístico de prueba

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La distribución de Temperatura es la misma entre las categorías de EMa.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,682	Retener la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.			

5.4. Regla de decisión

H₀: Los valores entre grupos son iguales p>0.05

H₁: Los valores entre grupos no son iguales p<0.05

5.5. Decisión sobre la H₀

Se acepta la Hipótesis nula H₀, se rechaza la Hipótesis alternativa H₁.

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor T° con el tratamiento de EMa S/C y C/C a los 11 y 23 días difieren entre sí.

➤ **Comparación de Cr Total de 11 y 23 días con y sin concentración de choque (S/C – C/C) con respecto al basal**

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

$$H_0: \mu_{CrT11DÍAS\ S/C} = \mu_{CrTBASAL}$$

$$H_1: \mu_{CrT11DÍAS\ S/C} \neq \mu_{CrTBASAL}$$

$$H_0: \mu_{CrT11DÍAS\ C/C} = \mu_{CrTBASAL}$$

$$H_1: \mu_{CrT11DÍAS\ C/C} \neq \mu_{CrTBASAL}$$

$$H_0: \mu_{CrT23DÍAS\ S/C} = \mu_{CrTBASAL}$$

$$H_1: \mu_{CrT23DÍAS\ S/C} \neq \mu_{CrTBASAL}$$

$$H_0: \mu_{CrT23DÍAS\ C/C} = \mu_{CrTBASAL}$$

$$H_1: \mu_{CrT23DÍAS\ C/C} \neq \mu_{CrTBASAL}$$

Donde:

H_0 : Hipótesis nula

H_1 : Hipótesis alternativa

μ : Media

S/C: Tratamiento sin concentración de choque (Ema 10%)

C/C: Tratamiento con concentración de choque (Ema 30%)

CrT11DÍAS: Valores de Cromo Total a los 11 días de tratamiento

CrT23DÍAS: Valores de Cromo Total a los 23 días de tratamiento

CrTBASAL: Valor de Cromo Total basal del agua residual antes del tratamiento

5.2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

5.3. Cálculo del estadístico de prueba

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 48.69

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
CrT11DíasSC	-190,071	2	,000	-37,73333	-38,5875	-36,8792
CrT11DíasCC	-4,232	2	,052	-20,16000	-40,6558	,3358
CrT23DíasSC	18,082	2	,003	12,20333	9,2995	15,1072
CrT23DíasCC	4,509	2	,046	14,48000	,6615	28,2985

5.4. Regla de decisión

H_0 : Los valores entre grupos son iguales $p > 0.05$

H_1 : Los valores entre grupos no son iguales $p < 0.05$

5.5. Decisión sobre la H_0

Se acepta la Hipótesis nula H_0 para la comparación CrT11DíasCC Vs valor Basal y se acepta la Hipótesis Alternativa H_1 para la comparación de los tratamientos restantes Vs el valor Basal.

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor Cr Total difiere significativamente del valor Basal en el tratamiento de EMa C/C a los 11 días. Sin embargo, se puede sustentar que el valor de Cr Total no difiere del valor Basal en el tratamiento de EMa S/C a los 11 días y de EMa S/C y C/C a los 23 días.

➤ Comparación de Cr Total de 11 días con respecto a Cr Total a los 23 Día S/C y C/C

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

H_0 : $\mu_{CrT11DÍAS C/C} = \mu_{CrT11DÍAS S/C} = \mu_{CrT23DÍAS C/C} = \mu_{CrT23DÍAS S/C}$

H_1 : $\mu_{CrT11DÍAS C/C} \neq \mu_{CrT11DÍAS S/C} \neq \mu_{CrT23DÍAS C/C} \neq \mu_{CrT23DÍAS S/C}$

5.2. Nivel de significancia

$\alpha = 0.05$

5.3. Cálculo del estadístico de prueba

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: CrTotal

HSD Tukey

(I) EMaQ	(J) EMaQ	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
11 días S/C	11 días C/C	-17,57333*	4,09271	,011	-30,6796	-4,4670
	23 días S/C	-49,93667*	4,09271	,000	-63,0430	-36,8304
	23 días C/C	-52,21333*	4,09271	,000	-65,3196	-39,1070
11 días C/C	11 días S/C	17,57333*	4,09271	,011	4,4670	30,6796
	23 días S/C	-32,36333*	4,09271	,000	-45,4696	-19,2570
	23 días C/C	-34,64000*	4,09271	,000	-47,7463	-21,5337
23 días S/C	11 días S/C	49,93667*	4,09271	,000	36,8304	63,0430
	11 días C/C	32,36333*	4,09271	,000	19,2570	45,4696
	23 días C/C	-2,27667	4,09271	,942	-15,3830	10,8296
23 días C/C	11 días S/C	52,21333*	4,09271	,000	39,1070	65,3196
	11 días C/C	34,64000*	4,09271	,000	21,5337	47,7463
	23 días S/C	2,27667	4,09271	,942	-10,8296	15,3830

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

5.4. Regla de decisión

H_0 : Los valores entre grupos son iguales $p > 0.05$

H_1 : Los valores entre grupos no son iguales $p < 0.05$

5.5. Decisión sobre la H_0

Se rechaza la Hipótesis nula H_0 para la mayoría de las comparaciones, excepto para la comparación CrT23Días S/C Vs CrT23Días C/C.

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor de CrT de las aguas tratadas con EMa S/C y C/C difiere significativamente entre el tratamiento CrT23Días S/C Vs CrT23Días C/C. No existe diferencia significativa entre el valor CrT de los tratamientos restantes.

➤ Comparación de Cr VI de 11 y 23 días con y sin concentración de choque (S/C – C/C) con respecto al basal

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

H_0 : $\mu_{CrVII 11DÍAS S/C} = \mu_{CrVIBASAL}$

H_1 : $\mu_{CrVII 11DÍAS S/C} \neq \mu_{CrVIBASAL}$

H_0 : $\mu_{CrVII 11DÍAS C/C} = \mu_{CrVIBASAL}$

$$H_1: \mu_{CrVI11DÍAS C/C} \neq \mu_{CrVIBASAL}$$

$$H_0: \mu_{CrVI23DÍAS S/C} = \mu_{CrVIBASAL}$$

$$H_1: \mu_{CrVI23DÍAS S/C} \neq \mu_{CrVIBASAL}$$

$$H_0: \mu_{CrVI23DÍAS C/C} = \mu_{CrVIBASAL}$$

$$H_1: \mu_{CrVI23DÍAS C/C} \neq \mu_{CrVIBASAL}$$

Donde:

H₀: Hipótesis nula

H₁: Hipótesis alternativa

μ: Media

S/C: Tratamiento sin concentración de choque (Ema 10%)

C/C: Tratamiento con concentración de choque (Ema 30%)

CrVI11DÍAS: Valores de Cromo VI a los 11 días de tratamiento

CrVI23DÍAS: Valores de Cromo VI a los 23 días de tratamiento

CrVIBASAL: Valor de Cromo VI basal del agua residual antes del tratamiento

5.2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

5.3. Cálculo del estadístico de prueba

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 39.85

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
CrVI11DíasSC	-95,300	2	,000	-30,83333	-32,2254	-29,4413
CrVI11DíasCC	-2,981	2	,097	-16,23333	-39,6668	7,2001
CrVI23DíasSC	20,773	2	,002	11,90667	9,4404	14,3729
CrVI23DíasCC	5,067	2	,037	13,84333	2,0874	25,5992

5.4. Regla de decisión

H₀: Los valores entre grupos son iguales p>0.05

H₁: Los valores entre grupos no son iguales p<0.05

5.5. Decisión sobre la H₀

Se acepta la Hipótesis nula H_0 para la comparación CrVII1DíasCC Vs valor Basal y se acepta la Hipótesis Alternativa H_1 para la comparación de los tratamientos restantes Vs el valor Basal.

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor Cr VI no difiere significativamente del valor Basal en el tratamiento de EMa C/C a los 11 días. Sin embargo, se puede sustentar que el valor de Cr VI si difiere del valor Basal en el tratamiento de EMa S/C a los 11 días y de EMa S/C y C/C a los 23 días.

➤ Comparación de Cr VI de 11 días con respecto a Cr VI a los 23 días S/C y C/C

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

$$H_0: \mu_{CrVII1DÍAS C/C} = \mu_{CrVII1DÍAS S/C} = \mu_{CrVI23DÍAS C/C} = \mu_{CrVI23DÍAS S/C}$$

$$H_1: \mu_{CrVII1DÍAS C/C} \neq \mu_{CrVII1DÍAS S/C} \neq \mu_{CrVI23DÍAS C/C} \neq \mu_{CrVI23DÍAS S/C}$$

5.2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

5.3. Cálculo del estadístico de prueba

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: CrVI

HSD Tukey

(I) EMaQ	(J) EMaQ	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
11 días S/C	11 días C/C	-14,60000*	4,33361	,040	-28,4777	-,7223
	23 días S/C	-42,74000*	4,33361	,000	-56,6177	-28,8623
	23 días C/C	-44,67667*	4,33361	,000	-58,5544	-30,7989
11 días C/C	11 días S/C	14,60000*	4,33361	,040	,7223	28,4777
	23 días S/C	-28,14000*	4,33361	,001	-42,0177	-14,2623
	23 días C/C	-30,07667*	4,33361	,001	-43,9544	-16,1989
23 días S/C	11 días S/C	42,74000*	4,33361	,000	28,8623	56,6177
	11 días C/C	28,14000*	4,33361	,001	14,2623	42,0177
	23 días C/C	-1,93667	4,33361	,968	-15,8144	11,9411
23 días C/C	11 días S/C	44,67667*	4,33361	,000	30,7989	58,5544
	11 días C/C	30,07667*	4,33361	,001	16,1989	43,9544
	23 días S/C	1,93667	4,33361	,968	-11,9411	15,8144

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

5.4. Regla de decisión

H_0 : Los valores entre grupos son iguales $p > 0.05$

H_1 : Los valores entre grupos no son iguales $p < 0.05$

5.5. Decisión sobre la H_0

Se rechaza la Hipótesis nula H_0 para la mayoría de las comparaciones, excepto para la comparación CrVI23Días S/C Vs CrVI23Días C/C.

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor de CrVI de las aguas tratadas con EMa S/C y C/C difiere significativamente entre el tratamiento CrVI23Días S/C Vs CrVI23Días C/C. No existe diferencia significativa entre el valor CrVI de los tratamientos restantes.

➤ Comparación de DBO₅ de 11 y 23 días con y sin concentración de choque (S/C – C/C) con respecto al basal

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

H_0 : $\mu_{\text{DBO511DÍAS S/C}} = \mu_{\text{DBO5BASAL}}$

H_1 : $\mu_{\text{DBO511DÍAS S/C}} \neq \mu_{\text{DBO5BASAL}}$

H_0 : $\mu_{\text{DBO511DÍAS C/C}} = \mu_{\text{DBO5BASAL}}$

H_1 : $\mu_{\text{DBO511DÍAS C/C}} \neq \mu_{\text{DBO5BASAL}}$

H_0 : $\mu_{\text{DBO523DÍAS S/C}} = \mu_{\text{DBO5BASAL}}$

H_1 : $\mu_{\text{DBO523DÍAS S/C}} \neq \mu_{\text{DBO5BASAL}}$

H_0 : $\mu_{\text{DBO523DÍAS C/C}} = \mu_{\text{DBO5BASAL}}$

H_1 : $\mu_{\text{DBO523DÍAS C/C}} \neq \mu_{\text{DBO5BASAL}}$

Donde:

H_0 : Hipótesis nula

H_1 : Hipótesis alternativa

μ : Media

S/C: Tratamiento sin concentración de choque (Ema 10%)

C/C: Tratamiento con concentración de choque (Ema 30%)

DBO511DÍAS: Valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 11 días de tratamiento

DBO523DÍAS: Valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 23 días de tratamiento

DBO5BASAL: Valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno basal del agua residual antes del tratamiento

5.2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

5.3. Cálculo del estadístico de prueba

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 4190						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
DBO11DíasSC	-1,894	2	,199	-766,66667	-2508,3260	974,9926
DBO11DíasCC	1,534	2	,265	2428,33333	-4380,8818	9237,5484
DBO23DíasSC	-31,562	2	,001	-1640,00000	-1863,5724	-1416,4276
DBO23DíasCC	-9,237	2	,012	-786,66667	-1153,0945	-420,2388

5.4. Regla de decisión

H_0 : Los valores entre grupos son iguales $p > 0.05$

H_1 : Los valores entre grupos no son iguales $p < 0.05$

5.5. Decisión sobre la H_0

Se acepta la Hipótesis nula H_0 para la comparación DBO11Días S/C y C/C Vs valor Basal y se acepta la Hipótesis Alternativa H_1 para la comparación DBO23Días S/C y C/C Vs el valor Basal.

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que en el valor Cr VI no hay diferencia significativa entre el valor de DBO 11 días S/C y C/C con respecto al valor Basal. Sin embargo, se puede sustentar que el valor de DBO 23 días S/C y C/C si difiere del valor Basal en el tratamiento de EMa.

➤ Comparación de DBO5 de 11 días con respecto a DBO5 a los 23 días S/C y C/C

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

$$H_0: \mu_{\text{DBO511DÍAS C/C}} = \mu_{\text{DBO511DÍAS S/C}} = \mu_{\text{DBO523DÍAS C/C}} = \mu_{\text{DBO523DÍAS S/C}}$$

$$H_1: \mu_{\text{DBO511DÍAS C/C}} \neq \mu_{\text{DBO511DÍAS S/C}} \neq \mu_{\text{DBO523DÍAS C/C}} \neq \mu_{\text{DBO523DÍAS S/C}}$$

5.2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

5.3. Cálculo del estadístico de prueba

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: DBO5

HSD Tukey

(I) EMaQ	(J) EMaQ	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
11 días S/C	11 días C/C	-3195,00000	1157,21829	,093	-6900,8203	510,8203
	23 días S/C	873,33333	1157,21829	,872	-2832,4870	4579,1536
	23 días C/C	20,00000	1157,21829	1,000	-3685,8203	3725,8203
11 días C/C	11 días S/C	3195,00000	1157,21829	,093	-510,8203	6900,8203
	23 días S/C	4068,33333*	1157,21829	,032	362,5130	7774,1536
	23 días C/C	3215,00000	1157,21829	,091	-490,8203	6920,8203
23 días S/C	11 días S/C	-873,33333	1157,21829	,872	-4579,1536	2832,4870
	11 días C/C	-4068,33333*	1157,21829	,032	-7774,1536	-362,5130
	23 días C/C	-853,33333	1157,21829	,879	-4559,1536	2852,4870
23 días C/C	11 días S/C	-20,00000	1157,21829	1,000	-3725,8203	3685,8203
	11 días C/C	-3215,00000	1157,21829	,091	-6920,8203	490,8203
	23 días S/C	853,33333	1157,21829	,879	-2852,4870	4559,1536

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

5.4. Regla de decisión

H_0 : Los valores entre grupos son iguales $p > 0.05$

H_1 : Los valores entre grupos no son iguales $p < 0.05$

5.5. Decisión sobre la H_0

Se acepta la Hipótesis Alternativa H_1 para la mayoría de las comparaciones, excepto para la comparación DBO₅11Días C/C Vs DBO₅23Días S/C.

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor de DBO₅ de las aguas tratadas con EMa S/C y C/C no difiere significativamente entre el tratamiento DBO₅11Días C/C Vs DBO₅23Días S/C. Existe diferencia significativa entre el valor DBO₅ de los tratamientos restantes.

1. Hipótesis para probar

El tratamiento de aguas residuales en humedales artificiales con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* reduce los valores de los parámetros fisicoquímicos de las aguas previamente tratadas con EMa, que es diferente el efecto entre los diferentes tiempos de tratamiento.

2. Evaluación de la Normalidad

Tabla de Normalidad

Pruebas de normalidad							
Fito		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
pHFito	10 díasSC	,234	90	,000	,680	90	,000
	10 díasCC	,447	90	,000	,173	90	,000
	22 díasSC	,068	198	,027	,988	198	,081
	22 díasCC	,094	198	,000	,983	198	,016
CEFito	10 díasSC	,140	90	,000	,933	90	,000
	10 díasCC	,161	90	,000	,910	90	,000
	22 díasSC	,234	198	,000	,881	198	,000
	22 díasCC	,240	198	,000	,876	198	,000
TempFito	10 díasSC	,159	90	,000	,927	90	,000
	10 díasCC	,170	90	,000	,906	90	,000
	22 díasSC	,126	198	,000	,927	198	,000
	22 díasCC	,120	198	,000	,921	198	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Pruebas de normalidad							
FITOQ		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CrTFito	10 Días S/C	,315	3	.	,891	3	,358
	10 Días C/C	,364	3	.	,799	3	,112
	22 Días S/C	,304	3	.	,907	3	,409
	22 Días C/C	,275	3	.	,943	3	,539
CrVIFito	10 Días S/C	,301	3	.	,912	3	,426
	10 Días C/C	,363	3	.	,802	3	,119
	22 Días S/C	,354	3	.	,820	3	,164
	22 Días C/C	,309	3	.	,900	3	,387
DBO5Fito	10 Días S/C	,372	3	.	,782	3	,072
	10 Días C/C	,228	3	.	,982	3	,745
	22 Días S/C	,322	3	.	,880	3	,323
	22 Días C/C	,315	3	.	,892	3	,360

a. Corrección de significación de Lilliefors

H₀: Los datos presentan distribución normal ($p > 0.05$)

H₁: Los datos no presentan distribución normal ($p < 0.05$)

Conclusión: De acuerdo con el análisis efectuado mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, los datos relativos a los parámetros físicos no exhiben una distribución normal. En contraste, la prueba de Shapiro-Wilk indica que los datos correspondientes a los parámetros químicos siguen una distribución normal.

3. Evaluación de la igualdad de varianzas (ANOVA)

No aplica para parámetros físicos.

Aplica para parámetros químicos.

4. Tipo de prueba a aplicar

- Para comparación de Parámetros físicos con el Valor Basal, se aplica el test de Wilcoxon para una muestra.
- Para la comparación de Parámetros químicos con el Valor Basal, se aplica el test de t de Student para una muestra.
- Para la comparación entre más de dos grupos con parámetros físicos en fitorremediación 10 días Vs 22 días (S/C - C/C), se aplica Kruskal-Wallis.
- Para la comparación entre más de dos grupos con Parámetros químicos de 10 días y 22 días (S/C - C/C), se aplica el test de ANOVA para un Factor.

5. Procedimiento

- **Comparación de valores de pH del tratamiento de Fitorremediación de y 22 días (S/C – C/C) con respecto al pH con el tratamiento de Ema 11 – 23 días S/C y C/C (Valores Basales)**

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

$$\mathbf{H_0: Basal_{pHEma11DíasS/C} = Me_{pHFito10DíasS/C}}$$

$$\mathbf{H_1: Basal_{pHEma11DíasS/C} \neq Me_{pHFito10DíasS/C}}$$

$$\mathbf{H_0: Basal_{pHEma11DíasC/C} = Me_{pHFito10DíasC/C}}$$

$$\mathbf{H_1: Basal_{pHEma11DíasC/C} \neq Me_{pHFito10DíasC/C}}$$

$$\mathbf{H_0: Basal_{pHEma23DíasS/C} = Me_{pHFito22DíasS/C}}$$

$$\mathbf{H_1: Basal_{pHEma23DíasS/C} \neq Me_{pHFito22DíasS/C}}$$

$$\mathbf{H_0: Basal_{pHEma23DíasC/C} = Me_{pHFito22DíasC/C}}$$

$$H_1: \text{Basal}_{\text{pHEMa23DíasC/C}} \neq \text{Me}_{\text{pHFito22DíasC/C}}$$

Donde:

H₀: Hipótesis nula

H₁: Hipótesis alternativa

Me: Mediana

S/C: Tratamiento sin concentración de choque (Ema 10%)

C/C: Tratamiento con concentración de choque (Ema 30%)

Basal_{pHEMa11Días}: Valor basal del potencial de Hidrógeno con tratamiento de microorganismos a los 11 días de Tratamiento

Basal_{pHEMa23Días}: Valor basal del potencial de Hidrógeno con tratamiento de microorganismos a los 23 días de Tratamiento

pHFito10Días: Valor del potencial de Hidrógeno en Fitorremediación a los 10 días de Tratamiento

pHFito22Días: Valor del potencial de Hidrógeno en Fitorremediación a los 22 días de Tratamiento

5.2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

5.3. Cálculo estadístico de prueba

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La mediana de 1 pHFito10DíasSC es igual a 7,50.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000	Rechazar la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.			

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La mediana de 1 pHFito10DíasCC es igual a 7,16.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000	Rechazar la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.			

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión

1	La mediana de pH _{Fito22DíasSC} es igual a 7,82.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	Rechazar la hipótesis nula. ,000
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.			

Resumen de prueba de hipótesis			
	Hipótesis nula	Prueba	Sig. Decisión
1	La mediana de pH _{Fito22DíasCC} es igual a 7,66.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	Rechazar la hipótesis nula. ,000
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.			

5.4. Regla de decisión

H₀: Los valores entre grupos son iguales p>0.05

H₁: Los valores entre grupos no son iguales p<0.05

5.5. Decisión sobre la H₀

Se rechaza la hipótesis nula H₀ y se acepta la hipótesis alternativa H₁

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor de pH con el tratamiento de Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* por 10 y 22 días difiere de los valores de pH del tratamiento previo con EMa a los 11 y 23 días, respectivamente.

➤ Comparación de valores de pH entre los diferentes tratamientos de Fitorremediación

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

$$H_0: Me_{pHFito10DíasS/C} = Me_{pHFito10DíasC/C} = Me_{pHFito22DíasS/C} = Me_{pHFito22DíasC/C}$$

$$H_1: Me_{pHFito10DíasS/C} \neq Me_{pHFito10DíasC/C} \neq Me_{pHFito22DíasS/C} \neq Me_{pHFito22DíasC/C}$$

5.2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

5.3. Cálculo estadístico de prueba

Resumen de prueba de hipótesis			
	Hipótesis nula	Prueba	Sig. Decisión

La distribución de pH _{Fito} es la misma entre las categorías de FITO.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,420 Retener la hipótesis nula.
---	---	---------------------------------

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

5.4. Regla de decisión

H₀: Los valores entre grupos son iguales p>0.05

H₁: Los valores entre grupos no son iguales p<0.05

5.5. Decisión sobre la H₀

Se acepta la hipótesis nula H₀

5.6. Redacción de la conclusión

No existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor de pH del agua residual en tratamiento difiere entre los diferentes tratamientos de Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* S/C y C/C por 10 y 22 días.

- **Comparación de valores de C.E. del tratamiento de Fitorremediación de 10 y 22 días (S/C – C/C) con respecto a la C.E. con el tratamiento de EMa 11 y 23 días S/C y C/C (Valores basales)**

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

H₀: Basal_{CEEMa11DíasS/C} = Me_{CEFito10DíasS/C}

H₁: Basal_{CEEMa11DíasS/C} ≠ Me_{CEFito10DíasS/C}

H₀: Basal_{CEEMa11DíasC/C} = Me_{CEFito10DíasC/C}

H₁: Basal_{CEEMa11DíasC/C} ≠ Me_{CEFito10DíasC/C}

H₀: Basal_{CEEMa23DíasS/C} = Me_{CEFito22DíasS/C}

H₁: Basal_{CEEMa23DíasS/C} ≠ Me_{CEFito22DíasS/C}

H₀: Basal_{CEEMa23DíasC/C} = Me_{CEFito22DíasC/C}

H₁: Basal_{CEEMa23DíasC/C} ≠ Me_{CEFito22DíasC/C}

Donde:

H₀: Hipótesis nula

H₁: Hipótesis alternativa

Me: Mediana

S/C: Tratamiento sin concentración de choque (Ema 10%).

C/C: Tratamiento con concentración de choque (Ema 30%).

Basal_{CEEMa11Días}: Valor basal de la Conductividad Eléctrica con tratamiento de microorganismos a los 11 días de Tratamiento

Basal_{CEEMa23Días}: Valor basal de la Conductividad Eléctrica con tratamiento de microorganismos a los 23 días de Tratamiento

CEFito10Días: Valor de la Conductividad Eléctrica en Fitorremediación a los 10 días de Tratamiento

CEFito22Días: Valor de la Conductividad Eléctrica en Fitorremediación a los 22 días de Tratamiento

5.2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

5.3. Cálculo estadístico de prueba

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La mediana de 1 CEFito10DíasSC es igual a 25,92.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000	Rechazar la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.			

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La mediana de 1 CEFito10DíasCC es igual a 26,43.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000	Rechazar la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.			

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La mediana de 1 CEFito22DíasSC es igual a 25,37.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000	Rechazar la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.			

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión

La mediana de 1 CEFito22DíasCC es igual a 26,37.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000 Rechazar la hipótesis nula.
--	--	----------------------------------

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

5.4. Regla de decisión

H_0 : Los valores entre grupos son iguales $p > 0.05$

H_1 : Los valores entre grupos no son iguales $p < 0.05$

5.5. Decisión sobre la H_0

Se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alternativa H_1 .

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor de CE con el tratamiento de Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* por 10 y 22 días difiere de los valores de C.E. del tratamiento previo con EMA a los 11 y 23 días, respectivamente.

➤ Comparación de valores de C.E. entre los diferentes tratamientos de Fitorremediación

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

H_0 : $Me_{CEFito10DíasS/C} = Me_{CEFito10DíasC/C} = Me_{CEFito22DíasS/C} = Me_{CEFito22DíasC/C}$

H_1 : $Me_{CEFito10DíasS/C} \neq Me_{CEFito10DíasC/C} \neq Me_{CEFito22DíasS/C} \neq Me_{CEFito22DíasC/C}$

5.2. Nivel de significancia

$\alpha = 0.05$

5.3. Cálculo estadístico de prueba

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1 La distribución de CEFito es la misma entre las categorías de FITO.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

5.4. Regla de decisión

H_0 : Los valores entre grupos son iguales $p > 0.05$

H_1 : Los valores entre grupos no son iguales $p < 0.05$

5.5. Decisión sobre la H_0

Se acepta la hipótesis nula H_0

5.6. Redacción de la conclusión

No existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor de C.E. del agua residual en tratamiento, difiere entre los diferentes tratamientos de Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* S/C y C/C por 10 y 22 días.

- **Comparación de valores de Temperatura del tratamiento de Fitorremediación de 10 y 22 días (S/C – C/C) con respecto a Temperatura con el tratamiento de EMa 11 y 23 días S/C y C/C (Valores basales)**

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

H_0 : $Basal_{T^{\circ}EMa11DíasS/C} = Me_{T^{\circ}Fito10DíasS/C}$

H_1 : $Basal_{T^{\circ}EMa11DíasS/C} \neq Me_{T^{\circ}Fito10DíasS/C}$

H_0 : $Basal_{T^{\circ}EMa11DíasC/C} = Me_{T^{\circ}Fito10DíasC/C}$

H_1 : $Basal_{T^{\circ}EMa11DíasC/C} \neq Me_{T^{\circ}Fito10DíasC/C}$

H_0 : $Basal_{T^{\circ}EMa23DíasS/C} = Me_{T^{\circ}Fito22DíasS/C}$

H_1 : $Basal_{T^{\circ}EMa23DíasS/C} \neq Me_{T^{\circ}Fito22DíasS/C}$

H_0 : $Basal_{T^{\circ}EMa23DíasC/C} = Me_{T^{\circ}Fito22DíasC/C}$

H_1 : $Basal_{T^{\circ}EMa23DíasC/C} \neq Me_{T^{\circ}Fito22DíasC/C}$

Donde:

H_0 : Hipótesis nula

H_1 : Hipótesis alternativa

Me : Mediana

S/C: Tratamiento sin concentración de choque (Ema 10%)

C/C: Tratamiento con concentración de choque (Ema 30%)

$Basal_{T^{\circ}EMa11Días}$: Valor basal de la Temperatura con tratamiento de microorganismos a los 11 días de Tratamiento

Basal_{T°EMa23Días}: Valor basal de la Temperatura con tratamiento de microorganismos a los 23 días de Tratamiento

T°Fito10Días: Valor de la Temperatura en Fitorremediación a los 10 días de Tratamiento

T°Fito22Días: Valor de la Temperatura en Fitorremediación a los 22 días de Tratamiento

5.2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

5.3. Cálculo estadístico de prueba

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1 La mediana de T°Fito10DíasSC es igual a 19,06.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000	Rechazar la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.			

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1 La mediana de T°Fito10DíasCC es igual a 19,08.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000	Rechazar la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.			

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1 La mediana de T°Fito22DíasSC es igual a 19,34.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000	Rechazar la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.			

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1 La mediana de T°Fito22DíasCC es igual a 19,16.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000	Rechazar la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.			

5.4. Regla de decisión

H₀: Los valores entre grupos son iguales p>0.05

H₁: Los valores entre grupos no son iguales p<0.05

5.5. Decisión sobre la H₀

Se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alternativa H_1 .

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor de Temperatura con el tratamiento de Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* por 10 y 22 días difiere de los valores de Temperatura del tratamiento previo con EMA a los 11 y 23 días, respectivamente.

➤ Comparación de valores de Temperatura entre los diferentes tratamientos de Fitorremediación

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

$$H_0: Me_{T^{\circ}Fito10DíasS/C} = Me_{T^{\circ}Fito10DíasC/C} = Me_{T^{\circ}Fito22DíasS/C} = Me_{T^{\circ}Fito22DíasC/C}$$

$$H_1: Me_{T^{\circ}Fito10DíasS/C} \neq Me_{T^{\circ}Fito10DíasC/C} \neq Me_{T^{\circ}Fito22DíasS/C} \neq Me_{T^{\circ}Fito22DíasC/C}$$

5.2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

5.3. Cálculo estadístico de prueba

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La distribución de $T^{\circ}Fito$ es la misma entre las categorías de FITO.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,942	Retener la hipótesis nula.
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.			

5.4. Regla de decisión

H_0 : Los valores entre grupos son iguales $p > 0.05$

H_1 : Los valores entre grupos no son iguales $p < 0.05$

5.5. Decisión sobre la H_0

Se acepta la hipótesis nula H_0

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor de Temperatura del agua residual en tratamiento no difiere entre los diferentes

tratamientos de Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* S/C y C/C por 10 y 22 días

- **Comparación de valores de Cr Total del tratamiento de Fitorremediación de 10 y 22 días (S/C – C/C) con respecto a Cr Total con el tratamiento de EMa 11 y 23 días S/C y C/C (Valores basales)**

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

H₀: Basal_{CrTEMa11DíasS/C} = $\mu_{CrTFito10DíasS/C}$

H₁: Basal_{CrTEMa11DíasS/C} \neq $\mu_{CrTFito10DíasS/C}$

H₀: Basal_{CrTEMa11DíasC/C} = $\mu_{CrTFito10DíasC/C}$

H₁: Basal_{CrTEMa11DíasC/C} \neq $\mu_{CrTFito10DíasC/C}$

H₀: Basal_{CrTEMa23DíasS/C} = $\mu_{CrTFito22DíasS/C}$

H₁: Basal_{CrTEMa23DíasS/C} \neq $\mu_{CrTFito22DíasS/C}$

H₀: Basal_{CrTEMa23DíasC/C} = $\mu_{CrTFito22DíasC/C}$

H₁: Basal_{CrTEMa23DíasC/C} \neq $\mu_{CrTFito22DíasC/C}$

Donde:

H₀: Hipótesis nula

H₁: Hipótesis alternativa

μ : Media

S/C: Tratamiento sin concentración de choque (Ema 10%)

C/C: Tratamiento con concentración de choque (Ema 30%)

Basal_{CrTEMa11Días}: Valor basal de Cromo Total con tratamiento de microorganismos a los 11 días

Basal_{CrTEMa23Días}: Valor basal de Cromo Total con tratamiento de microorganismos a los 23 días

CrTFito10Días: Valor de Cromo Total en Fitorremediación a los 10 días de Tratamiento

CrTFito22Días: Valor de Cromo Total en Fitorremediación a los 22 días de Tratamiento

5.2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

5.3. Cálculo estadístico de prueba

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 10.96

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
CrTFito10DíasSC	11,805	2	,007	51,98333	33,0359	70,9307

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 28.53

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
CrTFito10DíasCC	10,225	2	,009	29,58333	17,1343	42,0324

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 60.89

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
CrTFito22DíasSC	-11,651	2	,007	-14,40667	-19,7271	-9,0862

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 63.17

	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
CrTFito22DíasCC	-5,017	2	,038	-15,70667	-29,1762	-2,2372

5.4. Regla de decisión

H₀: Los valores entre grupos son iguales $p > 0.05$

H₁: Los valores entre grupos no son iguales $p < 0.05$

5.5. Decisión sobre la H₀

Se acepta la Hipótesis Alternativa H₁

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor de Cr T con el tratamiento de Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* por 10 y 22 días difiere de los valores de Cr T del tratamiento previo con EMA a los 11 y 23 días, respectivamente.

➤ **Comparación de valores de Cr Total entre los diferentes tratamientos de Fitorremediación**

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

$$H_0: \mu_{CrTFito10DíasS/C} = \mu_{CrTFito10DíasC/C} = \mu_{CrTFito22DíasS/C} = \mu_{CrTFito22DíasC/C}$$

$$H_1: \mu_{CrTFito10DíasS/C} \neq \mu_{CrTFito10DíasC/C} \neq \mu_{CrTFito22DíasS/C} \neq \mu_{CrTFito22DíasC/C}$$

5.2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

5.3. Cálculo estadístico de prueba

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: CrTFito						
HSD Tukey						
(I) FITOQ	(J) FITOQ	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
10 Días S/C	10 Días C/C	4,83000	4,42113	,704	-9,3280	18,9880
	22 Días S/C	16,46000*	4,42113	,024	2,3020	30,6180
	22 Días C/C	15,48000*	4,42113	,033	1,3220	29,6380
10 Días C/C	10 Días S/C	-4,83000	4,42113	,704	-18,9880	9,3280
	22 Días S/C	11,63000	4,42113	,112	-2,5280	25,7880
	22 Días C/C	10,65000	4,42113	,153	-3,5080	24,8080
22 Días S/C	10 Días S/C	-16,46000*	4,42113	,024	-30,6180	-2,3020
	10 Días C/C	-11,63000	4,42113	,112	-25,7880	2,5280
	22 Días C/C	-,98000	4,42113	,996	-15,1380	13,1780
22 Días C/C	10 Días S/C	-15,48000*	4,42113	,033	-29,6380	-1,3220
	10 Días C/C	-10,65000	4,42113	,153	-24,8080	3,5080
	22 Días S/C	,98000	4,42113	,996	-13,1780	15,1380

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

5.4. Regla de decisión

H_0 : Los valores entre grupos son iguales $p > 0.05$

H_1 : Los valores entre grupos no son iguales $p < 0.05$

5.5. Decisión sobre la H_0

Se acepta la Hipótesis nula H_0 para la mayoría de las comparaciones, excepto para la comparación del tratamiento 10 días S/C Vs 22 días S/C y C/C.

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor de CrT de las aguas tratadas con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* S/C y C/C no difiere significativamente entre el tratamiento, excepto. 10 días S/C Vs 22 días S/C y C/C.

- **Comparación de valores de Cr VI del tratamiento de Fitorremediación de 10 y 22 días (S/C - C/C) con respecto a Cr VI con el tratamiento de EMa 11 y 23 días S/C y C/C (Valores basales)**

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

H_0 : $\text{Basal}_{\text{CrVIEMa11DíasS/C}} = \mu_{\text{CrVIFito10DíasS/C}}$

H_1 : $\text{Basal}_{\text{CrVIEMa11DíasS/C}} \neq \mu_{\text{CrVIFito10DíasS/C}}$

H_0 : $\text{Basal}_{\text{CrVIEMa11DíasC/C}} = \mu_{\text{CrVIFito10DíasC/C}}$

H_1 : $\text{Basal}_{\text{CrVIEMa11DíasC/C}} \neq \mu_{\text{CrVIFito10DíasC/C}}$

H_0 : $\text{Basal}_{\text{CrVIEMa23DíasS/C}} = \mu_{\text{CrVIFito22DíasS/C}}$

H_1 : $\text{Basal}_{\text{CrVIEMa23DíasS/C}} \neq \mu_{\text{CrVIFito22DíasS/C}}$

H_0 : $\text{Basal}_{\text{CrVIEMa23DíasC/C}} = \mu_{\text{CrVIFito22DíasC/C}}$

H_1 : $\text{Basal}_{\text{CrVIEMa23DíasC/C}} \neq \mu_{\text{CrVIFito22DíasC/C}}$

Donde:

H_0 : Hipótesis nula

H_1 : Hipótesis alternativa

μ : Media

S/C: Tratamiento sin concentración de choque (Ema 10%)

C/C: Tratamiento con concentración de choque (Ema 30%)

Basal_{CrVIEMa11Días}: Valor basal de Cromo VI con tratamiento de microorganismos a los 11 días

Basal_{CrVIEMa23Días}: Valor basal de Cromo VI con tratamiento de microorganismos a los 23 días

CrVIFito10Días: Valor de Cromo VI en Fitorremediación a los 10 días de Tratamiento

CrVIFito22Días: Valor de Cromo VI en Fitorremediación a los 22 días de Tratamiento

5.2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

5.3. Cálculo estadístico de prueba

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 9.02						
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
				Inferior	Superior	
CrVIFito10DíasSC	11,351	2	,008	41,51333	25,7781	57,2486

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 23.62						
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
				Inferior	Superior	
CrVIFito10DíasCC	9,843	2	,010	22,84667	12,8595	32,8338

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 51.76						
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
				Inferior	Superior	
CrVIFito22DíasSC	-2,097	2	,171	-15,21000	-46,4112	15,9912

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 53.69						
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
				Inferior	Superior	
CrVIFito22DíasCC	-15,222	2	,004	-27,32333	-35,0465	-19,6002

5.4. Regla de decisión

H₀: Los valores entre grupos son iguales p>0.05

H₁: Los valores entre grupos no son iguales p<0.05

5.5. Decisión sobre la H₀

Se acepta la Hipótesis nula H₀ para la comparación CrVIFito22DíasSC Vs valor BasalCrVIEMa23DíasS/C y se acepta la Hipótesis Alternativa H₁ para la comparación de los tratamientos restantes Vs el valor Basal.

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor CrVI difiere significativamente del valor Basal con el tratamiento con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* S/C y C/C a los 10 y 22 días. Sin embargo, se puede sustentar que el valor de CrVI no difiere del valor Basal en el tratamiento de EMa S/C a los 22 días.

➤ Comparación de valores de Cr VI entre los diferentes tratamientos de Fitorremediación

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

H₀: $\mu_{CrVIFito10DíasS/C} = \mu_{CrVIFito10DíasC/C} = \mu_{CrVIFito22DíasS/C} = \mu_{CrVIFito22DíasC/C}$

H₁: $\mu_{CrVIFito10DíasS/C} \neq \mu_{CrVIFito10DíasC/C} \neq \mu_{CrVIFito22DíasS/C} \neq \mu_{CrVIFito22DíasC/C}$

5.2. Nivel de significancia

$\alpha = 0.05$

5.3. Cálculo estadístico de prueba

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: CrVIFito

HSD Tukey

(I) FITOQ	(J) FITOQ	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
10 Días S/C	10 Días C/C	4,06667	6,10614	,907	-15,4874	23,6207
	22 Días S/C	13,98333	6,10614	,180	-5,5707	33,5374
	22 Días C/C	24,16667*	6,10614	,018	4,6126	43,7207
10 Días C/C	10 Días S/C	-4,06667	6,10614	,907	-23,6207	15,4874
	22 Días S/C	9,91667	6,10614	,418	-9,6374	29,4707
	22 Días C/C	20,10000*	6,10614	,044	,5460	39,6540
22 Días S/C	10 Días S/C	-13,98333	6,10614	,180	-33,5374	5,5707
	10 Días C/C	-9,91667	6,10614	,418	-29,4707	9,6374
	22 Días C/C	10,18333	6,10614	,398	-9,3707	29,7374
22 Días C/C	10 Días S/C	-24,16667*	6,10614	,018	-43,7207	-4,6126
	10 Días C/C	-20,10000*	6,10614	,044	-39,6540	-,5460
	22 Días S/C	-10,18333	6,10614	,398	-29,7374	9,3707

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

5.4. Regla de decisión

H_0 : Los valores entre grupos son iguales $p > 0.05$

H_1 : Los valores entre grupos no son iguales $p < 0.05$

5.5. Decisión sobre la H_0

Se acepta la Hipótesis nula H_0 para la mayoría de comparación, excepto para 22 días C/C Vs 10 días S/C y C/C.

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor de CrVI de las aguas tratadas con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* S/C y C/C no difiere significativamente entre el tratamiento, excepto. Para los 22 días C/C Vs 10 días S/C y C/C.

➤ Comparación de valores de DBO_5 del tratamiento de Fitorremediación de 10 y 22 días (S/C – C/C) con respecto a DBO_5 con el tratamiento de EMA 11 y 23 días S/C y C/C (Valores basales)

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

H_0 : $Basal_{DBO_5EMA11DíasS/C} = \mu_{DBO_5Fito10DíasS/C}$

H_1 : $Basal_{DBO_5EMA11DíasS/C} \neq \mu_{DBO_5Fito10DíasS/C}$

H_0 : $Basal_{DBO_5EMA11DíasC/C} = \mu_{DBO_5Fito10DíasC/C}$

$$H_1: \text{Basal}_{\text{DBO5EMa11DíasC/C}} \neq \mu_{\text{DBO5Fito10DíasC/C}}$$

$$H_0: \text{Basal}_{\text{DBO5IEMa23DíasS/C}} = \mu_{\text{DBO5Fito22DíasS/C}}$$

$$H_1: \text{Basal}_{\text{DBO5EMa23DíasS/C}} \neq \mu_{\text{DBO5Fito22DíasS/C}}$$

$$H_0: \text{Basal}_{\text{DBO5EMa23DíasC/C}} = \mu_{\text{DBO5Fito22DíasC/C}}$$

$$H_1: \text{Basal}_{\text{DBO5EMa23DíasC/C}} \neq \mu_{\text{DBO5Fito22DíasC/C}}$$

Donde:

H₀: Hipótesis nula.

H₁: Hipótesis alternativa.

μ: Media.

S/C: Tratamiento sin concentración de choque (Ema 10%).

C/C: Tratamiento con concentración de choque (Ema 30%).

Basal_{DBO5EMa11Días}: Valor basal de la Demanda Bioquímica de Oxígeno con tratamiento de microorganismos a los 11 días.

Basal_{DBO5EMa23Días}: Valor basal de la Demanda Bioquímica de Oxígeno con tratamiento de microorganismos a los 23 días.

DBO5Fito10Días: Valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en Fitorremediación a los 10 días de Tratamiento.

DBO5Fito22Días: Valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en Fitorremediación a los 22 días de Tratamiento.

5.2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

5.3. Cálculo estadístico de prueba

Prueba para una muestra					
Valor de prueba = 3423.33					
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
				Inferior	Superior
DBO5Fito10DíasSC	-,427	2	,711	-179,99667	-1991,9846 1631,9912

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 6618.33						
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
				Inferior	Superior	
DBO5Fito10DíasCC	-	2	,002	-	-3605,1248	-
	22,841		3033,66333			2462,2019

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 2550						
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
				Inferior	Superior	
DBO5Fito22DíasSC	-27,629	2	,001	-	-2132,7034	-
			1845,33333			1557,9632

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 3403.33						
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
				Inferior	Superior	
DBO5Fito22DíasCC	-	2	,003	-	-3348,3940	-
	17,871		2698,66333			2048,9327

5.4. Regla de decisión

H_0 : Los valores entre grupos son iguales $p > 0.05$

H_1 : Los valores entre grupos no son iguales $p < 0.05$

5.5. Decisión sobre la H_0

Se acepta la Hipótesis nula H_0 para la comparación DBO5Fito10Días S/C Vs el valor Basal DBO5 Ema11DíasS/C Se acepta la Hipótesis Alternativa H_1 para la comparación de los demás tratamientos.

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor DBO₅ difiere significativamente del valor Basal con el tratamiento con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* S/C y C/C a los 10 y 22 días. Sin embargo, se

puede sustentar que el valor de DBO no difiere del valor Basal en el tratamiento de las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* de DBO₅ 10 días S/C.

➤ **Comparación de valores de DBO₅ entre los diferentes tratamientos de Fitorremediación**

5.1. Expresión simbólica de las hipótesis

$$H_0: \mu_{\text{DBO5Fito10DíasS/C}} = \mu_{\text{DBO5Fito10DíasC/C}} = \mu_{\text{DBO5Fito22DíasS/C}} = \mu_{\text{DBO5Fito22DíasC/C}}$$

$$H_1: \mu_{\text{DBO5Fito10DíasS/C}} \neq \mu_{\text{DBO5Fito10DíasC/C}} \neq \mu_{\text{DBO5Fito22DíasS/C}} \neq \mu_{\text{DBO5Fito22DíasC/C}}$$

5.2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

5.3. Cálculo estadístico de prueba

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: DBO5Fito						
HSD Tukey						
(I) FITOQ	(J) FITOQ	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
10 Días S/C	10 Días C/C	-341,33333	333,35925	,741	-1408,8670	726,2003
	22 Días S/C	2538,66667*	333,35925	,000	1471,1330	3606,2003
	22 Días C/C	2538,66667*	333,35925	,000	1471,1330	3606,2003
10 Días C/C	10 Días S/C	341,33333	333,35925	,741	-726,2003	1408,8670
	22 Días S/C	2880,00000*	333,35925	,000	1812,4663	3947,5337
	22 Días C/C	2880,00000*	333,35925	,000	1812,4663	3947,5337
22 Días S/C	10 Días S/C	-2538,66667*	333,35925	,000	-3606,2003	-1471,1330
	10 Días C/C	-2880,00000*	333,35925	,000	-3947,5337	-1812,4663
	22 Días C/C	,00000	333,35925	1,000	-1067,5337	1067,5337
22 Días C/C	10 Días S/C	-2538,66667*	333,35925	,000	-3606,2003	-1471,1330
	10 Días C/C	-2880,00000*	333,35925	,000	-3947,5337	-1812,4663
	22 Días S/C	,00000	333,35925	1,000	-1067,5337	1067,5337

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

5.4. Regla de decisión

H₀: Los valores entre grupos son iguales p>0.05

H₁: Los valores entre grupos no son iguales p<0.05

5.5. Decisión sobre la H_0

Se acepta la Hipótesis Alternativa H_1 para la mayoría de comparaciones del tratamiento con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* excepto para el tratamiento 10 días S/C y C/C Vs 22 días S/C y C/C.

5.6. Redacción de la conclusión

Existe evidencia muestral suficiente para sustentar la aseveración de que el valor de DBO5 de las aguas tratadas con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* S/C y C/C difiere significativamente entre el tratamiento, excepto para 10 días S/C y C/C Vs 22 días S/C y C/C.

4.3. Discusión de resultados

Dentro de los parámetros fisicoquímicos evaluados de las aguas residuales de la Curtiembre Pacheco S.R.L.TDA, se encontraron que algunos valores establecidos están dentro de la normativa ambiental vigente, mientras que otros se encuentran con valores por encima de la normativa. Así el valor basal de pH es 7.29, y se encuentra dentro del D.S 003-2002-PRODUCE (LMP) que posee un rango de pH de 6.0 a 9.0.

El valor basal de pH encontrado en el efluente de la Curtiembre Pacheco S.R.L.TDA, se debe a los procesos de pre-curtido, en las cuales se realiza la adición de tensoactivos, bactericidas, productos químicos como el álcali ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y sulfuro de sodio (Na_2S), los cuales generan una elevada alcalinidad del efluente. Asimismo, la adición de ácido fórmico ($\text{H}-\text{COOH}$), ácido acético (CH_3COOH), ácido dicarboxílico y sulfuro de amonio, generan que los efluentes de curtiembre en combinación lleguen a la neutralidad (54). Esto concuerda con Younas *et al.* (86) y Yadav *et al.* (87) que recopilaron información de distintos autores, donde se obtuvo como resultado valores que van desde 7.2 a 9.5 y 7.0 a 10.7 respectivamente.

El valor basal de C.E. encontrado en el agua residual de la Curtiembre Pacheco S.R.L.TDA es de 28,52mS/cm o 28520 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo un valor que se encuentra muy por encima de los valores establecidos en el D.S N°004-2017-MINAM (ECA) Categoría 3 para Riego de Vegetales (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$). El valor de C.E. está relacionada a la alcalinidad del efluente, Verma *et al.* (88), señala que a mayor concentración de iones mayor será la conductividad y al tener una alta conductividad mayor solubilidad presentan los cuerpos de agua.

Asimismo, Appiah (89) informa que los insumos químicos empleados en los procesos de pelambre, descalcado y purga se descomponen en iones cargados positivos y negativamente de sodio, calcio y magnesio, dando la capacidad al efluente de conducir corriente eléctrica (53). Al respecto Appiah (89), reportó como resultado un valor de C.E. de 56600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ provenientes

de efluentes de curtiembres artesanales, concordando con Dessie *et al.* (90), que evaluó distintas muestras de aguas residuales obteniendo como resultado valores de C.E. entre los 575 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 30800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

El valor basal de Temperatura es de 21.95°C, encontrándose dentro de la normativa ambiental vigente en 35°C para LMP y < 35°C para VMA. Este valor no se ve influenciado directamente por algún proceso de la curtiembre. Sin embargo, Arizabal (31) y Paz (51), describen que en el proceso de pelambre la temperatura de la solución de químicos empleados (licor) es de 28°C, mientras que en el proceso de curtición la piel resiste temperaturas superiores a 80°C. En el proceso de neutralizado el cuero se trata con sales, bicarbonatos y agua a 35°C y en el proceso de teñido se emplean ácidos colorantes y agua que va desde los 20°C hasta los 65°C. Dessie *et al.* (90), obtuvo temperaturas que oscilaban entre 16.7 y 30.3°C en efluentes de aguas residuales industriales. De lo descrito, se puede inferir que la temperatura del efluente no es consecuencia de la temperatura de los diferentes procesos, sino que resulta de la temperatura del ambiente en el cual se encuentra.

Dentro del proceso industrial de curtiembre, específicamente en la fase de curtido, se lleva a cabo la incorporación de sulfato básico de cromo [$\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$] (53); obteniendo residuos líquidos con sales de cromo (54). En la etapa de recurtido se adiciona nuevamente sales de cromo para darle mayor firmeza, elasticidad y durabilidad al cuero (55), por ello se consigna en la muestra de agua residual tomada de la Curtiembre Pacheco S.R.L.TDA una concentración basal de Cr Total de 48,69 mg/L, superando los valores identificados dentro de la normativa ambiental vigente VMA (10 mg/L) y LMP (2 mg/L).

Al respecto, Arizabal (31), Paz (51) y Carreño (20) reportan valores de Cr Total por encima de los 2 mg/L de la normativa ambiental vigente (LMP), señalando que dentro de las etapas de curtido, pelambre y desencalado los valores se encuentran por encima (4540 mg/L, 6208 mg/L, 1040 mg/L y 740 mg/L) o por debajo (0,1124 mg/L y 0,79784 mg/L) de los valores registrados en la presente investigación. Esta variación en los valores reportados se origina debido a la alta concentración de sales de cromo dentro de las etapas señaladas con anterioridad (51); siendo altamente contaminante e impactando de manera negativa a la calidad de agua, imposibilitando de esta manera su vertimiento al sistema de alcantarillado.

Del proceso industrial anteriormente mencionado, sobre el uso de sulfato básico de cromo para brindar características como suavidad, resistencia y ligereza al cuero; conduce, también, a la liberación continua de Cr VI a través de los efluentes de la curtiembre hacia el ambiente; siendo extremadamente solubles en agua, afectando a plantas, animales y al ser humano (88). Respecto al Cr VI, considerado como parámetro de alta toxicidad (47), se

consigna una concentración basal de 39.85 mg/L, superando los valores de la normativa ambiental vigente en LMP (0.4 mg/L) y VMA (0.5 mg/L).

Al respecto Arizabal (31), reportó valores de Cr VI de las etapas de curtido, pelambre y desenchalado, que excedieron los valores de la normativa ambiental; sin embargo se encuentran por debajo (0,32 mg/L, 0,075 mg/L y 12,8 mg/L) del valor registrado en el presente trabajo. Asimismo, Verma *et al.* (88), reporta que al culminar el proceso de curtición, los efluentes liberados sin previo tratamiento contiene entre 700 y 1000 mg de CrVI/L lo cual ejerce una presión constante al medio ambiente.

En tal sentido, podemos mencionar que el Cr VI, siendo un fuerte agente oxidante, se reduce intracelularmente a Cr V en presencia de donantes de electrones; siendo el Cr V un intermedio inestable de vida corta. Al ser de naturaleza menos estable, el Cr V se reduce a Cr III estable a través de otro Cr IV de intermedio inestable. Resultando finalmente en la precipitación de cromo; además, el Cr III es considerado de naturaleza menos soluble, siendo menos tóxico (88).

Respecto al DBO₅, se consigna una concentración basal de 4190 mg/L superando los valores de la normativa ambiental vigente en LMP y VMA (500 mg/L). El valor de DBO₅ se debe a la gran cantidad de materia orgánica encontrada en los procesos del pre-curtido (88), como las etapas de remojo y pre-remojo donde se le adicionan tensoactivos, detergentes y bactericidas (53), que sirven para eliminar restos de sangre y suciedad de la piel (31); y el pelambre donde se elimina el pelaje con ayuda de productos químicos que penetran en la dermis (54). El 90% de carga orgánica del efluente se debe al degradado de piel en cuero (88).

Resultados similares fueron reportados por Mpofo (91), donde al parecer el 80% de carga de DBO₅ se debe a los procesos de remojo, pelambre y desenchalado; mientras que Arizabal (31), reportó valores de DBO₅ que llegan hasta 11250 mg/L superando los límites establecidos en la legislación ambiental vigente LMP. Es importante destacar que la DBO₅ refleja la cantidad de oxígeno consumida por los microorganismos presentes en el efluente, con el fin de estabilizar la materia orgánica (transformarla en hidrógeno y dióxido de carbono) a cierta temperatura y en un determinado tiempo (29).

La aplicación de microorganismos eficaces activos en un tiempo de tratamiento de 11 días S/C y C/C para la biorremediación de las aguas residuales de la Curtiembre Pacheco S.R.L. TDA, presentó gran influencia en los valores de los parámetros físicos evaluados en el presente estudio. Donde el valor del pH a los 11 días de tratamiento S/C fue de 7.50, valor que supera lo establecido en el basal (7.29) de las aguas residuales de curtiembre; mientras que el pH en el tratamiento de 11 días C/C fue de 7.16, valor que se encuentra por debajo del basal (7.29) de

los efluentes de curtiembre. Ambos resultados se ubican dentro del intervalo especificado en el LMP de 6.0 a 9.0 de pH para curtiembres según el D.S 003-2002-PRODUCE.

Estos valores se encuentran próximos a la neutralidad, concordando con los resultados obtenidos por Guanilo *et al.* (92), donde se trabajó con dos concentraciones de EM (0.05% y 0.01%) aplicadas al agua subterránea obteniendo valores de pH de 7.30 y 7.40 respectivamente. Así mismo, Romero y Vargas (93) concuerdan con lo dicho anteriormente, obteniendo valores similares de pH a 7.3 en su investigación. Esta naturaleza alcalina posterior a los 11 días de tratamiento con EMa en las aguas residuales de la Curtiembre Pacheco S.R.L.TDA., se debe a la presencia de carbonato, bicarbonato e hidróxido (88).

El valor del pH en el tratamiento de 23 días S/C fue de 7.82, mientras que en el tratamiento de 23 días C/C se obtuvo un pH de 7.66; ambos valores se encuentran por encima del valor basal (7.29) de las aguas residuales de curtiembre. Ambos valores se ubican dentro del rango establecido en el LMP (6.0-9.0) para curtiembres según el D.S 003-2002-PRODUCE. Al respecto, Faife *et al.* (7), menciona que los factores medio ambientales y la composición de las aguas residuales o efluente son necesarios para calcular una dosis adecuada de EM, ya que una mayor cantidad de EM tendría resultados más rápidos y eficientes al momento de la biorremediación. Mientras que Valdez (94) obtuvo mejores resultados con una aplicación del 2% de EMa en un periodo de 3 meses donde la dosis aplicada fue de tres veces por semana.

Los valores obtenidos en los tratamientos con EMa a los 11 y 23 días S/C y C/C presentarían alcalinidad debido a la mayor presencia de iones oxhidrilo (OH⁻) que átomos de Hidrogeno (H⁺) por presencia de productos químicos como el álcali (Ca(OH)₂) e hidróxido de magnesio Mg(OH)₂ (54), ocasionando que el aumento en la alcalinidad incite al aumento en la concentración de iones, resultando de esta manera en una mayor conductividad (88).

El valor de C.E. a los 11 días de tratamiento S/C fue de 25.92 mS/cm, mientras que en el tratamiento de 11 días C/C fue de 26.43 mS/cm; estos valores se encuentran por debajo del valor basal (28.52 mS/cm) de las aguas residuales de curtiembre. Estos valores se encuentran por encima de lo establecido en el D.S N°004-2017-MINAM Categoría 3 (2.50 mS/cm); imposibilitando su uso para el riego de vegetales. Al respecto Zapana (13), obtuvo valores de C.E. con diferencias significativas respecto al uso de dos cepas fúngicas tolerantes en distintos tiempos de tratamiento (24 Hrs., 72 Hrs., 96 Hrs. y 120 Hrs.); obteniendo valores de 17.98 mS/cm, 16.00 mS/cm, 14.02 mS/cm y 12.43 mS/cm en el tratamiento con *Trichoderma viride*, y valores de 16.89 mS/cm, 14.72 mS/cm, 13.87 mS/cm y 11.69 mS/cm en el tratamiento con *Penicillium citrinum* en los diferentes tiempos de tratamiento respectivamente.

Mientras que, el valor de C.E. en el tratamiento de 23 días S/C fue de 25.37 mS/cm, mientras que para el tratamiento de 23 días C/C fue de 26.37 mS/cm; estos valores poseen una

diferencia de 1 mS/cm respecto a las concentraciones de EMa utilizadas en la presente investigación. Ambos valores (25.37 mS/cm y 26.37 mS/cm) se encuentran por encima de lo establecido en el D.S N°004-2017-MINAM Categoría 3 con una C.E. de 2.50 mS/cm; lo que imposibilita el uso de estas aguas tratadas para el riego de vegetales. Estando la C.E. relacionada con la concentración de sales en disolución, dependiendo la solubilidad de estas sales de la temperatura; por ello la C.E. varía conforme a la Temperatura del agua residual (29).

La Temperatura obtenida con el tratamiento de 11 días S/C fue de 19.06 °C, mientras que para el tratamiento de 11 días C/C fue de 19.08 °C; estos valores presentan una mínima diferencia respecto a las concentraciones de EMa utilizadas. Los valores obtenidos se encuentran por debajo del valor basal (21.95 °C) de las aguas residuales. Así mismo, ambos valores no superan el valor establecido en el LMP (35 °C) según el D.S. N°003-2002-PRODUCE, y en el VMA (< 35 °C) según el D.S. N°021-2009-VIVIENDA.

De acuerdo con lo obtenido por Romero y Vargas (93), tras la aplicación de microorganismos eficientes, lograron obtener valores de temperatura que oscilaban entre 25.5 °C y 28.2°C, valores que superan a las temperaturas obtenidas en la presente investigación Al respecto Vargas (29), tras el monitoreo en el crecimiento y adaptabilidad de los microorganismos eficientes (*lactobacillus* y levaduras), obtuvo hasta el día 11 de activación valores entre 24.8 °C y 20.3 °C, concordando con lo anterior, y evidenciando que los valores de la presente investigación se encuentran por debajo de los valores obtenidos en otras investigaciones.

En el tratamiento de 23 días S/C y C/C, se obtuvieron valores de Temperatura que no superan lo establecido en el D.S. N°003-2002-PRODUCE (LMP) que consigna un valor de 35 °C, y en el D.S. N°021-2009-VIVIENDA (VMA) que consigna un valor de < 35 °C. Obteniendo un valor de Temperatura a los 23 días S/C de 19.34 °C y a los 23 días C/C de 19.16 °C, valores que no superan el valor basal de 21.95 °C de las aguas residuales de la Curtiembre Pacheco S.R.L.TDA. Al respecto Vargas (29), al finalizar el estudio de monitoreo sobre el crecimiento y adaptabilidad de los microorganismos eficientes (*lactobacillus* y levaduras) al día 38 de su investigación, obtuvo valores entre 25.5 °C y 18 °C, rango que contempla los valores alcanzados en la presente investigación (19.34 °C y 19.16 °C) de las aguas residuales de Curtiembre.

Así, los valores de Temperatura obtenidos a los 11 y 23 días de tratamiento S/C y C/C, se encuentran relacionadas a las condiciones climáticas, como la variación de la temperatura ambiente a la que se expusieron las Unidades de Observación dentro del tiempo de tratamiento, lo que influyó a obtener los valores presentes en la investigación.

Dentro de los parámetros químicos evaluados, se observó una disminución en la mayoría de estos parámetros a los 11 días de tratamiento; sin embargo, se observó un

incremento en algunos parámetros a los 23 días de tratamiento. Para el parámetro Cr Total, a los 11 días de tratamiento S/C se consiguió un valor de 10.96 mg/L, obteniendo una disminución considerable respecto al valor basal de 48.69 mg/L de las aguas residuales de curtiembre. Así mismo, este valor se encuentra próximo a lo establecido en el D.S. N°021-2009-VIVIENDA (VMA) con un valor de 10 mg/L de Cr Total., teniendo una diferencia del 0.96 mg/L respecto al valor obtenido a los 11 días S/C (10.96 mg/L). Mientras que, para el tratamiento de 11 días C/C se consiguió un valor de 28.53 mg/L, que se obtiene, también, una disminución considerable respecto al valor basal 48.69 mg/L; sin embargo, este valor superó lo establecido en el D.S. N°021-2009-VIVIENDA VMA que consigna un valor de 10 mg/L de Cr Total.

Ambos valores obtenidos en el tratamiento de 11 días S/C y C/C superan lo establecido en el LMP que consigna un valor de 2 mg/L de Cr Total, según el D.S. N°003-2002-PRODUCE. Siendo no recomendable el uso de estas aguas residuales tratadas para el riego de vegetales por su elevado valor respecto al 0.1 mg/L de Cr Total establecido en el D.S. N°004-2017-MINAM (ECA para Agua, Categoría 3). Al respecto Rodríguez y Quezada (14), tras la utilización de un consorcio de levaduras (cepas de *Saccharomyces cerevisiae* y *Pichia guilliermondii*) en la remoción de Cr Total evaluada en tres tiempos (6, 12 y 24 Hrs.), obtuvieron una remoción del 53.79% (de 100 ppm a 47.90 ppm), y del 57.28% (de 50 ppm a 20.20 ppm) de Cr Total. Mientras que Morocho (9), tras la aplicación de EMAs y EM1 (10%) en aguas residuales de curtiembre con un basal de 1308.98 Ug/lit (1.30898 mg/L) Cr Total, obtuvo una disminución del parámetro, consiguiendo valores de 121 Ug/lit (0.121 mg/L) con EM1 y 54.09 Ug/lit (0.05409 mg/L) con EMAs en su investigación. Demostrando de esta manera que la aplicación de microorganismos para el tratamiento de las aguas residuales de curtiembre genera una efectividad en la remoción de parámetros químicos como el Cr Total.

Mientras que, en el tratamiento de 23 días S/C y C/C de la presente investigación, se obtuvieron valores de Cr Total que superan lo establecido en el D.S. N°003-2002-PRODUCE que establece un valor de 2 mg/L (LMP), y en el D.S. N°021-2009-VIVIENDA, contempla un valor de 10 mg/L (VMA). Así el valor obtenido para Cr Total a los 23 días S/C fue de 60.89 mg/L y a los 23 días C/C fue de 63.17 mg/L, valores que superan el basal de 48.69 mg/L de Cr Total de las aguas residuales de curtiembre. Evidenciando una notoria diferencia en cuanto al tiempo de tratamiento de 11 y 23 días S/C y C/C, dado que los valores alcanzados a los 11 días de tratamiento reducen notoriamente la concentración de Cr Total en aguas residuales de curtiembre; mientras que a los 23 días ocurre lo inverso, obteniendo un aumento notorio en cuanto a la concentración inicial de Cr Total de las aguas residuales de la Curtiembre Pacheco S.R.L. TDA.

Para el parámetro Cr VI, a los 11 días de tratamiento S/C, se consiguió un valor de 9.02 mg/L, mientras que para el tratamiento de 11 días C/C se consiguió un valor de 23.62 mg/L; obteniendo en ambos casos una disminución considerable respecto al valor basal de las aguas residuales de curtiembre que contempla un valor de 39.85 mg/L para Cr VI. Ambos valores superaron lo establecido en el D.S. N°021-2009-VIVIENDA VMA que consigna un valor de 0.5 mg/L de Cr VI para la descarga al sistema de alcantarillado; así mismo, los valores obtenidos en el tratamiento de 11 días S/C y C/C superan lo establecido en el LMP que consigna un valor de 0.4 mg/L de Cr VI, según el D.S. N°003-2002-PRODUCE.

Al respecto Zapana (13), obtuvo valores de Cr VI con una notoria diferencia respecto al uso de las cepas fúngicas tolerantes *Trichoderma viride* y *Penicillium citrinum*, utilizadas en distintos tiempos tratamiento (24 Hrs., 72 Hrs., 96 Hrs. y 120 Hrs.); obteniendo valores de 9.68 mg/L, 9.33 mg/L, 9.06 mg/L y 8.11 mg/L en el tratamiento con *Trichoderma viride*, y consiguiendo valores de 7.48 mg/L, 6.62 mg/L, 3.41 mg/L y 2.02 mg/L en el tratamiento con *Penicillium citrinum*, esto en los distintos tiempos de tratamiento respectivamente. Mientras que Delgado *et al.* (95), obtuvo valores de Cr VI por debajo de lo establecido en el D.S. N°021-2009-VIVIENDA (0.5 mg/L), mediante el uso de la bacteria *Rhodopseudomonas palustris* (en 300, 350 y 400 ml), en un pH <4 y en distintos tiempos de tratamiento (de 20, 22 y 23 días); obteniendo valores inferiores de 0.09 mg/L, 0.16 mg/L, 0.03 mg/L, 0.08 mg/L, 0.05 mg/L, 0.19 mg/L, 0.18 mg/L, 0.05 mg/L, 0.10 mg/L, 0.11 mg/L y 0.11 mg/L, destacando que para conseguir una efectiva remoción de Cr VI, se realice en un pH ácido de 4.0 con una dosis de 300 ml de *Rhodopseudomonas palustris* en un tiempo de 23 días.

Así, en el tratamiento de 23 días S/C se obtuvo un valor de 51.76 mg/L de Cr VI, mientras que para el tratamiento de 23 días C/C se consiguió un valor de 53.69 mg/L de Cr VI; ambos valores superan notoriamente lo establecido en el basal para Cr VI (39.85 mg/L). Así mismo, estos valores superan lo consignado para VMA en el D.S. N°021-2009-VIVIENDA (0.5 mg/L) sobre la descarga de efluentes de curtiembre al sistema de alcantarillado; superó, también, lo establecido en el LMP donde se consigna un valor de 0.4 mg/L de Cr VI, según el D.S. N°003-2002-PRODUCE. Poniendo en evidencia un notorio incremento en los valores obtenidos a los 23 días de tratamiento con respecto a los valores obtenidos a los 11 días de tratamiento, donde se obtuvo valores inferiores a lo consignado en el valor basal de Cr VI.

El valor del DBO₅ a los 11 días de tratamiento S/C fue de 3423.33 mg/L, siendo un valor que se encuentra por debajo del basal establecido para DBO₅ (4190 mg/L); mientras que el valor de DBO₅ en el tratamiento de 11 días C/C es de 6618.33 mg/L que se encuentra por encima del valor basal de DBO₅ (4190 mg/L). Ambos valores encontrados se encuentran por encima de lo establecido en el LMP (500 mg/L) para Curtiembres según el D.S. 003-2002-

PRODUCE y por encima de lo establecido en el VMA (500 mg/L) para la descarga al sistema de alcantarillado según el D.S 021-2009-VIVIENDA. Esto debido a la alta carga de materia orgánica presente en las aguas residuales de la curtiembre Pacheco S.R.L. TDA. (47).

Al respecto Morocho (9), obtuvo resultados similares a la presente investigación, donde su testigo tuvo un valor de 3525mg/L para DBO₅, y tras la aplicación de EM1 y EMAs (10%) se obtuvo para EM1 un valor de 8325 mg/L, para EMAs un valor de 9768 mg/L y para TFQ se consiguió un valor de 1775 mg/L, esto durante un tiempo de tratamiento de 28 días, consiguiendo al final mediante comparativa que el tratamiento fisicoquímico es el que más reduce los valores de DBO₅. En contraste, Valdez (94), analizó tratamientos en diferentes concentraciones de EMa al 1%, 1.5% y 2%, teniendo de testigos los valores de 163.20 mg/L, 136.6 mg/L, y 162.0 mg/L; obteniendo como resultado valores de DBO₅ de 146.0 mg/L, 134.0 y 117.6 mg/L respectivamente, concluyendo que a mayor concentración de EMa existirá una mayor reducción del parámetro.

El valor del DBO₅ a los 23 días de tratamiento S/C es de 2550 mg/L, encontrándose por debajo del valor basal de DBO₅ (4190 mg/L); mientras que el valor de DBO₅ en el tratamiento a los 23 días C/C es de 3403.33 mg/L, se encontró, también, por debajo de lo consignado en el basal de DBO₅ (4190 mg/L). Ambos valores superan el valor establecido en el LMP que contempla 500 mg/L para DBO₅ según el D.S 003-2002-PRODUCE y supera el VMA (500 mg/L) para descarga de efluente al sistema de alcantarillado según lo establecido en el D.S 021-2009-VIVIENDA. Así Faife *et al.* (7), menciona que para lograr una mayor disminución del parámetro, la dosis del EM dependerá del DBO₅ disuelto, contemplando la aplicación de la dosis de EM durante 3 veces a la semana para poder obtener un cambio significativo; sin embargo de no obtener el cambio necesario el procedimiento deberá repetirse.

Al respecto Liberato (96), estudio tres concentraciones diferentes de EM Agua (10%,15% y 20%) para diferentes parámetros (DBO₅, DQO, SST, CE y pH), obteniendo una mayor reducción de DBO₅ con una dosis de EM Agua al 20%, disminuyendo de un valor de 4592mg/L a un valor de 1127.0 mg/L. De esta manera, podemos deducir que a mayor concentración de EM mayor será la reducción de este parámetro; sin embargo, Morocho (9), identificó que el resultado de su investigación concerniente al valor obtenido en el testigo del parámetro DBO₅ (3525mg/L), luego del tratamiento con EMAs no fue satisfactorio, ya que hubo un incremento de 8325 mg/L y 9768 mg/L, debido a presenciar un estancamiento de 7 días.

El tratamiento realizado a las aguas residuales de la Curtiembre Pacheco S.R.L. TDA., en un tiempo de 10 y 22 días mediante el uso de humedales artificiales con las especies

Eichhornia crassipes y *Lemna gibba*, presentó una gran influencia en los valores de los parámetros físicos previamente tratados con EMA (S/C y C/C).

Para el parámetro pH, a los 10 días de tratamiento S/C, se consiguió un valor de 8.52, obteniendo un aumento considerable respecto al valor basal de 7.50 de las aguas residuales de curtiembre. Obteniendo un valor próximo a lo establecido en el D.S. N°004-2017-MINAM (ECA), D.S. N°003-2002-PRODUCE (LMP) y D.S. N°021-2009-VIVIENDA (VMA) con 6.5-8.5, 6.0, 9.0 y 6.9 respectivamente. Mientras que para el tratamiento de 10 días C/C se consiguió un valor de 8.64, obteniendo un aumento considerable respecto al valor basal 7.16, y superando lo establecido para ECA riego de vegetales (6.5-8.5) de pH según el D.S. N°004-2017-MINAM, pero dentro de la normativa establecida por D.S. N°003-2002-PRODUCE (LMP) 6.0-9.0 y D.S. N°021-2009-VIVIENDA (VMA) 6.9.

Los resultados obtenidos por Chakravarty *et al.* (21) para el parámetro de pH a los 7 días de tratamiento con la especie *Eichhornia crassipes* fue de 7.60 respecto al valor basal de 8.9, obteniendo una reducción significativa del 14.60%. Mientras que Gomez (18) expuso a tres especies fitorremediadoras (*Lemna gibba*, *Salvinia minima* y *Azolla filiculoides*) a diferentes concentraciones de Cr Total (1, 5, 10 y 20 mg CrT/L) en un periodo de 7 días, no se encontraron cambios significativos entre su pH inicial (7.1) vs el pH final (7.0). Los resultados obtenidos en la presente investigación coinciden con Carhuaricra (97), quien utilizó las especies (*Eichhornia. crassipes* y *Limnobiium laevigatum*) donde se observó un aumento del pH a partir de las 31.2 horas de 6.2 a 6.6.

Se presume, que los efluentes biorremediados anteriormente tenían poca concentración de microorganismos, ya que el aumento de pH se debe a los iones disueltos como el OH⁻, de las especies en el agua de curtiembre. Demostrando que ambas especies tiene un alto potencial de fitorremediación de metales pesados, que se potencializan con la tecnología de humedales artificiales, removiendo parámetros fisicoquímicos en combinación con microorganismos presentes en los efluentes o propios de la planta (68).

Para el parámetro pH, a los 22 días de tratamiento S/C se consiguió un valor de 8.53, obteniendo un aumento considerable respecto al valor basal de 7.82 de las aguas residuales de curtiembre. Obteniendo un valor próximo a lo establecido en el D.S. N°004-2017-MINAM (ECA), D.S. N°003-2002-PRODUCE (LMP) y D.S. N°021-2009-VIVIENDA (VMA), con 6.5-8.5, 6.0, 9.0 y 6.9 respectivamente. Mientras que para el tratamiento de 22 días C/C se consiguió un valor de 8.55, obteniendo un aumento considerable respecto al valor basal 7.66, y superando lo establecido para ECA riego de vegetales (6.5-8.5) de pH según el D.S. N°004-2017-MINAM, pero dentro de la normativa establecida por D.S. N°003-2002-PRODUCE (LMP) 6.0-9.0 y D.S. N°021-2009-VIVIENDA (VMA) 6.9.

Al respecto, Chakrabarty *et al.* (21), reveló el enorme potencial de la *Eichhornia crassipes* para la reducción de los distintos parámetros fisicoquímicos, entre ellos el pH; a los 15 días de tratamiento se redujo de 8.9 a 7.3 0 17.97%. Esta reducción del pH favorece la acción microbiana para degradar el DBO en las aguas de curtiembre. En contraste, Carhuaricra (97) informa que el tiempo de retención hidráulica con las especies fitorremediadoras influye en el aumento del pH; denotando que hubo un aumento en contraste con las horas de tratamiento, a las 31.2 horas (6.2-6.6), a las 39 horas (6.2-6.7) y a las 46.8 horas (6.2-7.5).

En la presente investigación, se observó que las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* a pesar de ser altamente tolerantes, empezaron a marchitarse a los 2 días de tratamiento en sus respectivos humedales artificiales se presume que las altas concentraciones de contaminantes presentes en los efluentes, necrosaran las hojas, bulbos, estolones y raíz dentro del efluente; liberando así iones oxhidrilo (OH-) cal apagada entre otros (54) de elementos presentes en el agua de curtiembre elevando el pH.

Para el parámetro C.E., a los 10 días de tratamiento S/C se consiguió un valor de 23.93 mS/cm, obteniendo una disminución respecto al valor basal de 25.92 mS/cm, de las aguas residuales de curtiembre. Obteniendo un valor próximo a lo establecido en el D.S. N°004-2017-MINAM (ECA) 2500(μS/cm), riego de vegetales. Mientras que para el tratamiento de 10 días C/C se consiguió un valor de 24.76 mS/cm obteniendo una disminución considerable respecto al valor basal 26.43 mS/cm, estando dentro del ECA riego de vegetales 2500(μS/cm).

Al respecto, Chakrabarty *et al.* (21), reporta que la eficiencia de la *Eichhornia crassipes* reduce de manera significativa el parámetro de Conductividad (4932 μS/cm) de un valor basal (9230 μS/cm), el porcentaje de eliminación fue de 46.56% en un periodo de tiempo de 7 días. Esto evidencia que la *Eichhornia crassipes* tiene una potencial para fitorremediar en cortos periodos de tiempo. De igual manera, Carhuaricra (97) observó que la fitorremediación en humedales artificiales con las especies *Eichhornia crassipes* y *Limnobium laevigatum* reduce la conductividad en el primer día de tratamiento, pasando de 501 μS/cm a 487 μS/cm. Sin embargo, Carranza y Romero (98) encontraron estudios donde las lentejas de agua tienen menor índice de reducción de parámetros físicos al no influir directamente con la conductividad eléctrica.

En la presente investigación, se observó la reducción del parámetro conductividad eléctrica, respecto al basal. También, se llegó a cumplir con la normativa ECA. Esto puede deberse a que la materia orgánica presente en el agua de curtiembre haya reducido la conductividad eléctrica debido al necrosado de hojas tallos y raíces de las especies fitorremediadoras y la poca intervención de microorganismos propios del agua y las plantas.

Para el parámetro C.E., a los 22 días de tratamiento S/C se consiguió un valor de 17.79 mS/cm, obteniendo una disminución respecto al valor basal de 25.37 mS/cm, de las aguas residuales de curtiembre. Obteniendo un valor próximo a lo establecido en el D.S. N°004-2017-MINAM (ECA) 2500(μS/cm), riego de vegetales. Mientras que para el tratamiento de 22 días C/C se consiguió un valor de 17.42 mS/cm obteniendo una disminución considerable respecto al valor basal 26.37mS/cm, estando dentro del ECA riego de vegetales 2500(μS/cm).

Al respecto, Carhuaricra (97) utilizó dos especies fitorremediadoras *E. crassipes* y *L. laevigatum*, las cuales estuvieron en humedales artificiales durante diferentes periodos de tiempo (23.4 horas, 31.2 horas, 39 horas y 46.8 horas) obteniendo como resultado 487 μS/cm, 414 μS/cm, 342 μS/cm, 315 μS/cm respectivamente, donde su valor basal fue de 501 μS/cm, esto denota que, un mayor tiempo de retención hidráulica en humedales artificiales, disminuirá la conductividad eléctrica del efluente. Esto es corroborado por Chakrabarty *et al.* (21), quien obtuvo resultados similares con respecto al tiempo de retención hidráulica (15 días), teniendo un valor inicial de 9230 μS/cm redujo su conductividad hasta 3513 μS/cm, (61.93%). En contraste, Gomez (18) mantuvo su conductividad constante desde el inicio de la experimentación 613 μS/cm hasta el final 573 μS/cm en, utilizando las especies *Lemna gibba*, *Salvinia minima* y *Azolla filiculoides* a diferentes concentraciones de Cromo Total (1, 5,10 y 20 mg/L) en un periodo de 7 días.

Cortes y Florez (67), y Jaramillo y Flores (16), han argumentado que la conductividad eléctrica se encuentra intrínsecamente vinculada a la concentración de sales disueltas, mencionan que la *E crassipes* no tolera medios con alto contenido de sales, lo que ejerce un impacto negativo en su crecimiento debido al estrés salino, que a su vez restringe su capacidad de reproducción. Por otro lado, han señalado que las *Lemnaceaes*, por su parte, son capaces de prosperar en ambientes con una elevada concentración de sales, lo que sugiere una mayor tolerancia a las condiciones salinas en su cultivo.

La Temperatura obtenida con el tratamiento de 10 días S/C fue de 17.33 °C, presentando una disminución respecto a lo establecido en el basal con 19.06 °C de las aguas residuales de la curtiembre; mientras que para el tratamiento de 10 días C/C se obtuvo un valor de 17.14 °C, presentando también, una disminución respecto al valor basal de 19.08 °C de las aguas de curtiembre. Así mismo, los valores obtenidos a los 10 días de tratamiento se encuentran por debajo de lo establecido en el D.S. N°003-2002-PRODUCE (LMP de Efluentes para Alcantarillado de la Actividad de Curtiembre) con 35 °C, e inferiores a lo establecido en el D.S. N°021-2009-VIVIENDA (VMA para descargas al sistema de alcantarillado) con < 35 °C.

Al respecto Ayala et al (25), tras la utilización de las especies *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale* para la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales, lograron obtener valores de Temperatura de 18.47 °C a 17.90 °C (*Eichhornia crassipes*), de 18.47 °C a 18.80 °C (*Nymphoides humboldtiana*), y de 18.47 °C a 18.98 °C (*Nasturtium officinale*). Mientras que Delgado (33), tras la utilización de la especie *E. crassipes* para la remoción de elementos ecotóxicos y materia orgánica analizadas en cuatro muestras (pozos) de fluidos residuales industriales, logró obtener valores de Temperatura de 24.5 °C a 24.3 °C (M1), de 23.4 °C a 24.8 °C (M2), de 22.3 a 25.7 °C (M3) y de 21.5 °C a 25.1 °C (M4); difiriendo con lo argumentado anteriormente.

Siendo la Temperatura de vital importancia, por su participación sobre la capacidad que tiene una solución para lograr transmitir corriente eléctrica. Así, la Temperatura obtenida con el tratamiento de 22 días S/C fue de 17.30 °C, presentando una disminución respecto a lo establecido en el basal con 19.34 °C correspondiente a las aguas residuales de la empresa Curtiembre Pacheco S.R.L. TDA; mientras que la Temperatura obtenida con el tratamiento de 22 días C/C fue de 17.11 °C, presentando una disminución respecto al valor basal establecido con 19.16 °C de las aguas residuales de curtiembre. Es relevante destacar que los valores obtenidos en los tratamientos S/C y C/C a los 22 días, no superan lo establecido en el D.S. N°003-2002-PRODUCE (LMP de Efluentes para Alcantarillado de la Actividad de Curtiembre) con 35 °C, ni lo establecido en el D.S. N°021-2009-VIVIENDA (VMA para descargas al sistema de alcantarillado) con < 35 °C.

Al respecto Jaramillo y Flores (16), han destacado que, en el contexto de la fitorremediación de aguas residuales procedentes de actividades mineras utilizando las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, resulta fundamental contar con condiciones térmicas específicas. En concreto, han señalado que es necesario mantener una Temperatura media de 16.2 °C, una Temperatura máxima de 24.2 °C y una Temperatura mínima de 5.8 °C. Mientras que Canales (99), menciona que las *Lemnaceas* (*Lemna gibba*) son tolerantes a un amplio rango de temperaturas, evidenciando que el crecimiento de la especie se encuentra relacionada con la temperatura en la que se desarrolla, oscilando un desarrollo entre los 18 °C y los 25°C.

Los valores obtenidos en los tratamientos de 10 y 22 días S/C y C/C, donde se utilizaron humedales artificiales con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba*; presentarían una disminución en el parámetro de Temperatura, debido a la presencia de anchas hojas de la especie *Eichhornia crassipes* sobre la superficie del humedal artificial (33), deduciendo que la especie *Lemna gibba*, también, generaría un recubrimiento de la superficie del humedal artificial por la cantidad utilizada dentro de la investigación (200 gramos); esto debido a que

ambas especies se encuentran exclusivamente en la superficie de cuerpos de agua, denominándose macrófitas flotantes.

El tratamiento realizado a las aguas residuales de la Curtiembre Pacheco S.R.L. TDA., en un tiempo de 10 y 22 días mediante el uso de humedales artificiales con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba*, presentó una gran influencia en los valores de los parámetros químicos previamente tratados con EMa (S/C y C/C). Estas especies (macrófitas flotantes) presentan una capacidad de reducción y/o remoción de contaminantes dependiente del crecimiento, estación y del tipo de contaminante a tratar; así como, de la tolerancia a altas concentraciones de metales contaminantes por parte de la especie.

Para el parámetro de Cr Total, el valor obtenido con el tratamiento de 10 días S/C fue de 62.94 mg/L, presentando un aumento notorio respecto a lo establecido en el basal (10.96 mg/L); mientras que para el tratamiento de 10 días C/C se obtuvo un valor de 58.11 mg/L, presentando también un aumento notorio respecto a lo establecido en el basal (28.53 mg/L). Asimismo, los valores obtenidos a los 10 días de tratamiento superan notoriamente lo establecido en el LMP (2 mg/L), y lo establecido en el VMA (10 mg/L), e imposibilita su uso para el riego de vegetales, por superar el 0.1 mg/L establecido en el ECA.

Al respecto, Arizábal (31) utiliza la especie más tolerante (*Eleocharis palustris*) a aguas residuales, sometiendo a distintas concentraciones, obtuvo valores de 1.86 mg/L, 0.17 mg/L y 0.07 mg/L (25%), 3.56 mg/L 0.99 mg/L y 0.35 mg/L (50%), y 5.21 mg/L, 0.61 mg/L y 0.23 mg/L (75%); consiguió una remoción del 96.49%, 91.34% y 96.18%. Mena y Eyzaguirre (32), tras la utilización de la especie *E. crassipes*, obtuvo mejores resultados en la absorción de Hg a los 10 primeros días del tratamiento (77%), mientras que a los 20 días de tratamiento consiguió un promedio de 52%. Evidenciando que en un menor tiempo de tratamiento existe una mejor remoción de contaminantes.

Así, Valencia (27) menciona que la familia de las *Lemnaceas* (*Lemna gibba*) son utilizadas como especies purificadoras de aguas residuales, siendo tolerables para cuatro metales contaminantes, mientras que la especie *Eichhornia crassipes* evidencia una tolerabilidad para seis metales pesados, incluyendo el cromo.

Así, el Cr Total obtenido con el tratamiento de 22 días S/C fue de 46.48 mg/L, presentando una disminución respecto a lo establecido en el basal (60.89 mg/L); mientras que el Cr Total obtenido con el tratamiento de 22 días C/C fue de 47.46, presenta, también, una disminución respecto al valor basal de (63.17 mg/L). Así, los valores obtenidos en los tratamientos S/C y C/C a los 22 días, no superan lo establecido en sus basales correspondientes. Sin embargo, superan los 2 mg/L de Cr Total establecido en el LMP, y supera, también, los 10

mg/L establecidos en el VMA; que no es recomendable su uso para el riego de vegetales, por superar el 0.1 mg/L de ECA para Agua Categoría 3.

Chaudhary y Sharma (19) obtuvieron como resultados una mayor remoción de cromo en un mayor periodo de tiempo con la especie *Lemna gibba* en 15 días en una solución de 5mg/L Cr T el porcentaje de reducción fue de 98.67% La disminución de la eficiencia de la planta para eliminar el metal se vio afectado por el incremento de la concentración del metal, esto afectó los procesos realizados por la planta como el transporte de electrones, la fotofosforilación, actividades enzimáticas y afectó especialmente al fotosistema II para la lenteja de agua.

Asimismo, Jiménez (68) recopiló información sobre la capacidad fitorremediadora de la *E. crassipes* someténdola a concentraciones de Cr de 40 y 70 mg/L en un periodo de 10 días, al término del estudio la especie removió en un 80% en un periodo de días. Sin embargo, una óptima reducción de CrT se da a concentraciones de 5mg/L la cual permite a la especie subsistir el tiempo suficiente para cumplir con su labor detoxificante.

Para el parámetro Cr VI, a los 10 días de tratamiento S/C se consiguió un valor de 50.53 mg/L, obteniendo un aumento significativo respecto al valor basal de 9.02 mg/L, de las aguas residuales de curtiembre. Obteniendo un valor fuera de lo establecido en LMP (0.4mg/L) y VMA (0.5mg/L). Mientras que para el tratamiento de 10 días C/C se consiguió un valor de 46.47 mg/L obteniendo un aumento considerable respecto al valor basal 23.62 mg/L, estando fuera de los LMP y VMA (0.4 y 0.5 mg/L) respectivamente.

En contraste con la presente investigación, Arizabal (31) obtuvo resultados favorables al someter sus macrófitas en humedales artificiales con dilución de agua residual de 25%, 50% y 75%, en 4 días de tratamiento, observando que al cuarto día tratamiento removió un 97% de Cr VI de una concentración inicial de 2.77mg/L de Cr VI con una dilución de agua de 75%. Cortes y Flores (67) corroboran lo dicho anteriormente, al someter la *E. crassipes* a concentraciones iniciales de Cr VI de 1.2 ppm, 1.5 ppm y 1.8ppm, logrando un porcentaje de remoción promedio de 65.38%, 69.57% y 65.36% respectivamente.

Pineda (5) señala que un pH neutro es adecuado para la absorción, adsorción y/o precipitación del cromo, mientras que, si el pH se vuelve alcalino, provoca la desorción del metal aumentando los niveles de cromo. Esto podría explicar el aumento considerable del Cr VI en las aguas de curtiembre del presente estudio.

Para el parámetro Cr VI, a los 22 días de tratamiento S/C, se consiguió un valor de 36.55 mg/L, obteniendo una disminución respecto al valor basal 51.76 mg/L, de las aguas residuales de curtiembre. Obteniendo un valor fuera de lo establecido en LMP (0.4mg/L) y

VMA (0.5mg/L). Mientras que para el tratamiento de 22 días C/C se consiguió un valor de 26.37 mg/L obteniendo una disminución respecto al valor basal 53.69 mg/L, estando fuera de los LMP y VMA (0.4 y 0.5 mg/L) respectivamente.

Al respecto, Carreño (20) obtuvo valores similares, donde la reducción de cromo evidenció una reducción promedio de 80% en concentraciones de 50, 100 y 200mg/L de Cr VI con la especie *E crassipes*. Mientras que Sasmaz *et al.* (100), menciona que *L gibba* cumplió con las expectativas al remediar hasta un 84% de cromo VI en 12 días de tratamiento.

La reducción de cromo VI a los 22 días puede deberse a carga microbiana presente en las aguas de curtiembre, ya que, al estar siendo remediadas con macrófitas, estas brindan microorganismos benéficos propias de la planta que adhieren el cromo a la raíz, y a su vez la raíz absorbe los iones metálicos para localizarlas en el parénquima de la raíz.

Para el parámetro DBO₅, a los 10 días de tratamiento S/C se consiguió un valor de 3243.33mg/L. Esto representa una disminución significativa en comparación con el valor inicial de 3423.33mg/L de las aguas residuales de curtiembre, superando el valor establecido en el D.S. N°004-2017-MINAM (ECA) Riego de Vegetales con (15mg/L), D.S. N°003-2002-PRODUCE (LMP) con (500mg/L) D.S. N°021-2009-VIVIENDA (VMA) con 500mg/L. Mientras que para el tratamiento de 10 días C/C se consiguió un valor de 3584.67mg/L, obteniendo una reducción considerable respecto al valor basal 6618.33, y superando lo establecido para ECA riego de vegetales (15mg/L) de DBO₅ según el D.S. N°004-2017-MINAM, D.S. N°003-2002-PRODUCE (LMP) 500mg/L y D.S. N°021-2009-VIVIENDA (VMA) 500mg/L.

Carranza y Romero (98) recopilaron información sobre las propiedades de *Lemna ssp.*, que lograron disminuir el parámetro microbiológico de DBO hasta en un 96% en 7 días de tratamiento; asimismo, menciona que las lentejas de agua tienen la propiedad de mantener la temperatura del efluente entre 20 y 23°C, temperatura óptima para los microorganismos presentes en el efluente como en la planta y actúen sobre la materia orgánica, reduciendo el DBO₅. De igual manera Parra (101), menciona que la especie *Eichhornia crassipes* puede degradar materia orgánica que se expresa en DBO₅ hasta en un 97%. Deduciendo que ambas especies pueden reducir de igual manera el DBO₅.

Para el parámetro DBO₅, a los 22 días de tratamiento S/C se consiguió un valor de 704.67mg/L. Esto representa una disminución significativa en comparación con el valor inicial de 2550.00mg/L correspondiente a las aguas residuales de curtiembre, superando el valor establecido en el (ECA) sobre el riego de vegetales con (15mg/L), (LMP) con 500mg/L y (VMA) con 500mg/L. Mientras que para el tratamiento de 22 días C/C se consiguió un valor de 704.67mg/L, obteniendo una reducción considerablemente alta respecto al valor basal

3403.33, y superando lo establecido para ECA sobre el riego de vegetales (15mg/L) de DBO₅, para (LMP) 500mg/L y (VMA) 500mg/L.

Según Carhuaricra (97), los resultados obtenidos en su investigación demuestran una reducción del parámetro DBO de 112.5 mg/L a 99.8 mg/L en 23.4 horas, 42.5 mg/L en 31.2 horas, 34.7 mg/L en 39 horas y 36.5 mg/L en 46.8 horas, se concluye que la reducción del DBO depende de la cantidad de tiempo que permanezca en el humedal. Asimismo, Chakrabarty *et al.* (21), obtuvo mejores resultados a los 15 días de tratamiento con *E. crassipes* donde su valor inicial fue de 920 mg/L reduciendo hasta 168mg/L (81.73%), y se corrobora la información anterior donde el tiempo de tratamiento tuvo un efecto significativo para la reducción del DBO. El efecto de las plantas en las aguas residuales provenientes del curtido tiene como resultado un aumento de oxígeno disuelto, que favorece la actividad microbiana aeróbica para reducir el DBO₅ (21).

CONCLUSIONES

Las aguas residuales provenientes del proceso de curtido analizadas presentaron valores de los parámetros físicos (pH, T°, C.E.) en conformidad con la normativa vigente. Sin embargo, los parámetros químicos (Cr Total, Cr VI, DBO₅) presentaron valores significativamente elevados, superando los límites estipulados por la normativa vigente.

La aplicación de Microorganismos Eficaces activados (EMa) en el tratamiento de 11 días y 23 días sin concentración de choque (10% EMa) y con concentración de choque (30% EMa); mostró un efecto diferencial entre las concentraciones aplicadas, más que por el tiempo de tratamiento. Así, los parámetros físicos presentaron valores mayores con el tratamiento sin concentración de choque (S/C), mientras que los parámetros químicos fueron mayores con el tratamiento con concentración de choque (C/C), lo que estaría relacionado con la toxicidad del cromo para los microorganismos de EMa.

La Fitorremediación con las especies *Lemna gibba* y *Eichhornia crassipes* por 10 y 22 días previamente tratadas con EMa S/C y C/C, mostró efecto del tiempo de tratamiento mayor que de la utilización o no, de una concentración de choque. Así, tanto los parámetros físicos y los químicos mostraron valores más altos a los 10 días de tratamiento y menores valores a los 22 días de tratamiento.

Finalmente, los resultados derivados a partir de esta investigación señalan que el tratamiento de biorremediación con EMa y fitorremediación tienen un efecto diferencial influido por la concentración de EMa aplicada, mostrando mayor eficiencia para los parámetros físicos la aplicación de EMa %; mientras que para la fitorremediación con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* el mejor tratamiento fue con las aguas previamente tratadas con concentración de choque en un periodo de 23 días.

RECOMENDACIONES

- Aplicar los microorganismos eficaces activados (EMa) en mayor concentración y con mayor frecuencia para lograr una mejor biorremediación
- Evaluar el efecto de los tratamientos en mayor tiempo de duración
- Se recomienda analizar el parámetro microbiológico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.** Organización Mundial de la Salud. [En línea] © Copyright Organización Mundial de la Salud (OMS), 21 de marzo de 2022. [Citado el: 22 de marzo de 2022.] <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.
2. **RODRÍGUEZ, P. y POVEDA, C.** *Diseño de un modelo costo-beneficio en la implementación de un sistema de fitorremediación de aguas residuales contaminadas con cromo en las curtiembres de san Benito sur de Bogotá.* Fundación Universitaria Los Libertadores. Bogotá : Repositorio Fundación Universitaria Los Libertadores, 2016. pág. 72, Tesis de grado.
3. **LARIOS, J., GONZÁLEZ, C. y MORALES, Y.** *Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú.* Lima : Saber y Hacer, Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL, 2015. págs. 09-25. Vol. 2. 23117613.
4. **CONDOR, M.** *Evaluación de los efluentes de la empresa Industria Peletera Peruana S.A.* Universidad Nacional Agraria de la Selva. Lima : Repositorio de Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2018. pág. 75, Tesis de grado.
5. **PINEDA, J.** *Evaluación del Potencial de Fitorremediación de *Isolepis cernua* y *Nasturtium aquaticum* para el tratamiento secundario de Efluentes de Curtiembre del Parque Industrial Río Seco - Arequipa.* Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa : Repositorio Institucional Universidad Nacional de San Agustín, 2019. pág. 148, Tesis de grado.
6. **ZEVALLOS, J.** *Determinación de Parámetros Físicoquímicos en Efluentes Industriales de Curtiembre de la Asociación de Pequeñas y Medianas Empresas de Curtiembres, Fábricas de Cola y Derivados del Cuero - Parque Industrial de Río Seco, Cerro Colorado - Arequipa, 2013.* Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa : Repositorio Institucional Universidad Nacional de San Agustín, 2015. pág. 137, Tesis de grado.
7. **FAIFE, E., y otros.** *Empleo de microorganismos eficientes como alternativa para el tratamiento de residuales.* La Habana : Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, 2018. págs. 30-40. Vol. 52.
8. **ESPIÑOZA, A.** *El agua, un reto para la salud pública La calidad del agua y las oportunidades para la vigilancia en Salud Ambiental.* Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia : Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia, 2018. págs. 1-194, Tesis de posgrado.
9. **MOROCHO, M.** *Tratamiento de aguas residuales de un Curtiembre en el canton cuenca mediante la aplicación dosificada de EMAs (Microorganismos Eficientes Autóctono).* Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador : Repositorio Institucional Universidad de Cuenca, 2017. págs. 1-75, Tesis de posgrado.
10. **ROSAS, Y.** *Caracterización y remoción de cromo (III) de aguas residuales de curtiembre del Parque Industrial de Río Seco utilizando hueso de olivo (*Olea europea*) procesado como biosorbente.* Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa : Repositorio Institucional Universidad Nacional de San Agustín, 2019. págs. 1-123, Tesis de grado.
11. **LAZO, E.** *Evaluación de la contaminación ambiental generada por efluentes industriales en el proceso productivo de una curtiembre de mediana capacidad del Parque Industrial de*

Rio Seco, Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa : Repositorio Institucional Universidad Nacional de San Agustín, 2017. págs. 1-114, Tesis de grado.

12. **MEDINA, L., y otros.** *Fitorremediación de cromo en efluente de curtiembre empleando *Eichhornia crassipes**. La Plata : Reportes Científicos de la FACEN, 2019. págs. 25-36. Vol. 10. 2222-145X.

13. **ZAPANA, S.** *Biorremediación de efluentes de curtiembres mediante hongos aislados del Parque Industrial de Rio Seco (PIRS) - Arequipa, en condiciones de Biorreactor Tipo Airlift*. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa : Repositorio Institucional Universidad Nacional de San Agustín, 2018. págs. 1-96, Tesis de grado.

14. **RODRÍGUEZ, M. y QUEZADA, A.** *Remoción de cromo en efluente de curtiembre por consorcio de levaduras del género *Saccharomyces* y *Pichia**. Trujillo : UCV -Scientia, 2019. págs. 81-91. Vol. 11.

15. **ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGROPECUARIA PARA LA INTRODUCCIÓN DE TECNOLOGÍAS APROPIADAS DE JAPÓN.** EEAITAJ. *Microorganismos Eficaces EM™*. [En línea] sf. de Setiembre de 2013. [Citado el: 20 de 10 de 2021.] <https://www.emuguay.org/>.

16. **JARAMILLO, M. y FLORES, E.** *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua) y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuencca. Cuenca : Repositorio Institucional Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuencca, 2012. págs. 1-128, Tesis de grado.

17. **DIERSING, N.** *Calidad del agua: Preguntas frecuentes. Santuario Marino Nacional de los Cayos de Florida*. [En línea] sf. de mayo de 2009. <https://nmsfloridakeys.blob.core.windows.net/floridakeys-prod/media/archive/scisummaries/wqfaq.pdf>.

18. **GOMEZ, B.** *Fitorremediación de cromo con plantas acuáticas flotantes: lineamientos para su implementación en la rehabilitación de cuerpos de agua*. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires : Repositorio Institucional Universidad de Buenos Aires, 2017. págs. 1-92, Tesis de grado.

19. **CHAUDHARY, E. y SHARMA, P.** *Eliminación de cromo y cadmio de aguas residuales utilizando lenteja de agua - *Lemna gibba* L. y deformación ultraestructural por toxicidad de metales*. s.l. : International Journal of Phytoremediation, 2019. págs. 279-286. Vol. 21. 1549-7879.

20. **CARREÑO, U.** *Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la *Eichhornia crassipes**. Cundinamarca : Revista Colombiana Biotecnología, 2016. págs. 74-81. Vol. 18.

21. **CHAKRABARTY, T., y otros.** *Fitorremediación de cromo y algunos parámetros químicos de efluentes de curtiduría mediante el uso de jacinto de agua*. Bangladesh : Research in Agriculture Livestock and Fisheries, 2017. Vol. 4. 151-156.

22. **ROMERO, T. y VARGAS, D.** *Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas*. La Habana : Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 2017. págs. 88-100. Vol. 38. 1815-591X.

23. **CALDERÓN, D., HUARANCCA, P. y DÍAZ, J.** *Tratamiento Aguas Residuales Mediante Tecnología de Microorganismos Eficientes - Substancjalla, Ica - Perú.* Ica : ÑAWPARISUN - Revista de Investigación Científica, 2019. págs. 13-18. Vol. 1.
24. **VÁSQUEZ, C.** *Efecto de los microorganismos eficientes en la disminución de la demanda biológica de oxígeno del agua residual domésticas Dren 3100.* Universidad César Vallejo. Chiclayo : Repositorio Institucional Universidad César Vallejo, 2019. págs. 1-74, Tesis de grado.
25. **AYALA, R., y otros.** *Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies Eichhornia crassipes, Nymphoides humboldtiana Nasturtium officinale.* Chachapoyas : Revista de Investigación agroproducción sustentable, 2018. Vol. 2. 2520-9760.
26. **ROJAS, L. y SUYON, E.** *Eficiencia de fitorremediación con jacinto de agua (Eichhornia crassipes) para disminuir concentraciones de arsénico en aguas del Centro Poblado Cruz del Medano - Morope - 2019.* Chiclayo : Repositorio Institucional Universidad de Lambayeque, 2020.
27. **VALENCIA, E.** *Efecto del pH y tiempo en fitorremediación de Cobre con Lemna minor del agua del río Suro, Santiago de Chuco.* Trujillo : Repositorio Institucional Universidad César Vallejo, 2017.
28. **CHAVARRY, M. y VALDERRAMA, A.** *Sistema de tratamiento de agua residual con Lemna minor para la absorción de Cromo en la etapa de curtido.* Trujillo : Repositorio Institucional Universidad César Vallejo, 2020.
29. **VARGAS, D.** *Uso de microorganismos eficientes para el tratamiento de aguas residuales provenientes de una embotelladora de bebidas carbonatadas y jugos en Sachaca - Arequipa 2020.* Arequipa : Repositorio Institucional Universidad Nacional de San Agustín, 2021.
30. **ZAPANA, S.** *Biorremediación de efluentes de Curtiembre mediante hongos aislados del Parque Industrial de Rio Seco (PIRS) - Arequipa, en condiciones de biorreactor tipo AIRLIFT.* Arequipa : Repositorio Institucional Universidad Nacional de San Agustín, 2018.
31. **ARIZABAL, V.** *Implementación de humedales artificiales para mejorar la calidad de las aguas residuales pre-tratadas de la industria del curtido de cuero en el Parque Industrial Rio Seco - Arequipa, 2017.* Arequipa : Repositorio Institucional Universidad Católica de Santa María, 2018.
32. **MENA, C. y EYZAGUIRRE, A.** *Efectos de la Eichhornia crassipes en la remoción de mercurio en efluentes minero provenientes de la minería artesanal (Secocha, 2019).* Arequipa : Repositorio Institucional Universidad Tecnológica del Perú, 2020.
33. **DELGADO, G.** *Evaluación del bio-tratamiento de fluidos residuales de la empresa Laboratorio Portugal S.R.L. mediante la Eichhornia crassipes (buchón de agua) para la remoción de elementos ecotóxicos (cromo, arsénico y cadmio) y materia orgánica.* Arequipa : Repositorio Institucional Universidad Nacional de San Agustín, 2020.
34. **INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ.** *Plataforma digital única del Estado Peruano . IGP recuerda la importancia del agua.* [En línea] 22 de 03 de 2022.
[https://www.gob.pe/institucion/igp/noticias/593963-igp-recuerda-la-importancia-del-agua.](https://www.gob.pe/institucion/igp/noticias/593963-igp-recuerda-la-importancia-del-agua)

35. **TREJO, J.** IAGUA. *¿El agua es para todos? Situación en el Perú.* [En línea] 12 de 09 de 2017. <https://www.iagua.es/blogs/jhon-trejo-rojas/agua-es-todos-situacion-peru>.
36. **MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE.** La Calidad de las Aguas. [aut. libro] Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría de Estado de Aguas y Costas. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. *Libro Blanco del Agua.* España : Centro de Publicaciones Secretaría general Técnica Ministerio de Medio Ambiente®, 2000.
37. **ESPACIO INTERDISCIPLINARIO, UDELAR.** Aguas Urbanas Núcleo Interdisciplinario. *Conceptos sobre monitoreo de calidad de agua.* [En línea] Espacio Interdisciplinario, Udelar, 17 de Noviembre de 2018. [Citado el: 20 de 01 de 2022.] <http://www.aguasurbanas.ei.udelar.edu.uy/index.php/2018/11/17/conceptos-sobre-monitoreo-de-calidad-de-agua/>.
38. **ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL - OEFA.** La Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales.* [En línea] Abril de 2014. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827.
39. **MINISTERIO DEL AMBIENTE.** Plataforma digital única del Estado Peruano. *Estándar de Calidad Ambiental.* [En línea] Octubre de 2019. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/308391-estandar-de-calidad-ambiental>.
40. **MINISTERIO DEL AMBIENTE - MINAM.** Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Disposiciones Complementarias. *Diario Oficial del Bicentenario El Peruano.* [En línea] 06 de Junio de 2017. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-estandares-de-calidad-ambiental-eca-para-agua-y-e-decreto-supremo-n-004-2017-minam-1529835-2/>.
41. **MINISTERIO DEL AMBIENTE.** Límite Máximo Permisible (LMP). *Bicentenario Perú 2021.* [En línea] 2021. <https://infoaireperu.minam.gob.pe/limite-maximo-permisible-imp/#:~:text=El%20L%C3%ADmite%20M%C3%A1ximo%20Permisible%20%E2%80%93%20LMP,bienestar%20humano%20y%20al%20ambiente..>
42. **MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN - PRODUCE.** D.S. N°003-2002-PRODUCE, Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. *Sistema Nacional de Información Ambiental.* [En línea] 04 de Octubre de 2002. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-limites-maximos-permisibles-valores-referenciales-las>.
43. **MINISTERIO DEL AMBIENTE.** Valores Máximos Admisibles . *Plataforma digital única del Estado Peruano.* [En línea] Abril de 2022. <https://www.gob.pe/12808-valores-maximos-admisibles-vma>.
44. **MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO - MVCS.** D.S. N°021-2009-VIVIENDA, Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. *Diario Oficial del Bicentenario El Peruano.* [En línea] 20 de Noviembre de 2009. http://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/DS_2009_021.pdf.
45. **SAMBONI, N., CARVAJAL, Y. y ESCOBAR, J.** *Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua.* Bogotá : Revsita Ingeniería e Investigación, 2007. págs. 172-181. Vol. 27. 0120-5609.

46. **COSTA, C.** *Evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la calidad del agua de efluentes del río Chillón durante los meses enero a junio 2019.* Lima : Repositorio Institucional Universidad Ricardo Palma, 2021.
47. **DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL - DIGESA.** *Parámetros Organolépticos.* Lima : MINISTERIO DE SALUD - MINSA.
48. **MAMANI, M.** *Parámetros fisicoquímicos, metales pesados (As y Pb), bacteriológicos y alternativas de saneamiento ambientales de fuentes de agua de la Comunidad Suches, distrito Caracoto, provincia San Román, región Puno, 2018.* Puno : Repositorio Institucional UNA-PUNO, 2019.
49. **HUERTA, R.** *Evaluación y diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café para mejorar los parámetros de temperatura, ph, conductividad eléctrica, DQO, DBO5 de las aguas miel en el Fundo Monterrico - San Juan de Cacaz.* Cerro de Pasco : Repositorio Institucional Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, 2020.
50. **INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS - INVEMAR.** Contenido de materia organica. [aut. libro] Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "Jose Benito Vives De Andreis" - INVEMAR. *MANUAL DE TECNICAS ANALITICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y CONTAMINANTES MARINOS (AGUA, SEDIMENTOS Y ORGANISMOS).* Santa Marta - Magdalena, Colombia : Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR, 2003.
51. **PAZ, O.** *Biorremoción de cromo total en los efluentes de curtiembres, empleando vainas de arverjas Pisum Sativum L. para obtener agua categoría 3 D 2 D.S. 004-2017 MINAM. en Arequipa 2018.* AREQUIPA : REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN, 2020.
52. **MENESES, Y., BETANCUR, J. y PATIÑO, P.** *Remoción de cromo en agua residuales industriales mediante el uso de biomasa de Spirulina sp, sedimentación primaria y precipitación de química.* Manizales, Caldas : Revista de investigación agraria y ambiental - RIAA, 2019. págs. 141-152. Vol. 10. 21456097.
53. **LOMBEIDA, L.** *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para una empresa de curtiembre.* Quito : Repositorio Institucional Universidad Central del Ecuador, 2017.
54. **MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN - PRODUCE.** *Resolución Directoral No. 00296-2020-PRODUCE/DGAAMI. 00087406-2018 - E, Perú : Dirección General de Asuntos Ambientales de Industria, 2020.*
55. **MERCHÁN, J.** *Planta de tratamiento de efluentes para los procesos del área húmeda en la tenería INCA CIA. LTDA de la ciudad de AMBATO.* Ambato : Repositorio Institucional Universidad Técnica de Ambato, 2015.
56. **SIGMA DAF CLARIFIERS.** SIGMA . *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE CURTIDO. APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS SIGMA DAF.* [En línea] SIGMA , 01 de 07 de 2021. <https://sigmadafclarifiers.com/es/articulos-tecnicos/tratamiento-de-aguas-de-curtiembres>.

57. **ARTIGA, P.** *Contribución a la mejora del tratamiento biológico*. Santiago de Compostela : REPOSITORIO DE UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA, 2005.
58. **PORTADA, A.** *Tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido en pieles por procesos físico-químico de la curtiembre de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-PUNO*. Puno : Repositorio Institucional Universidad Nacional del Altiplano, 2016.
59. **GUTIERREZ, A.** *Mejoramiento de la Planta de Tratamiento de aguas residuales San José para el reúso con fines agrícolas-Chiclayo-2015*. Huaraz : Repositorio Institucional Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2019.
60. **CARTAGENA, M.** *Biorremediación en aguas residuales contaminadas con cianuro y mercurio generadas en el proceso de la minería aurífera en Colombia, a partir de una revisión bibliográfica entre los años 2008-2018*. Medellín : Repositorio Institucional Universidad de Antioquia, 2019.
61. **CCOLQUE, Y. y VARGAS, A.** *Biorremediación de suelos contaminados por Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP's) mediante el método de biopilas con dos tipos de sustrato (tierra y abonos orgánicos)*. Arequipa : Repositorio Institucional Universidad Católica de Santa María, 2017.
62. **EM PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA S.A. - EMPROTEC.** *Guía de la Tecnología de EM*. San Juan de Tibás, Costa Rica : EMPROTEC, s.f.
63. **GONZALES, E. y QUISPE, R.** *Influencia de los microorganismos eficaces (EM) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en el distrito de Huancavelica en el 2020*. Huancavelica : Repositorio Institucional Universidad Nacional de Huancavelica, 2020.
64. **LUNA, M. y MESA, J.** *Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores*. Cuba : Revista Científica Agroecosistemas, 2017. págs. 31-40. Vol. 4. 2415-2862.
65. **ORTEGA, S. y SÁNCHEZ, D.** *Evaluación de la capacidad de remoción de cromo de *Eichhornia crassipes* y *Azolla sp.* con miras a su aplicación como tratamiento complementario de aguas residuales de la industria galvanotécnica*. Bogotá : Repositorio Institucional Universidad de la Salle, 2019.
66. **DELGADILLO, A., y otros.** *Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación*. Mérida, Yucatán : Tropical and Subtropical Agroecosystems, 2011. págs. 597-612. Vol. 14. 1870-0462.
67. **CORTÉS, P. y FLOREZ, J.** *Evaluación in vitro de la taruya (*Eichhornia crassipes*) como agente biorremediador en aguas contaminadas con cromo*. Cartagena de Indias : Repositorio Institucional Universidad de San Buenaventura Seccional Cartagena, 2017.
68. **JIMÉNEZ, J.** **Eichhornia crassipes* y su uso en técnicas de aprovechamiento y fitorremediación de cuerpos de agua*. Bogotá : Repositorio Institucional Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, 2021.
69. **BAYÓN, S.** *Aplicación de la fitorremediación a suelos contaminados por metales pesados*. Madrid : Repositorio Institucional Universidad Complutense, 2015.
70. **MUÑOZ, L., y otros.** *Fitorremediación como una alternativa para el tratamiento de suelos contaminados*. Juárez, Chihuahua : TOCTLI - Revista Internacional de Ciencia y Tecnología Biomédica, 2010. págs. 1-9. Vol. 1.

71. **CARREÑO, U. y RODRIGUEZ, C.** *Eichhornia crassipes (Mart.) Solms: Un sistema integral de fitorremediación y bioenergía*. Bogotá : Revista Chapingo Serie Forestales y del Ambiente, 2019. págs. 400-411. Vol. 25.
72. **SISTEMA DE INFORMACIÓN SOBRE BIODIVERSIDAD SIB.** Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia. *Catálogo de la Biodiversidad Eichhornia crassipes*. [En línea] <https://catalogo.biodiversidad.co/file/56e7831683c45700544e4085/details>.
73. **CONDORI, E.** *Capacidad de adsorción del carbón activado obtenido a partir de Lemna Gibba (lenteja de agua) frente a disoluciones acuosas de arsénico (As)*. Juliaca : Repositorio Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez UANCV, 2019.
74. **BANCO DE DATOS DE BIODIVERSIDAD DE CANARIAS.** Banco de Datos de Biodiversidad de Canarias. *Lemna gibba L.* [En línea] <https://www.biodiversidadcanarias.es/biota/especie/F01872>.
75. **MARTELO, J. y LARA, J.** *Macrófitas flotantes en el tratameinto de aguas residuales: una revisión del estado del arte*. Medellín : Ingeniería y Ciencia, 2012. págs. 221-243. Vol. 8. 1794–9165.
76. **DE ANDA VALADES, L.** iAgua. *Tiempo de retención hidráulico (TRH) en plantas de agua potable*. [En línea] 19 de 11 de 2021. <https://www.iagua.es/blogs/luis-anda-valades/tiempo-retencion-hidraulico-trh-planta-agua>.
77. **VERGARA, R.** *Diseño de biofiltros para mejorar en manejo de aguas residuales domésticas*. Cajamarca : Repositorio Universidad Privada del Norte, 2021.
78. **HIDALGO, N.** *Tipos funcionales (fenomorfología y ecomorfología) de la flora y vegetación serpentinícola mediterránea en Andalucía y California*. Málaga - España : Publicaciones y Divulgaciones Científica. Universidad de Málaga, 2016.
79. **FIGUEROA, A., RAMÍREZ, H. y ALCALÁ, J.** *Introducción a la metodología experimental*. México : Pearson Educación de México, S.A. de C.V., 2014. 978-607-32-2221-1.
80. **BAUTISTA, M.** *Manual de Metodología de Investigación*. Caracas : TALITIP S.R.L., 2009. 9 8 0 -07-8119-6.
81. **MARFULL, A.** FILATURA URBANA. *El método hipotético deductivo de Karl Popper*. [En línea] Marzo de 2017. <https://andreumarfull.com/2019/12/18/el-metodo-hipotetico-deductivo/>.
82. **HERNÁNDEZ, R.** *Metodología de la Investigación*. México : McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014. 978-1-4562-2396-0..
83. **TACILLO, E.** *Metodología de la Investigación Científica*. Lima : Universidad Jaime Bausate y Meza, 2016.
84. **ÑAUPAS, H., y otros.** *Metodología de la investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis*. Bogotá : Ediciones de la U, 2018. 978-958-762-876-0.
85. **GARLAND, J.** *Coupling plant growth and waste recycling systems in a controlled life support system (CELSS)*. Florida, United States : NTRS - NASA Technical Reports Server, 1992.

86. **YOUNAS, F., y otros.** *Humedales construidos como una tecnología sostenible para el tratamiento de aguas residuales con énfasis en aguas residuales de curtiduría ricas en cromo.* s.l. : Journal of Hazardous Materials, 2022. Vol. 422. 0304-3894.
87. **YADAV, P, y otros.** *Reducción de la carga de contaminación de los efluentes de curtiduría mediante el enfoque de inmovilización celular utilizando intermedio de Ochrobactrum.* Uttar Pradesh : Journal of Water Process Engineering, 2021. Vol. 41. 2214-7144.
88. **VERMA, T., y otros.** *Avances en el tratamiento biológico de aguas residuales industriales y su reciclaje para un futuro sostenible.* Singapore : © Springer Nature Singapur Pte Ltd, 2019. págs. 51-90. 978-981-13-1468-1.
89. **APPIAH, M., y otros.** *Aguas residuales de tenerías artesanales: cantidad y características.* Kumasi, Ghana : Heliyón, 2021. Vol. 8.
90. **DESSIE, B., y otros.** *Caracterización fisicoquímica y análisis de metales pesados de vertidos industriales en la cuenca superior del río Awash, Etiopía.* Addis Ababa : Toxicology Reports, 2022. págs. 1297 - 1307. Vol. 9. 2214-7500.
91. **MPOFU, AB., OYEKOLA, O. y WELZ, PJ.** *Tratamiento anaeróbico de aguas residuales de tenerías en el contexto de una bioeconomía circular para países en desarrollo.* s.l. : Journal of Cleaner Production, 2021. Vol. 296. 0959-6526.
92. **GUANILO, R., y otros.** *Microorganismos eficientes en la descontaminación de agua subterránea y su implicancia en la producción y calidad de lechuga hidropónica.* Tumbes : Manglar, 2021. págs. 77-82. Vol. 18.
93. **ROMERO, T. y VARGAS, D.** *Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas.* La Habana : Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 2017. págs. 88-100. Vol. 38. 1815-591X.
94. **VALDEZ, A.** *Aplicación de microorganismos eficaces (EM) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la localidad de Chucuito.* Puno, Universidad Nacional del Altiplano. Puno : Repositorio Institucional UNA - PUNO, 2016. págs. 1-145, Tesis de grado.
95. **DELGADO, P., y otros.** *Biorremediación de Cromo VI mediante el uso de Rhodopseudomonas palustris en efluentes industriales provenientes de curtiembres.* Arequipa : Revista Boliviana de Química, 2020. págs. 21-27. Vol. 37.
96. **LIBERATO, N.** *Microorganismos eficientes y su efecto en el tratamiento de lixiviados generados en el proceso de compostaje en el centro ecoturístico de protección ambiental "Santa Cruz" - CEPASC, Concepción, 2019.* Universidad Continental. Huancayo : Repositorio Institucional Continental, 2020. págs. 1-154, Tesis de grado.
97. **CARHUARICRA, F.** *Fitorremediación por el proceso de Fitodegradación con dos especies macrófitas acuáticas, para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la laguna facultativa en la localidad de Pacaypampa, distrito de Santa María del Valle, Agosto-Setiembre 2018.* Universidad de Huánuco. Huánuco : Repositorio Institucional Universidad de Huánuco, 2019. págs. 1-155, Tesis de grado.
98. **CARRANZA, J. y ROMERO, W.** *Efecto de la concentración y tiempo de contacto de tres biomásas de Lemna minor en la biorremediación de aguas residuales.* Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque : Repositorio UNPRG, 2020. págs. 1-60, Tesis de grado.

99. **CANALES, A.** *Evaluación de la Biomasa y manejo de Lemna gibba (Lenteja de -agua) en la bahía interior del Lago Titicaca, Puno.* Lima : Ecología Aplicada, 2010. págs. 91-99. Vol. 9. 1726-2216 .
100. **SASMAZ, A., METE, I. y SASMAZ, M.** *Eliminación de Cr, Ni y Co en el agua de las áreas mineras de cromo mediante el uso de Lemna gibba Tierra Lemna minor L.* Turquía : Revista Agua y Medio Ambiente CIWEM, 2016. págs. 1-8. 1747-6585.
101. **PARRA, F.** *Rizofiltración de aguas de riego agrícola contaminados por metales pesados en comunidades del municipio de Atlixco, Puebla.* Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla : Repositorio Institucional BUAP, 2017. págs. 1-153, Tesis de posgrado.

ANEXOS

ANEXO I. Ubicación del Centro de Investigaciones DIVA-VIDA E.I.R.L.



ANEXO II. Ubicación Industria de Curtiembre Pacheco S.R.L.TDA



ANEXO III. Punto de recolección de *Eichhornia crassipes*

PUNTO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRA.



ANEXO IV. Punto de recolección *Lemna gibba*



ANEXO V. Constancia de Determinación de Muestra – Especie *Eichhornia crassipes*.



INSTITUTO CIENTÍFICO MICHAEL OWEN DILLON (IMOD)

Investigación, Conservación, Educación y Transformación de Recursos

Reconocido por Resolución de Dirección General Nro. 140-2016-SERFOR/DGCSPPFFS



"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

**CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN DE MUESTRAS
N° 017-2021**

El Director del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD).

HACE CONSTAR:

Que la muestra presentada por DIVA-VIDA E.I.R.L., recolectada en el distrito de Dean Valdivia, provincia de Islay, departamento de Arequipa con coordenadas L.S. 17°07'11.91" y L.O. 71°53'24.87", para la realización del proyecto de investigación: "Tratamiento de aguas residuales de curtiembres del PIRS, Cerro Colorado - Arequipa, con sistema mixto de biorremediación con diferentes concentraciones de EM-Agua y fitorremediación con *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) y/o *Lemna sp.* (lenteja de agua) de diferente zona de procedencia", fue determinada taxonómicamente en las instalaciones del Herbario del Instituto Científico Michael Owen Dillon, "Herbario Sur Peruano" (HSP), y corresponde a:

Clase: Equisetopsida C. Agardh

Subclase: Magnoliidae Novák ex Takht.

Orden: Commelinales Mirb. ex Bercht. & J. Presl

Familia: Pontederiaceae Kunth

Género: *Eichhornia* Kunth

Especie: *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms

La clasificación se ha realizado según la propuesta por: *Angiosperm Phylogeny Group (APG) IV* en "An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV" (2016).

Se expide la presente, a solicitud del interesado, para los fines que estime convenientes.

Arequipa, 24 de setiembre del 2021



Dr. Elgo Víctor Quipuscoa Silvestre

C. B. P. N° 2486

Director del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD)

Herbario Sur Peruano (HSP)

vquipuscoa@hotmail.com

vquipuscoa@imod.org.pe



Dirección: Av. Jorge Chávez No. 610 Cercado, Arequipa - Perú
Página web: <http://www.imod.org.pe/>
Correo: imod.per@gmail.com



INSTITUTO CIENTÍFICO MICHAEL OWEN DILLON (IMOD)

Investigación, Conservación, Educación y Transformación de Recursos

Reconocido por Resolución de Dirección General Nro. 140-2016-SERFOR/DGCSPPFFS



"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

**CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN DE MUESTRAS
N° 015-2021**

El Director del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD),

HACE CONSTAR:

Que la muestra presentada por por DIVA-VIDA E.I.R.L., recolectada en provincia de Puno, departamento de Puno con coordenadas L.S. 15°50'07.1" y L.O. 70°00'54.1", para la realización del proyecto de investigación: "Tratamiento de aguas residuales de curtiembres del PIRS, Cerro Colorado – Arequipa, con sistema mixto de biorremediación con diferentes concentraciones de EM-Agua y fitorremediación con *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) y/o *Lemna sp.* (lenteja de agua) de diferente zona de procedencia", fue determinada taxonómicamente en las instalaciones del Herbario del Instituto Científico Michael Owen Dillon, "Herbario Sur Peruano" (HSP), y corresponde a:

Clase: Equisetopsida C. Agardh

Subclase: Magnoliidae Novák ex Takht.

Orden: Alismatales R. Br. ex Bercht. & J. Presl

Familia: Araceae Juss.

Género: *Lemna* L.

Especie: *Lemna gibba* L.

La clasificación se ha realizado según la propuesta por: *Angiosperm Phylogeny Group (APG) IV* en "An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV" (2016).

Se expide la presente, a solicitud del interesado, para los fines que estime convenientes.

Arequipa, 24 de setiembre del 2021



Dr. Elgo Victor Quipuscoa Silvestre

C. B. P. N° 2486

Director del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD)

Herbario Sur Peruano (HSP)

vquipuscoa@hotmail.com

vquipuscoa@imod.org.pe



Dirección: Av. Jorge Chávez No. 610 Cercado, Arequipa - Perú

Página web: <http://www.imod.org.pe/>

Correo: imod.per@gmail.com

EM•AGUA - FICHA TÉCNICA

TRATAMIENTO DE AGUAS



DESCRIPCIÓN

Es un producto de origen natural, probiótico compuesto por microorganismos beneficiosos y altamente eficientes. No son patógenos, no están genéticamente modificados, ni químicamente sintetizados. Están presentes en la naturaleza. Son Levaduras, Bacterias Ácido-lácticas y Bacterias Fotosintéticas, juntos aceleran la descomposición natural de materia orgánica mediante un proceso de fermentación antioxidante, contribuyendo a la regeneración y equilibrio de la flora microbiana en el ecosistema.

¿CÓMO FUNCIONA?

Promueve la rápida descomposición de la materia orgánica, acelerando la ruptura de compuestos como proteínas, azúcares, grasas, minerales y fibras, a través de un proceso de fermentación (y no de putrefacción). Los microorganismos contenidos en EM-Agua son facultativos, trabajan en ambientes aeróbicos y anaeróbicos.

Principios de acción:

A) Balance de microorganismos: Exclusión competitiva de microorganismos nocivos que causan malos olores e ineficiencia del sistema acuático.

B) Producción de sustancias bioactivas benéficas como enzimas, vitaminas, ácidos orgánicos, aminoácidos, hormonas y antioxidantes. Las cuales promueven la sanitización y desinfección del ecosistema.

OBJETIVOS, USOS Y BENEFICIOS:

Objetivos:

- Restaurar el equilibrio natural de cualquier sistema acuático, trayendo consigo efectos benéficos y sostenibles a largo plazo y en corto tiempo.

Usos:

- Efluentes resultantes de producción agrícola, animal y aguas negras domiciliarias (reutilización como riego en la agricultura).
- Descontaminación de Lagunas y Ríos (Bolas de Barro Fermentadas).

ACTIVACIÓN DE EM-AGUA®

EM-Agua® es concentrado y los microorganismos contenidos están en estado de latencia, por esta razón deben ser activados antes de usar.

1 Lt. EM-Agua® rinde 20 Lt. de EM-Agua® Activado o EMa

Activación:

1. En un recipiente plástico agregar:
 - 90% de agua limpia y sin cloro a temperatura de 34° a 40°.
 - 5% de caña de azúcar
 - 5% de EM-Agua
2. Revolver con un tubo de PVC hasta formar una solución homogénea y tapar herméticamente.
3. Dejar fermentar de 5 a 7 días en un lugar cálido o protegido del frío.

Durante la fermentación se produce gas y es necesario eliminarlo abriendo el recipiente apenas los suficiente cada vez que sea necesario o bien instalando una trapa de gases. En envases mayores a los 1.000 Lts esta liberación no es necesaria.

EM-Agua Activado (EMa) está listo para usar cuando su Ph esté bajo 3,6, o cuando presente olor agríndice agradable y exista un cambio de color café oscuro a café anaranjado.

EMa debe utilizarse durante los 60 días siguientes a su fecha de activación, de lo contrario pierde eficacia.

Beneficios:

- Digiere rápidamente la materia orgánica, y consecuentemente reduce el DBO y DQO.
- Reduce eficazmente la concentración de coliformes.
- Reduce eficientemente gases nocivos como amoníaco, hidrógeno sulfhídrico, etc.

- Reduce las poblaciones de microorganismos patógenos.
- Estabiliza el Ph.
- Incrementa el Oxígeno Disuelto.
- Reduce significativamente el lodo sedimentado.
- Evita la construcción de sistemas caros y de alta mantenimiento para el tratamiento de los efluentes.
- Reduce la necesidad de uso de productos químicos.



contacto@biopunto.cl
fono: (56) 9 6494 3978
www.biopunto.cl - www.emrojan.com

EM•AGUA - FICHA TÉCNICA

TRATAMIENTO DE AGUAS



APLICACIONES:

1	2	3
CHOQUE	ESTABILIZACIÓN	MANTENIMIENTO
Una sola aplicación al sistema	Aplicaciones diarias de 4 a 6 meses al caudal de ingreso	Aplicaciones diarias al caudal de ingreso
Las dosis en cada etapa dependerán de las características del sistema		

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GENERALES

Composición:

- Agua purificada,
- Melaza de caña de azúcar,
- Bacterias Ácido Lácticas (*Lactobacillus spp*)
- Bacterias Fotosintéticas (*Rhodospseudomonas spp*)
- Levaduras (*Saccharomyces spp*)

Características Físico-Químicas y biológicas:

- EM-Agua® es un producto natural, no es tóxico, ni corrosivo, ni radioactivo, ni inflamable, ni volátil.
- Periodo de carencia: Ninguno
- Presentación: Suspensión homogénea líquida.
- Color y olor: Café anaranjado, olor agrídulce agradable y ligeramente ácido.
- Densidad: 1,02 g / cm³.
- PH: 3,0-3,6.
- Almacenamiento: Envase plástico con cierre hermético a temperatura ambiente y protegido del sol.
- Vencimiento: 1 año a partir de la fecha de fabricación.

Autorizado para uso de agricultura orgánica - Visado SAC

ÍNDICES DE EFICIENCIA - MÍNIMO 3 MESES



Notas:

- Cuanto más microorganismos eficaces hay en el sistema, más eficiente y rápido será el proceso de restauración.
- Al aplicar EM-Agua® en las lagunas de oxidación, los microorganismos benéficos comienzan a poblar el lugar, reduciendo la cantidad de microorganismos perjudiciales de una forma progresiva. Los efectos positivos de esta acción no se verán en forma inmediata, sino con el tiempo, puesto que el tratamiento es de tipo biológico.
- Los primeros cambios de la calidad de agua se verán al menos 1 mes después de la primera aplicación de EM-Agua®. Con el tiempo, los microorganismos benéficos se establecerán en la laguna.
- Aproximadamente unos 10 días después de aplicación de EM-Agua® flotará una nata y/o se generarán gases, esto ocurre cuando hay lodos sedimentados, y el DBO puede subir pero a los 15 a 20 días empezará a bajar.
- Para adaptarse a las necesidades de cada caso es necesario consultar por asistencia personalizada.



contacto@biopunto.cl
fono: (56) 9 6494 3978
www.biopunto.cl - www.emrojan.com

EM•AGUA - FICHA TÉCNICA

TRATAMIENTO DE AGUAS



RECOMENDACIONES Y PRECAUCIONES:

- El EM-Agua es producto Biológico, biodegradable.
- No se debe mezclar con productos químicos ni desinfectantes.

Activación

- Si el agua ha sido tratada con cloro, es necesario almacenarla en un recipiente abierto y exponerla a luz solar por al menos 12 horas antes de usarla para activar.
- En la activación, la temperatura de la mezcla no deberá superar los 40 °C
- El contenedor y el sistema de aplicación deben estar perfectamente limpios, preferentemente nuevos, sin residuos químicos de aplicaciones anteriores.
- Si el ph es superior a 4.0 y presenta mal olor, hubo contaminación y la solución debe ser desechada.

Almacenamiento

- Use recipientes con tapas que permitan el cierre hermético para evitar la entrada de aire.
- Para almacenar no use envases que puedan ser confundidos con bebidas.
- No almacenar bajo el sol, polvo, y con productos químicos o tóxicos.
- Si no ocupa todo el producto, el sobrante debe re-ensarlo de manera que no quede con aire.
- El EM-Agua® Activado (EMa) dura 60 días.
- En caso de derrames, lavar con abundante agua.



contacto@biopunto.cl
fono: (56) 9 6494 3978
www.biopunto.cl - www.emrojan.com

ANEXO VIII. Informe de ensayos BHIOS – Determinación Basal de Cromo



INFORME DE ENSAYOS Nº 5295- 2021
PÁGINA 2 DE 2

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL DE CURTIEMBRE - BASAL EFLUENTE Basal ARIC	UNIDADES
FQ	Elemento: Cr	48.99	mg/L

ABREVIATURAS:

mg/L

Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Elemento Cr

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA-AWWA-WEF, Part 2001, Method 2111-B, Method Flame-Absorbance Absorption Spectrophotometry, Direct-Air-Acetylene Flame Method, Pag. 1-17, 23rd Ed. 2017.

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 23/09/2021 al 30/09/2021

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 30/09/2021



[Signature]
BIO. Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe

RP106-F-05-E Versión 01 Fecha de Emisión: 27/03/19 Elaborado por: GT / Revisado por: GAC / Aprobado por: GG Página 2 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51 (0)54 273320 / 274515 RPC 983768883 RPM #954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ... calidad a su servicio

ANEXO IX. Informe de ensayos BHIOS – Determinación Basal de Cromo VI



INFORME DE ENSAYOS Nº 5296- 2021
PÁGINA 2 DE 2

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL DE CURTIEMBRE - BASAL EFLUENTE Basal ANC	UNIDADES
FQ	Cromo Hexavalente	30.00	mg/L

ABREVIATURAS:

mg/L

Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS:

Cromo Hexavalente

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWSA-WEF, Part 200, Method 200-D-9, Chroman Colorimetric Method 21st Ed. 2017.

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 23/08/2021 al 01/10/2021

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 01/10/2021



Bto. Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe

ANEXO X. Informe de ensayos BHIOS – Determinación Basal de DBO₅



BHIOS
LABORATORIOS

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



INACAL
01 - Perú
Instituto de Normalización y Certificación

Registro N° 12-001

INFORME DE ENSAYOS N° 5297- 2021
PÁGINA 2 DE 2

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL DE CURTIEMBRE - BASAL EFLUENTE Basal ARIC	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	4190	mg/L

ABREVIATURAS:
mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-1899-A-07 Part 2005 5210-5 Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 day BOD Test 22nd Ed. 2017.

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : MB 23/09/2021 al 28/09/2021

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 29/09/2021


 Srno. Miguel Valdivia Martínez
 Gerente Técnico



Fin del Informe



PRP-06-F-06-01 Versión: 01 Fecha de Emisión: 27/03/19 (Elaborado por: QT / Revisado por: CAC / Aprobado por: DG) Página 2 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
 Teléfono: ++51 (0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
 e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS - calidad a su servicio

ANEXO XI. Informe de Ensayos BHIOS – EMa 11 S/C y C/C



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-855



INFORME DE ENSAYOS N° 5531 - 2021
PÁGINA 2 DE 3

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE AR-EM10-11 DIAS (1)	UNIDADES
MB	Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	3530	mg/L
PQ	Cromo Hexavalente*	8.37	mg/L
PQ	Elemento Cr*	11.17	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Cromo Hexavalente

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000, Method 3000-D-8 Chromium, Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5000, 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-day BOD Test, 23rd Ed. 2017.

Elemento Cr

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000, Method 2111-B, Mercury Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE AR-EM10-11 DIAS (2)	UNIDADES
MB	Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	4055	mg/L
PQ	Cromo Hexavalente*	9.96	mg/L
PQ	Elemento Cr*	11.14	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Cromo Hexavalente

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000, Method 3000-D-8 Chromium, Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5000, 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-day BOD Test, 23rd Ed. 2017.

Elemento Cr

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000, Method 2111-B, Mercury Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE AR-EM10-11 DIAS (3)	UNIDADES
MB	Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	2675	mg/L
PQ	Cromo Hexavalente*	8.37	mg/L
PQ	Elemento Cr*	10.56	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Cromo Hexavalente

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000, Method 3000-D-8 Chromium, Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5000, 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-day BOD Test, 23rd Ed. 2017.

Elemento Cr

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000, Method 2111-B, Mercury Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

PPP-067-05-E Versión: 01 Fecha de Emisión: 27/03/19 Elaborado por: QT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG Página: 2 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51 (0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 5531 - 2021
PÁGINA 3 DE 3

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 04/10/2021 al 16/10/2021

MB 04/10/2021 al 09/10/2021

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 16/10/2021



[Signature]
Ing. Manuel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe



PPP-06-F-05-E Versión: 01 Fecha de Emisión: 27/03/19 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG Página: 3 de 3

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51 (0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...entidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...entidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...entidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 5555- 2021
PÁGINA 2 DE 3

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE EMC-10-11 DIAS (1)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	4655	mg/L
FQ	Cromo Hexavalente*	29.70	mg/L
FQ	Elemento Cr*	31.14	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Cromo Hexavalente

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5000, Method 5000-C-6 Chromatic Colometric Method, 23rd Ed. 2017.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5000, 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5-day BOD Test, 23rd Ed. 2017.

Elemento Cr

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000, Method 3111-B Wet Oxidation Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE EMC-10-11 DIAS (2)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	5430	mg/L
FQ	Cromo Hexavalente*	20.40	mg/L
FQ	Elemento Cr*	35.16	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Cromo Hexavalente

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5000, Method 5000-C-6 Chromatic Colometric Method, 23rd Ed. 2017.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5000, 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5-day BOD Test, 23rd Ed. 2017.

Elemento Cr

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000, Method 3111-B Wet Oxidation Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE EMC-10-11 DIAS (3)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	5790	mg/L
FQ	Cromo Hexavalente*	12.75	mg/L
FQ	Elemento Cr*	19.20	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Cromo Hexavalente

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5000, Method 5000-C-6 Chromatic Colometric Method, 23rd Ed. 2017.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5000, 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5-day BOD Test, 23rd Ed. 2017.

Elemento Cr

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000, Method 3111-B Wet Oxidation Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

INFORME DE ENSAYOS N° 5555- 2021
PÁGINA 3 DE 3

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 05/10/2021 al 16/10/2021
MB 05/10/2021 al 10/10/2021
FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 16/10/2021



[Handwritten Signature]
Bto. Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe



BHIOS LABORATORIOS ... calidad a su servicio

ANEXO XII. Informe de Ensayos BHIOS – Fito 10 S/C y C/C



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



Registro 07-12-000

INFORME DE ENSAYOS N° 5748- 2021
PÁGINA 2 DE 4

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE EMS10/Fito216aa (1)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	2850	mg/L
FQ	Cromo Hexavalente*	43.40	mg/L
FQ	Elemento Cr*	54.26	mg/L

ABREVIATURAS :
mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :
Cromo Hexavalente

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000 Method 3000-C-5 Chromium Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.

Demanda Bioquímica de Oxígeno

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5000 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 day BOD Test, 23rd Ed. 2017.

(DBO₅)

Elemento Cr

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000 Method 3111-G. Mercury Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag. 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE EMS10/Fito216aa (2)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	2790	mg/L
FQ	Cromo Hexavalente*	52.70	mg/L
FQ	Elemento Cr*	65.85	mg/L

ABREVIATURAS :
mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :
Cromo Hexavalente

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000 Method 3000-C-5 Chromium Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.

Demanda Bioquímica de Oxígeno

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5000 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 day BOD Test, 23rd Ed. 2017.

(DBO₅)

Elemento Cr

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000 Method 3111-G. Mercury Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag. 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE EMS10/Fito216aa (3)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	4080	mg/L
FQ	Cromo Hexavalente*	55.50	mg/L
FQ	Elemento Cr*	65.00	mg/L

ABREVIATURAS :
mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :
Cromo Hexavalente

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000 Method 3000-C-5 Chromium Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.

Demanda Bioquímica de Oxígeno

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5000 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 day BOD Test, 23rd Ed. 2017.

(DBO₅)

Elemento Cr

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000 Method 3111-G. Mercury Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag. 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

INFORME DE ENSAYOS N° 5748- 2021
PÁGINA 3 DE 4

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE EMC19/Fto216ias (1)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	3330	mg/L
FG	Cromo Hexavalente*	51.10	mg/L
FG	Elemento Cr*	63.89	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Cromo Hexavalente

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3005 Method 3005-Cr 5 Chromium Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.

Demanda Bioquímica de Oxígeno

(DBO₅)

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5005 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 day BOD Test, 23rd Ed. 2017.

Elemento Cr

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3005 Method 2111-B. Mercuric Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag. 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE EMC19/Fto216ias (2)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	3620	mg/L
FG	Cromo Hexavalente*	43.93	mg/L
FG	Elemento Cr*	54.93	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Cromo Hexavalente

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3005 Method 3005-Cr 5 Chromium Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.

Demanda Bioquímica de Oxígeno

(DBO₅)

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5005 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 day BOD Test, 23rd Ed. 2017.

Elemento Cr

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3005 Method 2111-B. Mercuric Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag. 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE EMC19/Fto216ias (3)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	3795	mg/L
FG	Cromo Hexavalente*	44.40	mg/L
FG	Elemento Cr*	55.52	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Cromo Hexavalente

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3005 Method 3005-Cr 5 Chromium Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.

Demanda Bioquímica de Oxígeno

(DBO₅)

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5005 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 day BOD Test, 23rd Ed. 2017.

Elemento Cr

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3005 Method 2111-B. Mercuric Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag. 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

INFORME DE ENSAYOS N° 5748- 2021
PÁGINA 4 DE 4

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 14/10/2021 al 21/10/2021

MB 14/10/2021 al 19/10/2021

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 21/10/2021



[Handwritten Signature]

Ing. Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe

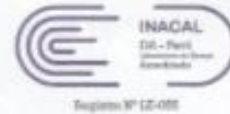


BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

ANEXO XIII. Informe de Ensayos BHIOS – EMa 23 S/C y C/C



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



INFORME DE ENSAYOS N° 5833- 2021
PÁGINA 2 DE 4

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE EM516-23das (1)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	2480	mg/L
FG	Cromo Hexavalente*	52.87	mg/L
FG	Elemento Cr*	61.97	mg/L

ABREVIATURAS :
mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :
Cromo Hexavalente : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2000, Method 2000-C-8, Chromium, Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2000, 5210-B, Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5 day BOD Test, 23rd Ed. 2017.
Elemento Cr : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2000, Method 2111-B, Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag.3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :
* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE EM510-23das (2)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	2500	mg/L
FG	Cromo Hexavalente*	51.90	mg/L
FG	Elemento Cr*	61.06	mg/L

ABREVIATURAS :
mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :
Cromo Hexavalente : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2000, Method 2000-C-8, Chromium, Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2000, 5210-B, Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5 day BOD Test, 23rd Ed. 2017.
Elemento Cr : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2000, Method 2111-B, Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag.3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :
* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE EM516-23das (3)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	2640	mg/L
FG	Cromo Hexavalente*	60.70	mg/L
FG	Elemento Cr*	58.85	mg/L

ABREVIATURAS :
mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :
Cromo Hexavalente : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2000, Method 2000-C-8, Chromium, Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2000, 5210-B, Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5 day BOD Test, 23rd Ed. 2017.
Elemento Cr : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2000, Method 2111-B, Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag.3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :
* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

INFORME DE ENSAYOS N° 5833-2021
PÁGINA 3 DE 4

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE ENC10-2366a (1)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	3055	mg/L
FQ	Cromo Hexavalente*	49.05	mg/L
FQ	Elemento Cr	57.71	mg/L

ABREVIATURAS :
mg/L

Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :
Cromo Hexavalente

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2005, Method 2005-C-8, Chroman Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2005, 5210-B, Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5-day BOD Test, 23rd Ed. 2017.

Elemento Cr

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2005, Method 2111-B, Wettable Plate Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag. 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE ENC10-2366a (2)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	3405	mg/L
FQ	Cromo Hexavalente*	58.51	mg/L
FQ	Elemento Cr	68.83	mg/L

ABREVIATURAS :
mg/L

Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :
Cromo Hexavalente

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2005, Method 2005-C-8, Chroman Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2005, 5210-B, Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5-day BOD Test, 23rd Ed. 2017.

Elemento Cr

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2005, Method 2111-B, Wettable Plate Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag. 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE ENC10-2366a (3)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	3050	mg/L
FQ	Cromo Hexavalente*	53.52	mg/L
FQ	Elemento Cr	62.97	mg/L

ABREVIATURAS :
mg/L

Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :
Cromo Hexavalente

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2005, Method 2005-C-8, Chroman Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2005, 5210-B, Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5-day BOD Test, 23rd Ed. 2017.

Elemento Cr

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 2005, Method 2111-B, Wettable Plate Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag. 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

INFORME DE ENSAYOS N° 5833- 2021
PÁGINA 4 DE 4

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 18/10/2021 al 27/10/2021

MB 18/10/2021 al 23/10/2021

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 27/10/2021



[Signature]
B. Manuel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe



ANEXO XIV. Informe de Ensayos BHIOS – Fito 22 S/C y C/C



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



INFORME DE ENSAYOS N° 6282- 2021
PÁGINA 2 DE 4

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE EMSIFITONASLAS (R-1)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	573	mg/L
FQ	Crómico Hexavalente*	44.85	mg/L
FQ	Elemento Cr*	46.90	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Crómico Hexavalente

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-1831A-WF, Part 3005, Method 3500-Cr-6 Chromium Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-1831A-WF, Part 5005, 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 day BOD Test, 23rd Ed. 2017.

Elemento Cr

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-1831A-WF, Part 3005, Method 3111-B, Molybdenum Blue Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Fig. 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE EMSIFITONASLAS (R-2)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	751	mg/L
FQ	Crómico Hexavalente*	42.75	mg/L
FQ	Elemento Cr*	44.82	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Crómico Hexavalente

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-1831A-WF, Part 3005, Method 3500-Cr-6 Chromium Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-1831A-WF, Part 5005, 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 day BOD Test, 23rd Ed. 2017.

Elemento Cr

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-1831A-WF, Part 3005, Method 3111-B, Molybdenum Blue Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Fig. 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE EMSIFITONASLAS (R-3)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	790	mg/L
FQ	Crómico Hexavalente*	22.10	mg/L
FQ	Elemento Cr*	46.75	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L

: Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Crómico Hexavalente

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-1831A-WF, Part 3005, Method 3500-Cr-6 Chromium Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-1831A-WF, Part 5005, 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 day BOD Test, 23rd Ed. 2017.

Elemento Cr

: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-1831A-WF, Part 3005, Method 3111-B, Molybdenum Blue Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Fig. 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RRP-08-F-05-E Versión: 01 Fecha de Emisión: 27/03/19 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG Página 2 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51 (0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...enfocado a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 6282- 2021
PÁGINA 3 DE 4

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE EMC1817104564a (R-1)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	302	mg/L
FQ	Cromo Hexavalente*	28.75	mg/L
FQ	Elemento Cr*	51.98	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Cromo Hexavalente : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5500 Method 5500-Cr B, Chromium, Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5210-5, 5210-5 Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 day BOD Test, 23rd Ed. 2017.
Elemento Cr : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000 Method 3111-B, Mercury-Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag. 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE EMC1817104564a (R-2)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	504	mg/L
FQ	Cromo Hexavalente*	27.50	mg/L
FQ	Elemento Cr*	48.96	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Cromo Hexavalente : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5500 Method 5500-Cr B, Chromium, Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5210-5, 5210-5 Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 day BOD Test, 23rd Ed. 2017.
Elemento Cr : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000 Method 3111-B, Mercury-Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag. 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRE EMC1817104564a (R-3)	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	408	mg/L
FQ	Cromo Hexavalente*	22.85	mg/L
FQ	Elemento Cr*	41.45	mg/L

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Cromo Hexavalente : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5500 Method 5500-Cr B, Chromium, Colorimetric Method, 23rd Ed. 2017.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5210-5, 5210-5 Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 day BOD Test, 23rd Ed. 2017.
Elemento Cr : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 3000 Method 3111-B, Mercury-Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag. 3-17, 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

INFORME DE ENSAYOS N° 6282 - 2021
PÁGINA 4 DE 4

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 09/11/2021 al 22/11/2021

MB 09/11/2021 al 14/11/2021

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 22/11/2021



Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe



ANEXO XV. Croquis del Sistema de Tratamiento con Microorganismos Eficaces (EM) y Humedales Artificiales con *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba*.

