



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Implementación de humedales de flujo superficial para el
tratamiento secundario por biorremediación con *eichhornia
crassipes* y microorganismos eficaces (EM) de aguas residuales
de Curtiembre, Arequipa 2021.**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Masco Miro, Pedro Raid (orcid.org/0000-0003-3262-0792)

Ugarte Huamani, Jose Antonio (orcid.org/0000-0001-6412-5716)

ASESOR:

Mg. Ugarte Alván, Carlos Alfredo (orcid.org/0000-0001-6017-1192)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

La presente tesis está dedicada especialmente a nuestros padres por conducirnos a trabajar por nuestras metas a largo plazo, la cual nos va permitir formar parte de las alternativas de solución a cualquier problema de carácter común.

A cada una de las personas que nos han apoyado incondicionalmente en dar por iniciado y concluido el proyecto de investigación que desarrollaremos en adelante.

A nuestros familiares y amigos por el interés en aconsejarnos a no descuidar el tiempo invertido en cosas superficiales que llegarán en su momento determinado una vez acabado la tesis.

Agradecimiento

En primer lugar, agradecer Al Gran Arquitecto del Universo por la dicha de tener las oportunidades de mejora continua.

A nuestros asesores por compartir sus conocimientos en favor del buen desarrollo de la tesis.

También agradecer a la curtiembre Pacheco S.R.Ltda. por las facilidades otorgadas para la obtención de los efluentes de sus distintos procesos que nos han servido para iniciar con la experimentación de nuestro proyecto.

Índice de contenidos

| | |
|---|------|
| Dedicatoria | ii |
| Agradecimiento | iii |
| Índice de contenidos | iv |
| Índice de tablas | vi |
| Índice de Figuras | vii |
| Resumen | viii |
| Abstract | ix |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO | 4 |
| III. METODOLOGÍA | 16 |
| 3.1. Tipo y diseño de investigación | 16 |
| 3.2. Variables y operacionalización | 17 |
| 3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis | 18 |
| 3.4. Técnicas, instrumentos y recolección de datos | 19 |
| 3.5. Procedimientos | 20 |
| 3.6. Método de análisis de datos | 30 |
| 3.7. Aspectos éticos | 31 |
| IV. RESULTADOS | 32 |
| V. DISCUSIÓN | 45 |
| VI. CONCLUSIONES | 57 |
| VII. RECOMENDACIONES | 58 |

| | |
|--------------------------|----|
| REFERENCIAS | 59 |
| ANEXOS | 66 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables..... | 18 |
| Tabla 2. Cantidades de agua residual de curtiembre empleadas por etapa..... | 23 |
| Tabla 3. Métodos de análisis de BHIOS laboratorios..... | 27 |
| Tabla 4. Arreglo Factorial para los sistemas de tratamiento mixto..... | 29 |
| Tabla 5. Comparación entre los valores medidos en la muestra basal con los valores de las normas ambientales vigentes para curtiembres..... | 32 |
| Tabla 6. Valores de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre tratadas en un sistema mixto por 30 y 45 días..... | 33 |
| Tabla 7. Valores de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre tratadas en un sistema mixto con EMa al 10% y 20%..... | 34 |
| Tabla 8. Valores del contraste de hipótesis entre tratamientos de la prueba de Kruskal - Wallis para los parámetros de pH, C.E. Salinidad, STD, temperatura..... | 35 |
| Tabla 9. Valores del contraste de hipótesis entre tratamientos de la prueba de Kruskal - Wallis para los parámetros de DBO ₅ , Cr Total y Coliformes..... | 35 |
| Tabla 10. Valores de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre tratadas en un sistema mixto por 37 y 52 días..... | 37 |
| Tabla 11. Valores de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre tratadas en un sistema mixto con EMa al 10% y 20%, después de la fitorremediación..... | 38 |
| Tabla 12. Valores del contraste de hipótesis entre tratamientos de la prueba de Kruskal - Wallis para los parámetros de pH, C.E. Salinidad, STD, temperatura y coliformes, a los 37 y 52 días de tratamiento en sistema mixto..... | 39 |
| Tabla 13. Valores del contraste de hipótesis entre tratamientos de la prueba de ANOVA para los parámetros de DBO ₅ y Cr total a los 37 y 52 días de tratamiento en sistema mixto..... | 39 |
| Tabla 14. Valores del contraste de hipótesis entre los 8 tratamientos aplicados, para los parámetros de pH, C.E. Salinidad, STD, temperatura..... | 41 |
| Tabla 15. Valores del contraste de hipótesis entre los 8 tratamientos aplicados, para los parámetros de DBO ₅ y Cr Total..... | 42 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Diagrama de flujo del proceso productivo de la curtiembre Pacheco S.R.Ltda. | 12 |
| Figura 2. Esquema de un sistema de pretratamiento de aguas de curtidos. | 13 |
| Figura 3. Soporte de OSB de 18 mm en tres niveles para contenedores del sistema de tratamiento mixto..... | 20 |
| Figura 4. Especie vegetal utilizada para fitorremediación identificada como <i>Eichhornia crassipes</i> “jacinto de agua”..... | 21 |
| Figura 5. Colecta de la especie vegetal <i>E. crassipes</i> utilizada para fitorremediación..... | 21 |
| Figura 6. Aguas colectadas de las diferentes etapas de curtido, almacenadas en tachos para su posterior transporte al área de experimentación. | 22 |
| Figura 7. Recepción del agua residual de las diferentes etapas de curtido de pieles en la curtiembre Pacheco SRLtda. | 22 |
| Figura 8. Proceso de activación de EM..... | 24 |
| Figura 9. Instalación del sistema de tratamiento mixto de aguas residuales de curtiembre. | 25 |
| Figura 10. Toma de valores de parámetros en campo. | 26 |
| Figura 11. Toma de muestras para determinaciones en laboratorio. | 26 |
| Figura 12. Tratamiento de muestras para transporte al Laboratorio. | 27 |
| Figura 13. Aplicaciones de EMa..... | 28 |
| Figura 14. Croquis del diseño de tratamiento de las aguas residuales de curtiembre..... | 30 |
| Figura 15. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre frente a los diferentes tratamientos del sistema mixto de biorremediación y fitorremediación..... | 36 |
| Figura 16. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre frente a los diferentes tratamientos del sistema mixto de biorremediación, fitorremediación y biorremediación..... | 40 |
| Figura 17. Resultados de los parámetros de pH, C.E., Salinidad y STD, de las aguas residuales de curtiembre frente a los diferentes tratamientos del sistema mixto de biorremediación, fitorremediación y biorremediación..... | 43 |
| Figura 18. Resultados de los parámetros de T°, DBO5, Cr Total, Coliformes, de las aguas residuales de curtiembre frente a los diferentes tratamientos del sistema mixto de biorremediación, fitorremediación y biorremediación..... | 44 |

Resumen

Los efluentes de curtiembres ubicadas en el Parque Industrial de Río Seco en Arequipa (PIRS), son complejos y causan la contaminación del agua, suelo y aire al ser descargados al ambiente sin tratamiento alguno amenazando la salud de los seres vivos.

La presente investigación pretende determinar la efectividad de un sistema mixto de tratamiento de aguas residuales de la curtiembre Pacheco S.R.Ltda, que combina la capacidad fitorremediadora de *Eichhornia crassipes* y la biorremediación de Microorganismos Eficaces (EM) en dos concentraciones 10% y 20%, y en dos periodos de tratamiento de 30 y 45 días (biorremediación y fitorremediación) y, 37 y 52 días (biorremediación, fitorremediación y biorremediación).

El estudio se realizó en condiciones de sombreadero utilizando un sistema piloto de humedades de flujo superficial. Se evaluaron los parámetros de Cromo Total, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Potencial de Hidrógeno (pH), Conductividad Eléctrica (C.E), Sólidos Totales Disueltos (STD), Salinidad, Temperatura (T°) y Coliformes Totales.

Se encontró que el tratamiento mixto con *Eichhornia crassipes* y EMA, reduce significativamente el nivel de contaminantes. Esta eficiencia es mayor en el tratamiento de 20% de EMA registrándose 49% de remoción de Cr total, 100% de remoción de coliformes totales, 38% de disminución de la salinidad y 36% de remoción de STD en el periodo de 45 días de tratamiento. La aplicación de EMA después del tratamiento de fitorremediación, no presentó una significativa mejora en los niveles de reducción, por lo que inferimos que la concentración de 20% de EMA, junto a la exposición a *E. crassipes* y en un periodo de 45 días, permite reducir significativamente los contaminantes evaluados de las aguas residuales de curtiembre.

Palabras Clave: Fitorremediación, biorremediación, microorganismos eficaces, aguas residuales, curtiembre

Abstract

The effluents of tanneries located in Río Seco in Arequipa (PIRS), are complex and cause the contamination of water, soil and air when discharged into the environment without any treatment threatening the health of living beings.

This research aims to determine the effectiveness of a mixed wastewater treatment system of the tannery Pacheco S.R.Ltda, which combines the phytoremediation capacity of *Eichhornia crassipes* and the bioremediation of Effective Microorganisms (EM) in two concentrations 10% and 20%, and in two treatment periods of 30 and 45 days (bioremediation and phytoremediation) and, 37 and 52 days (bioremediation, phytoremediation and bioremediation).

The study was conducted under shaded conditions using a pilot surface flow moisture system. The parameters of Total Chromium, Biochemical Oxygen Demand (BOD₅), Hydrogen Potential (pH), Electrical Conductivity (E.C.), Total Dissolved Solids (STD), Salinity, Temperature (T°) and Total Coliforms were evaluated.

It was found that the mixed treatment with *Eichhornia crassipes* and EMa, significantly reduces the level of contaminants. This efficiency is higher in the treatment of 20% of EMa registering 49% of total Cr removal, 100% of total coliform removal, 38% decrease in salinity and 36% of STD removal in the 45-day period of treatment. The application of EMa after the phytoremediation treatment did not present a significant improvement in the levels of reduction, so we infer that the concentration of 20% of EMa, together with the exposure to *E. crassipes* and in a period of 45 days, allows to significantly reduce the pollutants evaluated from the tannery wastewater.

Keywords: *Phytoremediation, bioremediation, effective microorganisms, wastewater, tannery*

I. INTRODUCCIÓN

Los efluentes del curtido de cuero se presentan concentraciones elevadas y variables de distintos contaminantes químicos (sales, materia orgánica, metales, etc.) y microbiológicos (coliformes totales), lo que las hace difíciles y costosas de tratar. Es por ello que en la búsqueda de opciones de tratamiento sostenible para estos efluentes se utilizan humedales construidos (CW) a escala piloto (Ramírez et al. 2019).

El cromo se descarga en el medio ambiente acuático debido a fuentes antropogénicas como industrias de curtiduría, industrias de acabado de metales, galvanoplastia, entre otros. La contaminación del agua, suelo o sedimentos con cromo es una situación preocupante para el medio ambiente debido a la probabilidad de entrar en la cadena alimenticia (Hashem et al. 2020).

La bibliografía actual sustenta el éxito de las biotecnologías propuestas. Así, Romero y Vargas (2017), señalan que la biotecnología EM (Microorganismos Eficaces), combinación de distintas clases de microorganismos que a través de la fermentación, síntesis de sustancias bioactivas e inhibición de patógenos favorecen a la salud y equilibrio en el ecosistema.

Los mismos autores, reportan que la aplicación de EM permite que las aguas servidas domésticas, municipales e industriales retornen al medio ambiente de modo seguro favoreciendo el equilibrio ecológico del lugar. Los microorganismos eficaces pueden aprovechar los complejos orgánicos de los efluentes para obtener el carbono y la energía requerida para su metabolismo y crecimiento.

Las técnicas de fitorremediación son una tecnología verde que desintoxica las tierras metálicas y las aguas subterráneas contaminadas mediante el uso de un tipo diferente de proceso como la fitoextracción, la fitoestabilización, la fitovolatilización, la rizofiltración y la fitofiltración (Wang et al. 2020). Entre varias plantas acuáticas *E. crassipes*, *P. stratiotes* y *Lemna minor* presentan importantes capacidades acumuladoras de metales, aplicables para la restauración del agua contaminada (Ali et al. 2020).

La fitorremediación asistida por bacterias es exitosa para el tratamiento de aguas contaminadas. Los consorcios de rizobacterias que promueven el crecimiento

potencial, las bacterias degradantes y las bacterias endófitas pueden potenciar el proceso de fitorremoción en la reducción de metales en las aguas residuales (Sharma 2021).

Por lo tanto, el presente trabajo pretende llevar a cabo el tratamiento mixto por biorremediación (microorganismos eficaces agua - fitorremediación) para la descontaminación de efluentes de curtiembre mediante un sistema de humedales de tratamiento secundario a condiciones ambiente, cuyos subproductos no sean nocivos para los ecosistemas en general.

La pregunta de investigación a responder es: ¿De qué manera la implementación de humedales de flujo superficial con *Eichhornia crassipes* y la aplicación de Microorganismos Eficaces activados (EMa) influyen en las características físico - químicas y microbiológicas de las aguas residuales de curtiembre, Arequipa 2021?

A partir de la pregunta principal, identificamos las siguientes preguntas secundarias: ¿Cuáles son los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre, Arequipa 2021?, ¿Cuál es la variación en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de los efluentes de curtiembre por el tratamiento con 10 y 20% de EMa y fitorremediación durante 30 y 45 días?, y ¿Cuál es el efecto de 10 y 20% de EMa aplicados durante 7 días más después del tratamiento por fitorremediación sobre los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de los efluentes de curtiembre?

Encontrar las respuestas a las preguntas planteadas justifica la presente tesis debido a que, en el aspecto social, contribuirá a reducir el riesgo de enfermedades de la población expuesta a la contaminación por las curtiembres en la zona de Río Seco - distrito de Cerro Colorado - Arequipa. En el aspecto económico aportará a la reducción del gasto de las empresas en sanciones por infracciones a las normas ambientales y del costo de infraestructuras para retención y canalización de los efluentes por parte del gobierno regional. Tecnológicamente demostrará el beneficio de la aplicación de biotecnologías en un sistema mixto sinérgico que potencie la eficiencia de la fitorremediación y de los EM. Por último, teóricamente contribuirá al conocimiento actual del desempeño de los microorganismos eficaces y plantas fitorremediadoras sobre los efluentes industriales.

En base a la información referida, como respuesta a nuestras preguntas de investigación, formulamos como hipótesis general que la aplicación de EM antes y después del tratamiento por fitorremediación con *Eichhornia crassipes* favorecen en la reducción de cromo total, coliformes totales, DBO₅, pH, conductividad, STD y salinidad, en las aguas residuales.

Las hipótesis específicas plantean que los parámetros en evaluación de los efluentes de curtiembre se encuentran por encima de los Valores Máximos Admisibles (VMA). Estos valores disminuirán progresivamente con la aplicación de 10 y 20% de EMa y por fitorremediación en un tratamiento de 30 y 45 días, encontrándose mejores resultados a la concentración más alta con mayor tiempo de tratamiento. Finalmente, los parámetros antes mencionados de los efluentes en estudio, reducirán por efecto de la aplicación del 10 y 20% de EMa después de la fitorremediación en un tratamiento de 37 y 52 días, encontrándose también mejores resultados a la concentración más alta con mayor tiempo de tratamiento.

Para la comprobación de las hipótesis se plantea como objetivo general determinar el efecto de la aplicación de Microorganismos Eficaces (EM) antes y después del tratamiento por fitorremediación con *Eichhornia crassipes* para las aguas residuales de curtiembre, Arequipa 2021. Como objetivos específicos se plantea: 1) Establecer los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de los efluentes de curtiembre, Arequipa 2021. 2) Cuantificar la variación en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de los efluentes por efecto de la aplicación de 10 y 20% de EMa y fitorremediación en un tratamiento de 30 y 45 días. 3) Cuantificar la variación en los parámetros en estudio por efecto de la aplicación del 10 y 20% de EMa posterior a la fitorremediación en un tratamiento de 37 y 52 días.

II. MARCO TEÓRICO

Alemu, Gabbiye y Lemma (2020), utilizaron cuatro especies vegetales (*Pennisetum purpureum*, *Typha domingensis*, *Cyprus latifolius* y *Echinochloa pyramidalis*) y basalto vesicular (VB) como relleno en un sistema de humedales de flujo subterráneo horizontal (05 CWU) para investigar la eficiencia de eliminación de cromo en el agua de curtiduría. Las unidades de humedales construidos con vegetación de *P. purpureum* y *C. latifolius* y roca basáltica vesicular (15 -20 mm) fueron efectivas en la remoción de cromo hasta 99.38 % y 99.21 % respectivamente en 6 días de tiempo de retención hidráulica.

Arizabal (2018), investigando en la curtiembre CUR LIB S.A.C. del PIRS Arequipa, determinó que *E. palustris* sobrevivió en una dilución del 40% de la mezcla de los efluentes de curtido, pelambre y desencalado en el tratamiento por fitorremediación con un humedal artificial de flujo sub-superficial. *Chenopodium album* no sobrevivió.

Asimismo, *E. palustris* en efluente diluido al 25%, 50% y 75%, con un tiempo de retención hidráulico (THR) de 4 días, mostró mejores resultados de remoción al 25% de dilución en Cr total, Cr VI, pH, DBO₅, DQO, sulfatos y nitrógeno amoniacal, concentrando la mayor concentración de Cr total en las raíces (2.53 g/Kg).

Carreño (2016), probó un biosistema para la remoción y retención de cromo de aguas residuales de curtiembres con la especie *Eichhornia crassipes*. Reportó que a 24 días de tratamiento disminuyó la concentración de cromo de 7480 mg/L a 2910 mg/L, de 7490 mg/L a 2920 mg/L y de 12200 mg/L a 6000 mg/L. Las unidades vegetativas de *Eichhornia crassipes* muestran eficacia como agente retenedor de estos compuestos contaminantes (metal pesado, materia orgánica), concluyendo que es una alternativa económica y tecnológicamente viable para el sector industrial.

Contreras y Herrera (2019), evaluando la eficiencia de *Eichhornia crassipes* junto a *Spirodela polyrhiza* en el tratamiento de efluentes domésticos, reportaron que es eficiente para disminuir turbidez en 82%, nitritos 92%, nitratos 59% y fosfatos 62%; concluyendo que la combinación de las unidades vegetativas tiene mayor eficiencia que independientemente cada una.

Chakraborty y Mukherjee (2013), evaluaron en laboratorio la capacidad de absorción de *Pistia* sp. junto con *Bacillus cereus* GXBC-1 para descontaminar efluentes con cromo (VI), mostrando que *Pistia* sp sola, tolera y elimina el Cr (VI) hasta una concentración inicial de 8 mg/L, y un porcentaje máximo de remoción del 78% a la concentración inicial de 3 mg/L durante 4 días de tiempo de retención hidráulica (TRH) sin ningún efecto inhibitor aparente en la biomasa viva. Señalan que las cepas no colonizadas y colonizadas en la zona de la raíz de la planta viva tuvieron una eliminación del 78 y 94.67% respectivamente en correspondencia con la concentración inicial de 3 mg/L, mientras que se observó una remoción de 24 y 58,75% para una concentración inicial de 8 mg/L posterior a los 4 días de TRH. Por último, se concluyó que la asociación *Pistia* sp y *Bacillus cereus* GXBC-1, mejora la remoción de cromo VI.

Chand, Suthar y Kumar (2021), recopilaron los resultados de un estudio a mesoescala de humedales artificiales de flujo de marea (TF-CW) para aguas residuales domésticas y rurales con incorporación de biocarbón (BC), plantación de Typha (P) y sustrato (S) en tres configuraciones (SBC, SBCP y SP) que operaron durante 216 horas (9 días) Los resultados de los parámetros DQO, DBO, NH₄ +-N, NO₃-N, PO₄- , SO₄-2 y coliformes fueron de 94.77, 96.07, 85.65, 64.05, 71.69, 77.61 y 97.27% respectivamente. El estudio recomienda que los TF-CW con recirculación de efluentes y adición de BC en el sustrato pueden ser una estrategia efectiva para operar un humedal artificial con bajo consumo de energía.

Cheng et al. (2021), aplicaron nuevos microorganismos beneficiosos a procesos óxicos para degradar contaminantes orgánicos en una PTAR de una curtiduría a escala industrial. Mediante los microorganismos benéficos se logró una eficiencia de eliminación de la DQO promedio del 95.2 % durante la operación de 328 días. Así mismo, la materia orgánica tipo ácido húmico y tipo proteína fueron los componentes principales del material orgánico afluente y efluente respectivamente; los cuales se biodegradaron por acción microbiana – genes bacterianos.

Correa dos Santos et al. (2022), evaluaron la respuesta de las unidades vegetativas *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*, en su crecimiento, parámetros fisiológicos y su anatomía expuestos en ambientes acuáticos contaminados por atrazina, se colectaron las aguas en potes de 5L juntos con los macrófitos durante 28 días, para

determinar el potencial de fitorremediación donde los resultados obtenidos indican que *E. crassipes* y *P. stratiotes*, tienen resultados en concentraciones de atrazina de 10 y 100 ug/L respectivamente.

Delgado-Sarmiento et al. (2020), con la finalidad de eliminar cromo VI por *Rhodopseudomonas palustris* en aguas contaminadas industriales y mineras, lograron su disminución a menos de 0.5 mg/L, utilizando 300 ml de bacteria durante 23 días y pH 4.0.

Dotro et al. (2012), reportaron los hallazgos de dos humedales a escala piloto para el tratamiento secundario de efluentes primarios de una operación completa de tenería en términos de resiliencia y confiabilidad. Se utilizó roca granítica limpia para el tratamiento primario y humedales sembrados con 4 brotes/m² de la especie *Typha latifolia*. Los resultados obtenidos son tasas de eliminación de masa por área de 77.1 mg DQO/m²/día, 11 mg SST/m²/día y 53 mg Cr/m²/día con un flujo horizontal simple por gravedad.

Eid et al. (2021), formularon ecuaciones de regresión matemática para estimar la absorción de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn por *Eichhornia crassipes* en cuatro partes de la planta (láminas, pecíolos, raíces y estolones) cultivadas en canales de riego. Las raíces presentaron la mayor concentración de metales documentándose un factor de bioconcentración >1.0 y el factor de translocación fue de <1.0 para todos los metales pesados, respectivamente.

Fountoulakis et al. (2017), experimentaron con tres especies halófitas, *Atriplex halimus*, *Juncus acutus* y *Sarcocornia perennis* para la desalinización de efluentes domésticos en un humedal artificial de flujo vertical (VFCW) en comparación con *Phragmites australis* (cañas comunes). Se obtuvieron resultados positivos para *A. halimus*, que muestra una alta productividad de biomasa y capacidad para acumular sales (Na) en sus tejidos, así como la eliminación de patógenos. Sin embargo, la concentración de nitrógeno en el efluente de los VFCW sembrados con halófitas fue mayor con respecto a los sembrados con juncos.

Gavilánez (2015), probó un sistema de tratamiento con *E. crassipes* en estanques de 1m³ de volumen, realizando remociones del 50.0%, 94.8% y 87.6% de H₂S, DBO₅ y DQO respectivamente.

Goswami y Das (2018), utilizó *Eichhornia crassipes* para remediar el agua de los estanques de acuicultura que tienen concentraciones de Cu, el presente estudio emprendió un esfuerzo doble para remediar Cu por fitoextracción con un macrófito acuático *Eichhornia crassipes*, logrando remover de 5-10 mg/L Cu con jacinto de agua con una disminución del 55-57 % de Cu en 21 días.

Hashem et al. (2020), estudiaron la utilización de *E. crassipes* como biocarbón para la adsorción de iones de cromo trivalente evaluando la dosis, tiempo de interacción y el pH relativo. Los resultados post tratamiento fueron de 27.3 mg/L frente al basal de 3190.1 mg/L de cromo (III). Concluyendo que hubo una remoción del 99% de iones de cromo y la reducción alcanzada para cloruro, DBO y DQO fue del 56%, 93.4% y 92.6% respectivamente.

Liu et al. (2020), demostraron que el biocarbón de *E. crassipes*, es un adsorbente eficaz de cadmio (II), mediante isotermas de Langmuir y Freundlich para describir el proceso de adsorción. Se observó que las isotermas de Langmuir tuvieron mejores resultados con capacidades máximas de sorción entre 24.2 y 45.8 mg de Cd^{2+} , los resultados destacan el potencial de las cápsulas de biocarbón con alginato derivados de *E. crassipes*.

Lozada (2019), evaluó la eficiencia de biomásas de *E. crassipes* para la remoción de Cd en aguas del embalse Yacuchingana – Cajamarca, en tres espacios de tiempo de 7, 14 y 21 días. Los resultados evidencian la reducción de cadmio de 0.0392 mg/L a 0.0021 mg/L, lo que determinó su eficiencia.

Medina et al. (2019), emplearon ejemplares de *Eichhornia crassipes* para tratar una contaminación controlada con Cr^{3+} durante 20 días y, las constantes cinéticas de este proceso fueron constante de absorción $K_{ab} = 0,10 \text{ días}^{-1}$, y tiempo medio de absorción: $t = 6,8 \text{ días}$. Al tratar el efluente de curtiembre se redujo de $22,4 \text{ mg.L}^{-1}$ a $1,28 \text{ mg.L}^{-1}$ de Cr^{3+} , a las 48 horas.

Mirbolooki, Amirnezhad y Pendashteh (2017), investigaron la capacidad de los microorganismos aeróbicos de un sistema de tratamiento SBR (reactor por lotes de secuenciación) para eliminar la DQO de efluentes textiles salinos, registrando para una concentración de colorante de 500 mg/L (Remazol Brilliant Blue R) la remoción del DQO desde 80.71% a 14.92% a una concentración baja de TDS y 10000 mg/L TDS respectivamente.

Pérez (2019), en el tratamiento biológico de efluentes domésticos de Sevilla Don Bosco – Ecuador descargados al río Upano, con humedales artificiales de *Eichhornia crassipes*, reportó porcentajes de remoción de DBO en 59.64%, DQO en 71.59%, aceites y grasas en 80.82%, sólidos sedimentables 94.15%, sólidos suspendidos 91.79% y coliformes fecales en 99.32%, concluyendo que existe una eficiencia de descontaminación al Río Upano por parte de la *Eichhornia crassipes*.

Pire-Sierra et al. (2016), evaluaron el sistema conformado por la combinación de un tratamiento biológico mediante un reactor discontinuo secuencial (SBR) seguido de un tratamiento fisicoquímico de coagulación-floculación. Los contaminantes en los efluentes de concentraciones promedio de 1546 mg DQO·L⁻¹, 200 mg TKN·L⁻¹ y 121 mg N-NH₄⁺ ·L⁻¹, luego de un ciclo de 12 h. alcanzaron valores de 303 mg DQO L⁻¹, 35,1 mg TN·L⁻¹ y 0,5 mg N-NH₄⁺ L⁻¹.

Pozo (2016), para la remoción de Cd en las aguas del río Surco empleó las especies *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*. Reportó que *E. crassipes* tuvo un desarrollo superior a *P. stratiotes*, sin embargo, la eficacia de remoción para la primera fue de 68% y de 67% para la segunda.

Qin et al. (2016), determinaron que el jacinto de agua con una capacidad de acumulación hiperactiva de nitrógeno (58.64% de las reducciones totales), fue más adecuado que la lechuga de agua para la depuración intensiva de aguas residuales domésticas. En el 2020, determinaron la capacidad de remoción de N y P, concluyendo que *E. crassipes* tiene una alta capacidad de eliminación de N y P incluso en condiciones adversas, como bajas concentraciones de OD y alto contenido de amonio.

Ramírez et al. (2019), operaron dos humedales artificiales piloto (CW) de flujo subterráneo horizontal (HSF) con la especie *Phragmites* sp. para el tratamiento de agua sintética de calidad similar a la de los efluentes de curtiembres pretratados. Se examinaron cinco fases de carga diferentes con un aumento gradual de las cargas de entrada de DQO, NH₄⁺-N y Cr hasta alcanzar y superar la composición típica de un efluente de curtiduría. El CW piloto alcanzó altas tasas de eliminación de 82% y 96% para DQO y NH₄ p-N, respectivamente, y la eliminación completa de Cr.

Rai (2019), utilizaron tres especies de plantas de un humedal natural: *Pistia stratiotes*, *Spirodela polyrhiza* y *Eichhornia crassipes* para la remoción de Fe, Cu, Cd, Cr, Zn y Ni de aguas residuales. *E. crassipes* mostró mayor eficiencia en la eliminación de metales pesados seguida de *P. stratiotes* y *S. polyrhiza*.

Rezania et al. (2015), estudiaron la utilización de *E. crassipes* para la remoción de metales y contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en diferentes tipos de aguas residuales. Concluyeron que el jacinto de agua es adecuado para controlar zonas urbanas y diferentes tipos de aguas residuales provenientes de las diferentes industrias así mismo, el jacinto de agua tiene impactos positivos en el medio ambiente, alta capacidad de fitorremediación, generación de biogás, producción de alimentos para animales y compost.

Sarango y Sánchez (2016), construyeron dos biofiltros con *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* usando como sustrato arena, gravilla, grava y piedra pómez, para la degradación y remoción de contaminantes en efluentes de una planta de extracción de aceite vegetal. Encontraron que con *E. crassipes* disminuyeron la DQO en 89.24%, DBO₅ en 91.96%, Aceites y grasas en 91.58%, Solidos totales en 95.87%, Solidos suspendidos en 96.72%, Fosforo total en 96.34%, Hierro en 89.30%, Nitrógeno total en 95.68%. Mientras tanto, *Lemna minor* disminuyó la DQO en 72.57%, DBO₅ en 73.36%, Aceites y grasas en 92.33%, Solidos totales en 75.21%. Concluyeron que ambas especies son buenas alternativas para tratamientos complementarios para aguas residuales.

Sharma (2021), señala que la fitorremediación asistida por bacterias es una estrategia rentable para la remoción de metales. Así también, Los consorcios de rizobacterias que promueven el crecimiento potencial, las bacterias degradantes y las bacterias endófitas pueden emplear el proceso de fitorremoción para la reducción de metales en las plantas que utilizan aguas residuales.

Souza et al. (2018), estudiaron la cinética de absorción de 0, 0.56, 0.89 y 1.38 mg/L de arsénico con *Eichhornia crassipes* y 0, 0.56, 0.89 y 1.38 mg/L de As con *Lemna valdiviana*. Demostraron que la absorción de arsénico por jacinto de agua depende del tiempo de cultivo en la solución nutritiva de la planta contaminada por As. Así mismo, para *Lemna valdiviana* presento la disminución de arsénico durante el periodo de su cultivo en la solución nutritiva contaminada.

Sanmuga Priya y Senthamil Selvan (2017), evaluaron la capacidad de biosorción del jacinto de agua en las aguas residuales industriales y reducir las concentraciones de colorantes, metales pesados y minimizar otros parámetros fisicoquímicos como TSS (sólidos suspendidos totales), TDS (sólidos disueltos totales), COD (demanda química de oxígeno) y DBO en efluentes textiles. Los resultados fueron exitosos sobre sus enfoques de fitorremediación.

Shao et al. (2019), usaron un analizador para rastrear y medir los elementos y nutrientes en los tejidos de la unidad vegetativa *Eichhornia crassipes*, que viven en ambientes estresados con Cr (VI), observaron los cambios fisiológicos en los tejidos durante el proceso de absorción de Cr (VI) por las plantas mediante un análisis de fluorescencia de rayos X de reflexión total de baja potencia (LP-TXRF). Los resultados demuestran que, con el aumento del enriquecimiento de Cr, los contenidos de S, Cl, K, Ca, Fe y Zn en la raíz disminuyeron gradualmente, mientras que el contenido de S, K, Ca, Mn y Zn mostró un aumento significativo en sus tallos.

Saviolo et al. (2020), estudiaron y construyeron islas flotantes artificiales colonizadas con la unidad vegetativa *Eichhornia crassipes*, para la extracción de nitrógeno y fósforo de efluentes de piscicultura, en el cual se observaron que hubo una disminución significativa de 66% de nitrógeno total y 27% de fósforo total, demostrando que son una alternativa adecuada, económica y ecológica para reducir las cargas de nitrógeno y fósforo.

Tran et al. (2022), evaluaron el desempeño y comportamiento de ensuciamiento del sistema de Biorreactor de membrana – Reactor anaeróbico con deflectores (ABR-MBR) para el tratamiento de efluentes de tenería durante 60 días de operación. Demostraron que la remoción total de DQO fue de $89 \pm 1\%$, mientras que la remoción de NH_4^+-N varió de 28 a 33%. Por otro lado, la tasa media de ensuciamiento de MBR fue de 5.66 kPa/día y fue aumentando debido a factores como la presencia de sólidos totales, falta de aireación, entre otros.

Wang et al. (2018), estudiaron los efectos de 2 plantas *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* sobre la morfología y características de la calidad de agua de un estanque de locha donde se observó que la *Eichhornia crassipes* eliminó eficazmente los parámetros de (nitrógeno total, nitrógeno de amonio, nitrato y fósforo total), así mismo, *Pistia stratiotes* eliminó nitrato y fósforo total. La *Eichhornia crassipes* es

más eficaz que la unidad vegetativa *Pistia stratiotes*, mejorando la idoneidad del hábitat en su morfología de sus madrigueras y la calidad de agua.

Yi et al. (2016), investigaron la biosorción de uranio (VI) de soluciones acuosas con *Eichhornia crassipes*, donde realizaron un análisis por espectrometría infrarroja transformada de Fourier y espectroscopia de fotoelectrones de rayos x, se observó que la unidad vegetativa depende del pH para su mejor adsorción de U(VI), utilizaron el modelo de isoterma de Langmuir para describir mejor el proceso de adsorción de U(VI), donde su capacidad máxima de adsorción en monocapa de 142,85 mg/g. por la biomasa *Eichhornia crassipes*.

Younas et al. (2022), describen brevemente la ocurrencia, distribución y especiación de Cr en ecosistemas acuáticos. Se ha discutido la importancia de las especies de plantas de humedales, microorganismos, varios medios de lecho y adsorbentes, con un énfasis particular en la eliminación y desintoxicación de Cr en humedales construidos (CW). El parámetro crucial para lograr la eficiencia de eliminación de Cr es la selección de plantas y el medio de crecimiento (lecho). Por otra parte, los humedales de flujo horizontal (HF-CW) y los de superficie de agua libre (FWS-CW) se usan mucho en experimentos a escala de laboratorio y campo.

En el proceso del curtido PRODUCE (2015), indica que las etapas de preremoyo – remoyo, pelambre y descarnado – dividido, de la curtiembre Pacheco S.R.Ltda., representan un peso base de 4000 kg en pieles por un lote de 170 pieles en total. Las pieles después de la etapa de descarnado presentan un peso total de 2600 kg por lote de producción. Finalmente, el peso base por lote luego del proceso de recurtido es de 1400 kg debido principalmente a los residuos líquidos inutilizables.

Así mismo, PRODUCE (2015) muestra el reporte de balance de materia del proceso productivo en la curtiembre Pacheco S.R.Ltda. (Fig. 1), la cual comprende el volumen de insumos químicos empleados en cada una de las etapas del proceso, así como los efluentes líquidos y sólidos generados. Por otra parte, el total de agua residual de curtiembre producido por lote de producción equivale a un total de 54 460 litros.

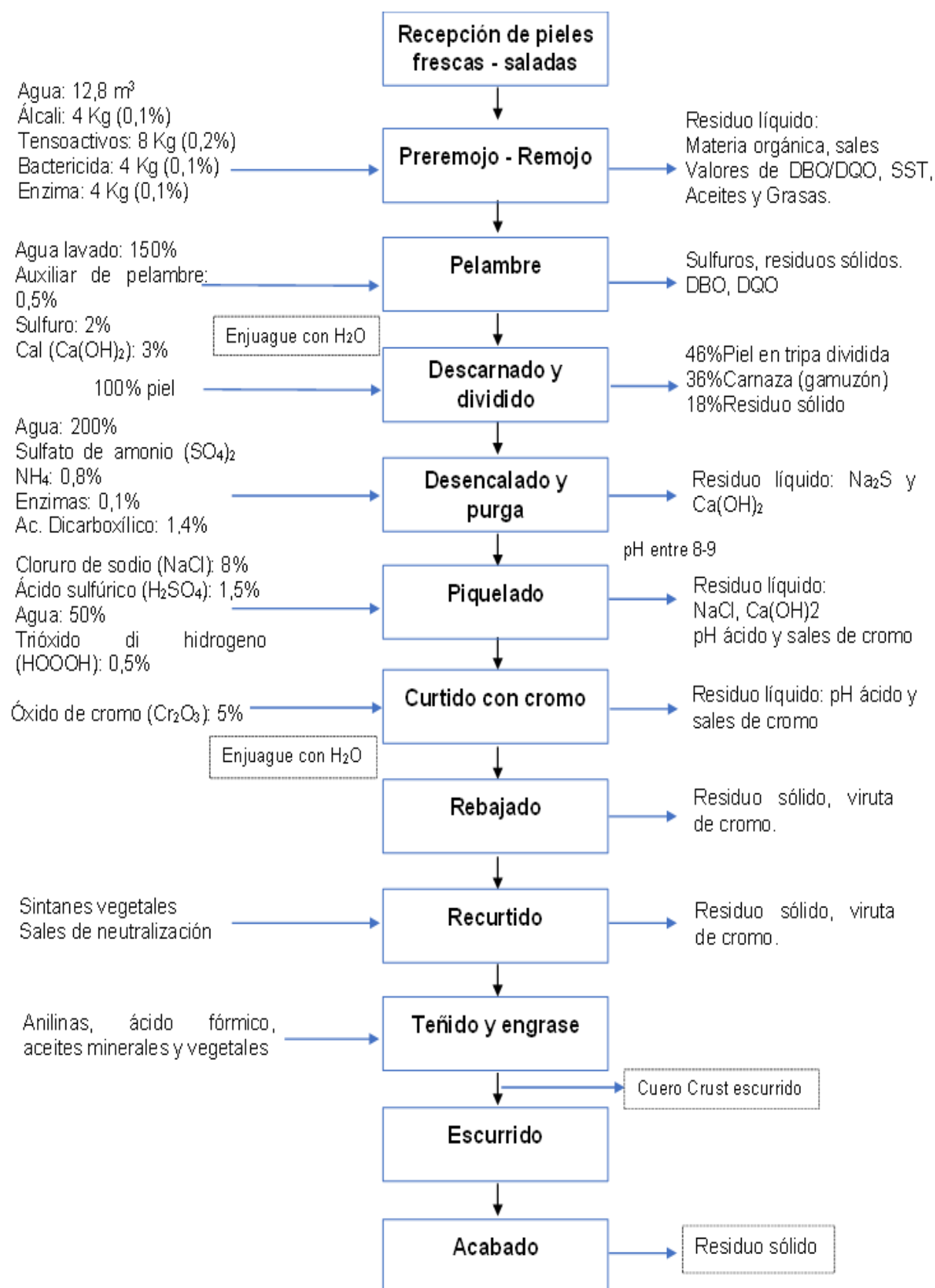


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso productivo de la curtiembre Pacheco S.R.Ltda.

Fuente: PRODUCE registro N° 25035-2015, Folio 92.

El volumen de efluente generado evidencia la importancia de la segregación y pretratamiento de los efluentes líquidos ácidos (piquelado) y básicos (pelambre) que al neutralizarse entre sí generan peligrosas emisiones de sulfuro de hidrógeno (Méndez et al. 2007). Por otro lado, los métodos de remediación facilitan la recuperación de productos útiles a partir de residuos como en el tratamiento primario de aguas residuales de tenería que se muestra en la Figura 2.

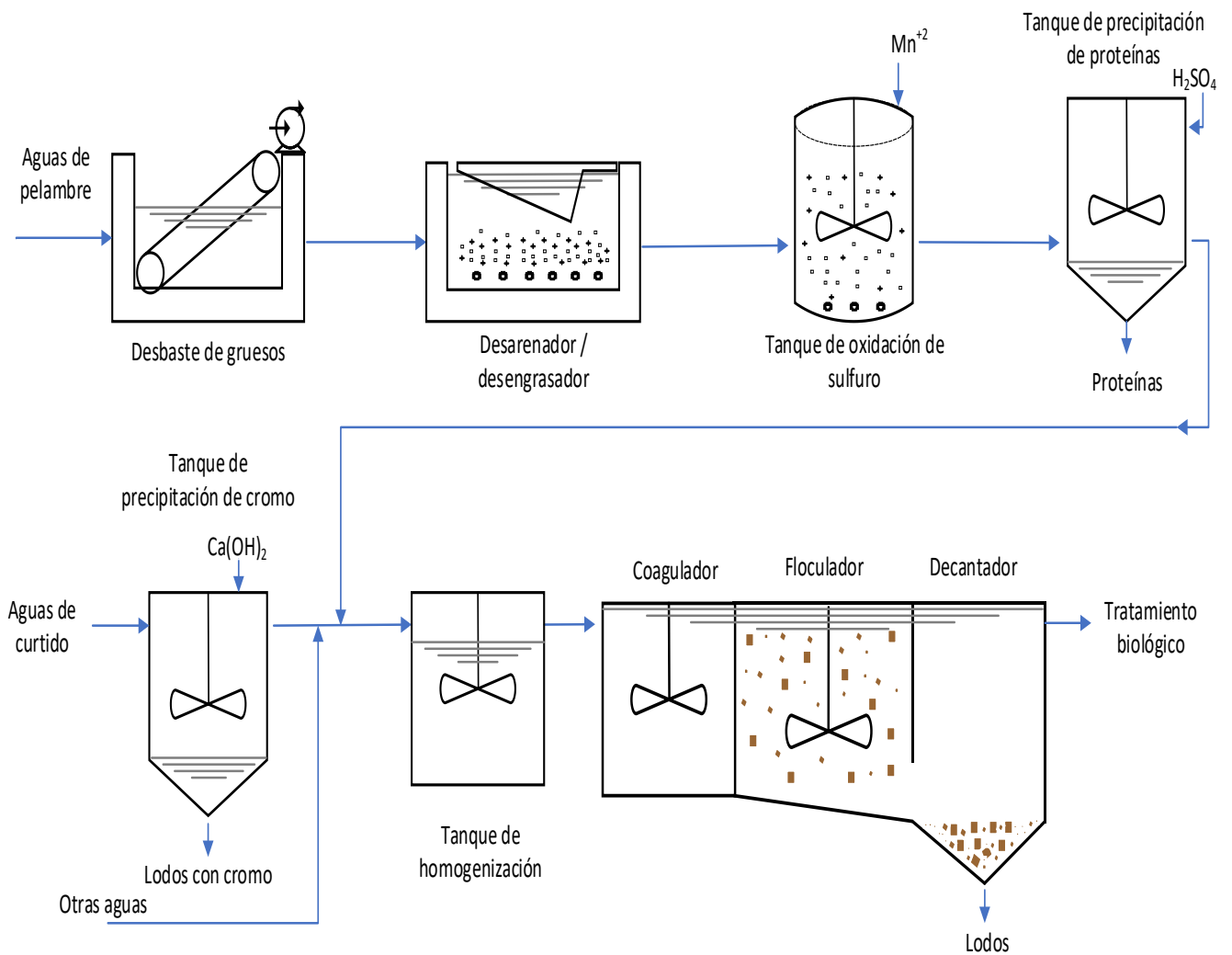


Figura 2. Esquema de un sistema de pretratamiento de aguas de curtidos.

Fuente: Libro "Producción limpia en la industria de curtiembre".

Los tratamientos biológicos de las aguas residuales de curtiembre, según Méndez et al. (2007), pueden dividirse en dos partes, el proceso biológico aerobio y el anaerobio. En el primer caso, la oxidación de la materia orgánica es realizada por bacterias heterótrofas obteniéndose $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, seguido está la nitrificación u oxidación del amonio a nitrito y nitrato por bacterias autótrofas.

A continuación, se da la oxidación aerobia de sulfuro a sulfato por *Thiobacillus* como también puede darse la obtención de azufre en condiciones de oxígeno limitado (Méndez et al. 2007).

El siguiente proceso es la desnitrificación heterótrofa que consiste en la reducción del nitrato o nitrito a nitrógeno gas donde la materia orgánica es donador de electrones. Finalmente, el proceso aerobio de las aguas residuales de curtiembre comprende la desnitrificación autótrofa, donde las bacterias sulfuro oxidantes, en ausencia de oxígeno usan los productos de la nitrificación como agentes oxidantes para la obtención de sulfato y nitrógeno molecular (Méndez et al. 2007).

El tratamiento biológico anaerobio se divide en 3 procesos, el primero es la eliminación de materia orgánica, consiste en la intervención de bacterias fermentativas, acidogénicas, acetogénicas y metanogénicas capaces de reducir la materia polimérica (proteínas, grasa y carbohidratos) en unidades menores (monómeros, ácidos grasos volátiles, acetato y metano); el segundo proceso es la reducción de sulfato que en los digestores anaerobios es convertido a sulfuro. El tercer y último proceso es la reducción de cromo, donde los microorganismos anaerobios como las bacterias sulfato reductoras pueden reducir el cromo VI a cromo III (menos tóxico) para permitir una posterior precipitación en forma de hidróxido, usando como donador de electrones tanto H_2 como materia orgánica (Méndez et al. 2007).

- En cuanto al Cr, existen dos formas en la industria del curtido. Cr III, de forma soluble se genera en los procesos de curtido y recurtido y, Cr VI que es altamente tóxico pero se genera muy poco en los efluentes (Méndez et al. 2007).
- pH: se mide en la escala de 0-14, en agua pura las concentraciones molares de $[\text{H}^+]$ y $[\text{OH}^-]$ son iguales a 10^{-7} y en disoluciones diluidas se cumplen las

relaciones $[H^+] [OH^-] = K = 1,01 \times 10^{-14}$ moles /l a 25°C (Méndez et al. 2007).

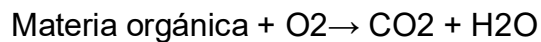
- Alcalinidad: Se debe a los iones bicarbonato HCO_3^- , carbonato $CO_3^{=}$, o hidroxilo OH^- . Naturalmente en las aguas la causa el HCO_3^- (Méndez et al. 2007):



Insoluble

Soluble

- Coliformes fecales: Indicativo de contaminación por excretas humanas y generalmente se determinan mediante el método del Número más probable (NMP) utilizando la técnica de tubos múltiples (Méndez et al. 2007).
- Oxidación de la materia orgánica: realizada por bacterias heterótrofas que tienen alta velocidad de crecimiento y productividad por lo que son dominantes en el tratamiento de aguas residuales (Méndez et al. 2007).



III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente trabajo es de enfoque Cuantitativo, puesto que la investigación pretende determinar la respuesta de las variables en base a observaciones y recolección de datos por medición de acuerdo al diseño experimental (Hernández et al., 2014, p.4), mediante la utilización de instrumentos y pruebas de laboratorio para la obtención de los valores de pH, C.E., STD, Salinidad, Temperatura, DBO₅, Cromo total y Coliformes totales.

Es una investigación de tipo aplicada, ya que pretende poner en práctica dos biotecnologías como son la fitorremediación y microorganismos eficaces como propuesta de tratamiento de aguas residuales de curtiembre. (Hernández et al., 2014, p.93-95).

Es de alcance explicativo correlacional, puesto que dos variables se relacionan entre sí y aportan cierta información explicativa, en el presente trabajo se pretende identificar la existencia de una relación sinérgica entre las dos biotecnologías aplicadas y hallar las causas y efectos producto de su relación (Hernández et al., 2014, p.93-95).

Es de diseño experimental del tipo pre- experimental, en el presente trabajo se considera el tratamiento por biorremediación y el tiempo como las variables independientes, mientras que la variación en las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas residuales es la variable dependiente. En cuanto a las variables intervinientes se considera a los factores ambientales cuya influencia sobre los resultados se minimiza a través de la distribución de repeticiones en un diseño de bloques al azar.

El presente trabajo experimental de tipo pre-experimental considera datos de entrada (O₁) obtenidos antes del tratamiento, y datos de salida obtenidos durante y después del tratamiento (O₂). Se representa como:

G: O₁ ----- X ----- O₂

Donde:

G: Grupo de estudio, O₁: Observación de entrada, O₂: Observación de salida y X: Tratamiento

3.2. Variables y operacionalización

A. Variables Independientes: Corresponden a las variables de experimentación, manipuladas por el investigador (Hernández et al., 2014).

En este caso son:

- Sistema mixto de tratamiento: Aplicación de un sistema de biorremediación con la aplicación de EM a las concentraciones de 10 y 20 % de EMa. Posteriormente el tratamiento por fitorremediación con la especie *Eichhornia crassipes*.
- Tiempo de tratamiento: Se considera tres etapas principales, la primera los datos basales correspondientes a la caracterización de las aguas residuales antes del tratamiento. La segunda etapa que comprende el tiempo de Biorremediación y Fitorremediación por un periodo de 30 y 45 días. La tercera etapa que comprende el tiempo de Biorremediación, Fitorremediación y una nueva aplicación de EMa, con un periodo de tratamiento total de 37 y 52 días.

B. Variable Dependiente: Corresponde a los parámetros evaluados al inicio, durante y al finalizar los tratamientos aplicados (Hernández et al., 2014). En este trabajo la variable dependiente corresponde a:

- Variación de las características físicas químicas y microbiológicas del agua residual tratada: La calidad del agua puede evidenciarse a través de la cuantificación de los parámetros fisicoquímicos (pH, C.E., STD, Salinidad, Temperatura, DBO₅, Cromo total) y microbiológicos (coliformes totales).

C. Operacionalización de variables: En la tabla 1 presentamos la síntesis de las operaciones que nos permiten medir cada una de las variables dependientes, así como los instrumentos y/o métodos empleados.

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.

| Variable | Aplicación de la variable | | | | |
|---|---|---|--|---|------------------|
| Independiente | Sistema Mixto para el tratamiento de efluentes de curtiembre, por fitorremediación con <i>Eichhornia crassipes</i> y biorremediación con microorganismos eficaces EM. Las concentraciones del 10 y 20% de EM activado se aplicaron al inicio del tratamiento por espacio de 22 y 37 días, pasando las aguas a los humedales para fitorremediación por un espacio de 8 días con un total de 30 y 45 días de tratamiento, respectivamente. Posterior a la fitorremediación, se aplicó EM activado en las mismas concentraciones por un periodo de 7 días más, haciendo un total de 37 y 52 días de tratamiento. | | | | |
| Variable | Definición conceptual | Definición operacional | Dimensión | Indicadores | Unidad de medida |
| Dependiente Variación de las características físicas químicas y microbiológicas del agua residual tratada | La variación de las características físicas químicas y microbiológicas de las aguas residuales tratadas en la industria del curtido de pieles que presentan alta carga orgánica, químicos residuales y contenido en cromo. (Arizábal, 2018). | Se tomaron muestras de las aguas residuales en tratamiento en los tiempos de 0 días (basal), 30 y 45 días (del tratamiento de bio y fitorremediación), 37 y 52 días (del tratamiento de biorremediación, fitorremediación y biorremediación). Las muestras fueron evaluadas en campo mediante la utilización de un multiparámetro, y luego llevadas a laboratorio para la determinación de Cr Total, DBO ₅ y coliformes totales. | Parámetros físico – químicos y microbiológicos | pH | 0-14 |
| | | | | Conductividad Eléctrica (CE) | ms/cm |
| | | | | Sólidos Totales Disueltos (SDT) | ppt |
| | | | | Salinidad | ppt |
| | | | | Temperatura (T°) | °C |
| | | | | Cromo total | mg/l |
| | | | | Coliformes totales | NMP/100ml |
| | | | | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/l |

3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

Población

Aguas residuales provenientes del proceso productivo de la curtiembre Pacheco del parque industrial de Río Seco – Arequipa.

Muestra

Un total de 90 litros de aguas residuales repartidos en 6 contenedores con 15 litros de efluente cada uno.

Muestreo

Muestreo Probabilístico aleatorio simple. Se colectó distintos volúmenes de aguas residuales de las diferentes etapas del proceso de curtido de pieles, que luego se mezclaran en las proporciones indicadas en la Tabla 2. Posteriormente las aguas homogenizadas se dispondrán en los tanques de retención (baldes plásticos) para el inicio del tratamiento mixto, el cual termina en la toma de muestras de los humedales y tanques respectivamente para el análisis en laboratorio de los parámetros de cromo total, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto y coliformes totales.

Unidad de Análisis

Corresponde al agua residual de curtiembre en tratamiento con el sistema mixto, representado por un volumen inicial de 7.5 litros por unidad experimental. Cada unidad experimental o sistema de tratamiento está conformada por dos tanques herméticos y dos humedales. La unidad de análisis ha sido evaluada en los periodos de 0, 30, 37, 45 y 52 días.

3.4. Técnicas, instrumentos y recolección de datos

La técnica de investigación es de observación, que de manera intencionada lleva a la toma de datos a partir de las unidades de análisis. Los instrumentos de recolección de datos utilizados para la toma de datos *in situ* fueron los multiparámetros HANNA y EZ 9909 (calibración de fábrica) empleados para el registro de los valores de pH, C.E., STD, salinidad y temperatura. Los instrumentos de medición para la toma de datos en laboratorio son los requeridos para la determinación de Coliformes totales por el método del NMP, niveles de degradación de la contaminación orgánica por el método de DBO₅ y concentración de cromo total por el método de espectrometría de absorción atómica de llama, los cuales son métodos estándar aprobados, realizados por el laboratorio certificado BHIOS.

El periodo de muestreo y toma de datos se detallarán en los procedimientos descritos a continuación.

3.5. Procedimientos

Lugar y fecha de investigación.

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del centro de investigación DIVA-VIDA E.I.R.L., ubicado en Jirón Arequipa 103 Alto Libertad, distrito de Cerro Colorado, provincia y Región de Arequipa. La ubicación geográfica del punto tiene por coordenadas UTM N: 8187005 y E: 225751 (ver Anexo N°1). El periodo de ejecución estará comprendido entre los meses de abril a diciembre, es decir, con una duración de 09 meses.

Acondicionamiento del área de experimentación.

El área de experimentación fue implementada con un soporte de OSB de 18 mm en tres niveles de 2.60 m de largo, 1.26 m de alto y 1.20 m de ancho. Sobre el soporte se colocaron los contenedores para el sistema de tratamiento mixto y también fue empleado para la aclimatación de las plantas usadas en el proceso de fitorremediación. El área estuvo bajo sombra con malla Rachel al 50%.



Figura 3. Soporte de OSB de 18 mm en tres niveles para contenedores del sistema de tratamiento mixto.

Material biológico

Se colectó una cantidad de 350 unidades similares de *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) de la zona “La Motobomba” en el distrito de Dean Valdivia, provincia de Islay región Arequipa con coordenadas UTM N: 8104709 y E: 192504 (ver Anexo 2). El conteo de cada planta o individuo se realizará a partir de los parénquimas aeríferos o bulbos (Fig. 4 y 5).



Figura 4. Especie vegetal utilizada para fitorremediación identificada como *Eichhornia crassipes* “jacinto de agua”.



Figura 5. Colecta de la especie vegetal *E. crassipes* utilizada para fitorremediación.

Fuente: http://diszhal.info/novenyek/images/Eichhornia_crassipes.jpg.

La colecta se realizó mediante un cordel con una piedra atada a un extremo de la cuerda, lanzado sobre las unidades vegetativas flotantes buscando engancharlas para después cuidadosamente arrastrarlas a la orilla y extraerlas (Fig.5). Las plantas extraídas fueron transportadas en contenedores de polietileno transparentes.

Identificación de las especies vegetales

La identificación científica de la especie vegetal se realizó por el Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD), el cual determinó que las plantas colectadas pertenecen a la especie *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (ver Anexo N°3).

Colecta del efluente de curtiembre

Una vez identificadas las diferentes etapas del proceso de curtido dentro de la curtiembre Pacheco SRLtda, se realizó la recepción del agua residual de cada etapa en diferentes volúmenes y diferentes días. Las aguas fueron colectadas y almacenadas en tachos de plástico de 50 litros de capacidad (Fig.6).



Figura 6. Aguas colectadas de las diferentes etapas de curtido, almacenadas en tachos para su posterior transporte al área de experimentación.



Figura 7. Recepción del agua residual de las diferentes etapas de curtido de pieles en la curtiembre Pacheco SRLtda.

Mezcla del efluente de curtiembre

Las aguas residuales de cada proceso fueron mezcladas hasta un total de 90 litros, de acuerdo a las cantidades presentadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Cantidades de agua residual de curtiembre empleadas por etapa.

| Etapas (Curtiembre) | Porcentaje (%) | Volumen (L) |
|----------------------------|-----------------------|--------------------|
| Pre-remojo | 15.6 | 14.04 |
| Remojo | 9.4 | 8.46 |
| Pelambre | 10.2 | 9.18 |
| Lavado 1 | 15.6 | 14.04 |
| Lavado 2 | 7.8 | 7.02 |
| Desencalado | 7.8 | 7.02 |
| Purga y desengrase | 3.9 | 3.51 |
| Curtido | 3.9 | 3.51 |
| Recurtido | 15.6 | 14.04 |
| Engrase | 7.8 | 7.02 |
| Teñido | 2.4 | 2.16 |
| Total | 100 | 90 |

Preparación y activación de Microorganismos Eficaces Agua (EMA)

En un recipiente de plástico (balde), se preparó la solución de EM a la concentración de 5% (1 litro de melaza, 1 litro de EM y 18 litros de agua de clorada) de acuerdo con las especificaciones de la ficha técnica (ver Anexo 4). Para 90 L de agua residual de curtiembre se necesitó 13.5 L de EM activado (EMA) de acuerdo a las indicaciones de empleo de la Guía de la Tecnología de EM (EMPROTEC, s/f). Para la activación primero calentamos 2 L de agua entre 34°C a 40°C, para que diluya fácilmente la melaza. Luego mezclamos 0.68 L de melaza con los 2 L del agua calentada. Se añadió 0.68 L de EM más 10.5 L de agua de clorada a temperatura ambiente y se tapó herméticamente el recipiente. Se mantuvo por 7 a 10 días a una temperatura entre 25°C y 35°C. Es conveniente precisar que el recipiente se tendrá que destapar parcialmente por unos segundos para que escapen los gases producidos por la fermentación a los 4 o 5 días. El producto final a los 7 días de activación presentó un olor agrisado agradable, color café oscuro a café anaranjado y un pH cercano a 6 (Fig.8).



Figura 8. Proceso de activación de EM.

Instalación del sistema de tratamiento

En los soportes de tres niveles se colocaron 06 baldes de plástico de 20 L de capacidad para el tratamiento de biorremediación, en el nivel 3. En estos baldes se colocaron 15 L de agua residual para iniciar el tratamiento de biorremediación por 22 y 37 días. En los niveles 2 y 1, se colocaron las tinas que contendrían los humedales artificiales con las plantas fitoextractoras de jacinto de agua. Después de los baldes de biorremediación, el agua en tratamiento se dejó fluir a los humedales artificiales del nivel 2, donde el TRH fue de 4 días, después las aguas se dejarán fluir a los humedales del nivel 1 donde permanecieron por otro TRH de 4 días. Al terminar el proceso en el nivel 1, las aguas tuvieron un tiempo de

tratamiento de 30 y 45 días. En el nivel 0 (nivel del suelo) se colocaron 06 baldes para la recepción de las aguas tratadas en fitorremediación y se aplicará EMA en un periodo de tratamiento de 7 días. En este punto, las aguas tendrán un periodo de tratamiento de 37 y 52 días respectivamente (Fig.9).



Figura 9. Instalación del sistema de tratamiento mixto de aguas residuales de curtiembre.

Determinación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre

Antes de iniciar el tratamiento con EMA, se midieron los parámetros fisicoquímicos y microbiológico- Los valores de pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), salinidad y temperatura (T°) se tomaron en tres turnos 7am, 1pm y 6pm durante todos los días que duró el experimento. Antes de las mediciones se homogenizó la muestra con un agitador durante 1 minuto para luego empezar con las mediciones utilizando los multiparámetros HANNA y EZ 9909 (Fig.10).



Figura 10. Toma de valores de parámetros en campo.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), cromo total y coliformes totales se analizaron en BHIOS Laboratorios S.R.L. El Laboratorio proporcionó el material para la toma de muestras y las indicaciones de muestreo que se detallan a continuación:

Para la determinación de Cromo, se colectó la muestra de agua en un frasco de plástico de 250 ml, teniendo cuidado que la muestra no rebalse. Para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) se colectó la muestra de agua en un envase de polietileno de 1000 ml, evitando la formación de burbujas dentro del frasco. Para coliformes totales se colectó la muestra en un frasco de vidrio de 250 ml con tapa hermética estéril. El frasco se llenó dejando un espacio de aproximadamente 2 cm del borde (Fig.11).



Figura 11. Toma de muestras para determinaciones en laboratorio.

Se tomaron muestras por triplicado de cada tratamiento, en los tiempos de 0 (basal), 30, 37, 45 y 52 días de tratamiento. Luego de ser colectadas, las muestras fueron etiquetadas y almacenadas en contenedores isotérmicos con paquetes de hielo para mantenerlas a la temperatura de 2 a 4°C, durante el transporte a las instalaciones del Laboratorio (Fig.12).



Figura 12. Tratamiento de muestras para transporte al Laboratorio.

Las determinaciones en Laboratorio se realizaron aplicando los métodos aprobados, descritos en la Tabla 3.

Tabla 3. Métodos de análisis de BHIOS laboratorios

| PARAMETRO | METODO |
|---|---|
| Elemento Cr | métodos estándar para examen de agua y aguas residuales APHA-AWWA-WEF. parte 3000. método 3111-B, metales por espectrometría de absorción atómica de llama. método de llama directa aire-acetileno. Pag 3-17. 23a edición 2017. |
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) | métodos estándar para examen de agua y aguas residuales APHA-AWWA-WEF. parte 5000. 5210-B, demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅): Prueba de DBO de 5 días. 23a edición de 2017. |

| | |
|-----------------------|---|
| Oxígeno disuelto (OD) | métodos estándar para examen de agua y aguas residuales APHA-AWWA-WEF. parte 4000. Método 4500-O C. Modificación de azida de oxígeno (disuelto). 23a edición de 2017. |
| Coliformes totales | métodos estándar para examen de agua y aguas residuales APHA-AWWA-WEF. parte 9000. 9221-B. Técnica de fermentación de tubos múltiples para miembros del grupo de coliformes: técnica de fermentación de coliformes totales estándar. 23a edición de 2017. |

Aplicación de Microorganismo Eficaces Activados (EMa)

Se aplicó EMa en las concentraciones de 10% y 20% en los baldes que contenían 15L con agua residual de curtiembre. Para los baldes de concentración de 10% se agregó 1.5L de EMa y para los de 20% se agregó 3L de EMa. Después de la primera aplicación de EMa se realizaron sucesivas aplicaciones cada 8 días (Fig.13).



Figura 13. Aplicaciones de EMa.

Determinación de la variación en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre por efecto de la aplicación del 10 y 20% de EMa.

Una vez que las aguas residuales estuvieron por 22 y 37 días en tratamiento de biorremediación y 8 días en fitorremediación se procedió a realizar la colecta de muestras correspondiente a los 30 y 45 días. Posteriormente se realizó una nueva aplicación de EMa, en las concentraciones correspondientes y se dejó en tratamiento por 7 días más. Al completarse los 37 y 52 días de tratamiento, se tomaron nuevamente las muestras de agua. Los parámetros determinados fueron de cromo total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), oxígeno disuelto (OD) y coliformes totales. Como se describió en el anteriormente, los valores de pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, salinidad y temperatura fueron tomados diariamente en tres horarios 7am, 1pm y 6pm.

Diseño estadístico.

El diseño experimental fue en bloques al azar (DBA) con arreglo factorial de 2x4 (Tabla 4). El primer factor corresponde a la concentración de EMa (10 y 20%). El segundo factor corresponde a los 4 tiempos de tratamiento (30, 37, 45 y 52 días). Se tuvieron tres repeticiones por cada tratamiento dando un total de 24 unidades de análisis. Sin embargo, al trabajarse en dos periodos diferentes de tiempo de tratamiento de 30 y 45 días, se utilizaron los mismos sistemas mixtos, por lo que se implementaron únicamente 06 sistemas de tratamiento.

Tabla 4. Arreglo Factorial para los sistemas de tratamiento mixto.

| Tratamientos | Dosis (%) | Tiempos (días) |
|--|------------------|-----------------------|
| Biorremediación / Fitorremediación | EM[10] | 30 |
| Biorremediación / Fitorremediación / Biorremediación | EM[10] | 37 |
| Biorremediación / Fitorremediación | EM[10] | 45 |
| Biorremediación / Fitorremediación / Biorremediación | EM[10] | 52 |
| Biorremediación / Fitorremediación | EM[20] | 30 |
| Biorremediación / Fitorremediación / Biorremediación | EM[20] | 37 |
| Biorremediación / Fitorremediación | EM[20] | 45 |
| Biorremediación / Fitorremediación / Biorremediación | EM[20] | 52 |

Croquis del sistema de tratamiento mixto de aguas residuales de curtiembre

En la Fig. 14, se muestra la disposición del sistema de tratamiento mixto. El nivel superior (nivel 3) corresponde a los baldes para el tratamiento de 22 y 37 día de biorremediación, el nivel inmediato inferior (nivel 2) corresponde a la ubicación de los humedales artificiales para fitorremediación. El nivel siguiente inferior (nivel 1) corresponde a la ubicación de la segunda línea de humedales artificiales. El nivel del suelo (nivel 0) corresponde a la ubicación de los baldes para el tratamiento con EMA de las aguas provenientes de la fitorremediación.

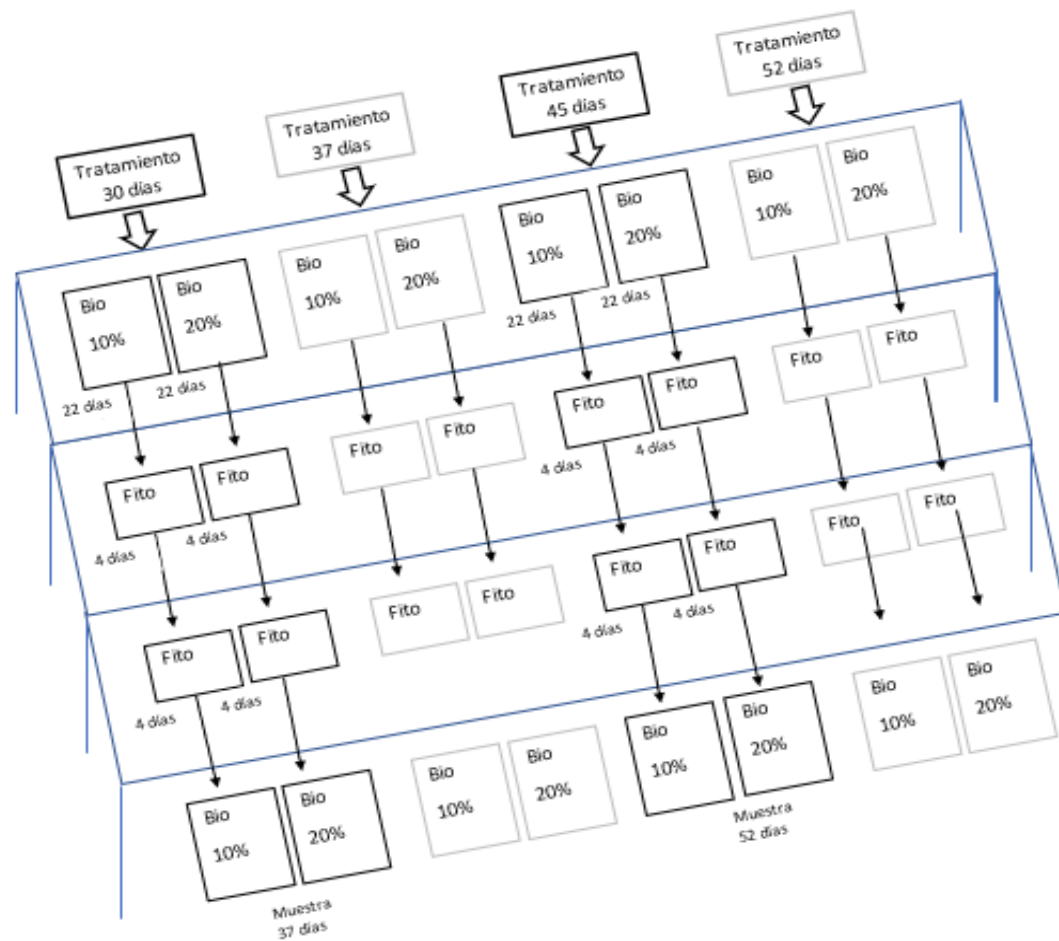


Figura 14. Croquis del diseño de tratamiento de las aguas residuales de curtiembre.

3.6. Método de análisis de datos

Para la comprobación de la distribución Normal de los datos se utilizó la prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov cuando se cuenta con más de 30 datos. En los casos de contar con menos de 30 datos, se consideró la prueba de Shapiro – Wilk. Luego de determinar la normalidad, para los casos en que los datos no

presentaron una distribución normal, se utilizó las Pruebas no Paramétricas de t de Wilcoxon para la comprobación de hipótesis de datos relacionados para dos muestras; para la comparación entre más de dos muestras se utilizó la prueba de Friedman para datos relacionados. Para datos de más de dos muestras independientes se utilizó la prueba de Kruskal - Wallis. Cuando los datos presentaron una distribución normal, se utilizaron las pruebas paramétricas de t de Student para muestras relacionadas, y ANOVA para más de dos muestras. En todas las pruebas se trabajó con un nivel de significancia de 0.05, por lo que todo valor de $p > 0.05$ permitió la aceptación de la H_0 . Se utilizó el programa estadístico SPSS versión 22 (IBM SSPS Statitics 22) para el procesamiento de datos.

3.7. Aspectos éticos

Los datos presentados corresponden completamente a los resultados obtenidos a partir de los análisis realizados a las unidades de tratamiento. No existe modificación o manipulación de datos. Asimismo, la información vertida en el presente trabajo de tesis presenta las referencias correspondientes a las citas redactadas en respeto a la propiedad intelectual de los autores consultados, evitando cualquier tipo de plagio.

IV. RESULTADOS

Determinación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre del Parque Industrial de Río Seco - Arequipa, 2021.

En la tabla 5, se presenta los valores que registraron las aguas residuales de curtiembre antes de iniciar el tratamiento. Se observa que los valores de los parámetros de pH y T°, se encuentran dentro de la norma ambiental nacional de los Valores Máximos Admisibles (VMA) en alcantarillado para curtiembres según D.S. 003-2002-PRODUCE, LMP (D.S. 003-2002-PRODUCE), ECA agua (004-2017-MINAM). Sin embargo, los valores de C.E., Cr total, DBO₅ y coliformes, exceden los valores establecidos en las normativas vigentes.

Tabla 5. Comparación entre los valores medidos en la muestra basal con los valores de las normas ambientales vigentes para curtiembres.

| Parámetros | Unidades | Muestra Basal | VMA | ECA/3D1 |
|--------------------|-----------|---------------|---------|-------------|
| pH | 0-14 | 7.04 | 6.0-9.0 | 6.5-8.5 |
| Temperatura | °C | 17.53 | <35 | ±3 |
| C.E | mS/cm | 35.6 | - | 2.5 |
| SDT | ppt | 17.5 | - | - |
| Salinidad | ppt | 20.65 | - | - |
| Elemento Cromo | mg/L | 87.05 | 10 | 0.1 |
| DBO ₅ | mg/L | 2082 | 500 | 15 |
| Coliformes Totales | NMP/100mL | 1700 000 000 | - | 1000 - 2000 |

Determinación de la variación en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre por efecto de la aplicación del 10 y 20% de EMA en un tratamiento mixto de 30 y 45 días.

En la Tabla 6 se muestra los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre tratadas por biorremediación y fitorremediación, en los periodos de 30 y 45 días.

Se observa que el tiempo de tratamiento, influye significativamente en todos los parámetros con respecto al basal (ver Anexo 6 y 7). En la comparación entre 30 y

45 días de tratamiento, de acuerdo con la prueba de U Mann Whitney (ver Anexo 8), no se observan diferencias significativas ($p>0.05$) en los parámetros de temperatura, Cr total y coliformes, a pesar de que es evidente que en el tratamiento de 45 días se encuentra una menor concentración de Cr y coliformes con respecto al tratamiento de 30 días. Asimismo, se encontró diferencias significativas ($p<0.05$) entre los demás parámetros, siendo los valores de pH y DBO₅ mayores en 45 días, y los valores de C.E., STD y salinidad, mayores, en el tratamiento de 30 días.

Tabla 6. Valores de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre tratadas en un sistema mixto por 30 y 45 días.

| Parámetro | Unidad | Basal | Días 30 | Wilcoxon | Días 45 | Wilcoxon | U Mann-Whitney |
|--------------------|------------|--------------|----------------|----------|-------------------|----------|----------------|
| pH | 0-14 | 7.04 | 7.24±0.057 | 0.000 | 7.30±0.097 | 0.000 | 0.000 |
| Temperatura | °C | 17.53 | 14.86±2.72 | 0.000 | 14.90±2.70 | 0.000 | 0.463 |
| C.E. | ms/cm | 35.6 | 26.06±4.34 | 0.000 | 22.83±7.69 | 0.000 | 0.000 |
| SDT | ppm | 17.5 | 12.98±2.19 | 0.000 | 11.19±1.56 | 0.000 | 0.000 |
| Salinidad | ppm | 20.65 | 14.93±2.79 | 0.000 | 12.73±1.96 | 0.000 | 0.000 |
| DBO ₅ | mg/L | 2082 | 7208.33±554.85 | 0.000* | 26800.00±15220.45 | 0.011* | 0.004 |
| Elemento Cromo | mg/L | 87.05 | 56.92±7.71 | 0.028 | 51.13±14.25 | 0.002* | 0.402* |
| Coliformes totales | NMP/100 ml | 1700 000 000 | 3.8±3.10 | 0.023 | 2.67±2.03 | 0.024 | 0.702 |

*Prueba de t de Student.

En cuanto al tratamiento con EMa (Tabla 7), se observa que existe un efecto significativo de ambas concentraciones (10% y 20%) con respecto al basal (ver Anexo 9 y 10). En la comparación entre 10% y 20% de EMa, de acuerdo con la prueba de U Mann Whitney (ver Anexo 11), no se observan diferencias significativas ($p>0.05$) en los parámetros de temperatura, DBO₅ y coliformes. Asimismo, se encontró diferencias significativas ($p<0.05$) entre los demás parámetros, siendo los valores de pH mayores en la concentración de 20% de EMa, y los valores de C.E., STD, salinidad y Cr Total mayores en el tratamiento de 10% de EMa.

Tabla 7. Valores de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre tratadas en un sistema mixto con EMa al 10% y 20%

| Parámetro | Unidad | Basal | EMa10% | Wilcoxon | EMa20% | Wilcoxon | U Mann-Whitney |
|--------------------|------------|--------------|--------------------|----------|-------------------|----------|----------------|
| pH | 0-14 | 7.04 | 7.27±0.077 | 0.000 | 7.29±0.10 | 0.000 | 0.000 |
| Temperatura | °C | 17.53 | 14.82±2.66 | 0.000 | 14.95±2.75 | 0.000 | 0.578 |
| C.E. | mS/cm | 35.6 | 25.69±8.28 | 0.000 | 22.56±4.20 | 0.000 | 0.000 |
| SDT | ppm | 17.5 | 12.64±2.12 | 0.000 | 11.17±1.64 | 0.000 | 0.000 |
| Salinidad | ppm | 20.65 | 14.53±2.70 | 0.000 | 12.70±2.05 | 0.000 | 0.000 |
| DBO ₅ | mg/L | 2082 | 27118.33±16849.077 | 0.028 | 19833.33±13655.06 | 0.028 | 0.749 |
| Elemento Cromo | mg/L | 87.05 | 57.92±8.90 | 0.002* | 46.99±5.91 | 0.028 | 0.025 |
| Coliformes totales | NMP/100 ml | 1700 000 000 | 2.23±1.44 | 0.024 | 2.80±2.34 | 0.023 | 0.702 |

La variación en los parámetros bajo estudio por efecto de la interacción entre los tratamientos de EMa (10 y 20%) y tiempo de exposición (30 y 45 días), se presentan en las tablas 8 y 9. Se puede observar que no existe diferencia significativa ($p < 0.05$) en los parámetros de temperatura, Cr total y coliformes entre los diferentes tratamientos. Por el contrario, los diferentes tratamientos si llevaron a diferencias significativas en los parámetros de pH, C.E., salinidad, STD y DBO₅ (ver Anexo 12).

En la figura 15 se muestra los valores de los parámetros estudiados frente a los diferentes tratamientos aplicados en el sistema mixto. Los mejores valores de pH (7.32), C.E. (21.70 mS/cm), salinidad (12.13 ppt), STD (10.70 ppt), Cr total (42.52 mg/L) y coliformes (1.8 NMP/100 ml), en referencia a los datos basales, fueron obtenidos con el tratamiento de 20% de EMa en el sistema mixto de 45 días. Sin embargo, el menor valor para DBO₅ (7146.67 mg/L) se encontró en el tratamiento con 20% de EMa en el sistema mixto de 30 días.

Tabla 8. Valores del contraste de hipótesis entre tratamientos de la prueba de Kruskal - Wallis para los parámetros de pH, C.E. Salinidad, STD, temperatura.

| Resumen de contrastes de hipótesis | | | | |
|---|---|--|-------------|----------------------------|
| Hipótesis nula | | Prueba | Sig. | Decisión |
| 1 | La distribución de pH es la misma entre categorías de EMa x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | .000 | Rechace la hipótesis nula |
| 2 | La distribución de CE es la misma entre categorías de EMa x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | .000 | Rechace la hipótesis nula |
| 3 | La distribución de Salt es la misma entre categorías de EMa x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | .000 | Rechace la hipótesis nula |
| 4 | La distribución de STD es la misma entre categorías de EMa x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | .000 | Rechace la hipótesis nula |
| 5 | La distribución de Temp es la misma entre categorías de EMa x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | .391 | Conserve la hipótesis nula |

Se muestran significancias asintóticas. El nivel de significación es de .050.

Tabla 9. Valores del contraste de hipótesis entre tratamientos de la prueba de Kruskal - Wallis para los parámetros de DBO5, Cr Total y Coliformes.

| Resumen de contrastes de hipótesis | | | | |
|---|---|--|-------------|----------------------------|
| Hipótesis nula | | Prueba | Sig. | Decisión |
| 1 | La distribución de DBO5 es la misma entre categorías de EMa x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | .038 | Rechace la hipótesis nula |
| 2 | La distribución de Cr Total es la misma entre categorías de EMa x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | .123 | Conserve la hipótesis nula |
| 3 | La distribución de Coliformes es la misma entre categorías de EMa x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | .136 | Conserve la hipótesis nula |

Se muestran significancias asintóticas. El nivel de significación es de .050.

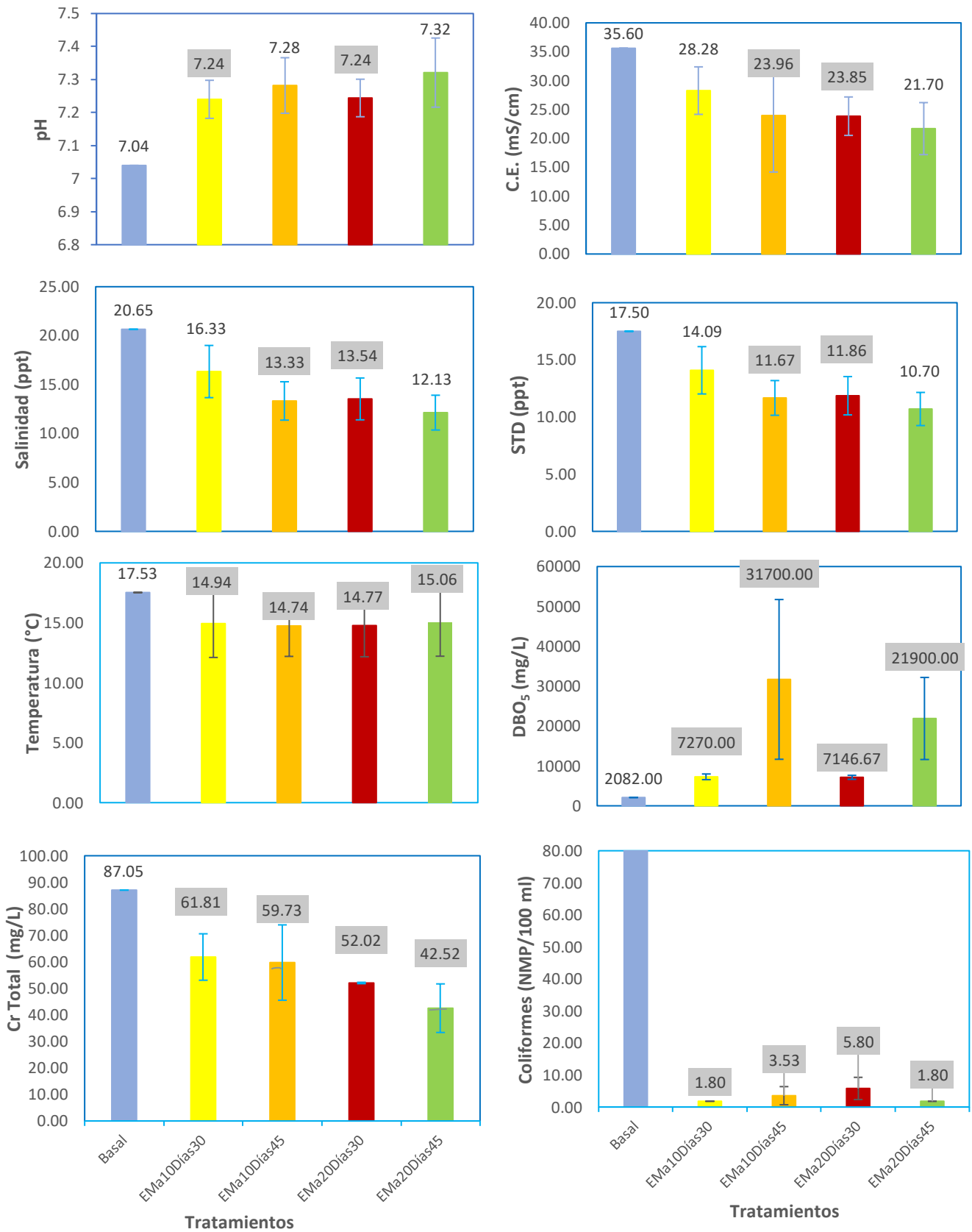


Figura 15. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre frente a los diferentes tratamientos del sistema mixto de biorremediación y fitorremediación.

Determinación de la variación en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre por efecto de la aplicación del 10 y 20% de EMA y fitorremediación con *E. crassipes* en un tratamiento de 37 y 52 días.

En la Tabla 10 se muestra los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre tratadas por biorremediación y fitorremediación, en los periodos de 37 y 52 días.

Se observa que el tiempo de tratamiento, influye significativamente en todos los parámetros con respecto al valor basal (ver Anexo 13 y 14). En la comparación entre 37 y 52 días de tratamiento, de acuerdo con la prueba de U Mann Whitney (ver Anexo 15), no se observan diferencias significativas ($p > 0.05$) en los parámetros de temperatura, Cr total, DBO₅ y coliformes. Se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los demás parámetros, siendo el valor de pH mayor en 52 días, y los valores de C.E., STD y salinidad, mayores, en el tratamiento de 37 días.

Tabla 10. Valores de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre tratadas en un sistema mixto por 37 y 52 días.

| Parámetro | Unidad | Basal | Días 37 | Wilcoxon | Días 52 | Wilcoxon | U Mann-Whitney |
|--------------------|------------|--------------|------------------|----------|-------------------|----------|----------------|
| pH | 0-14 | 7.04 | 7.26±0.067 | 0.000 | 7.32±0.11 | 0.000 | 0.000 |
| Temperatura | °C | 17.53 | 15.22±6.55 | 0.000 | 15.00±2.85 | 0.000 | 0.787 |
| C.E. | ms/cm | 35.6 | 25.23±4.43 | 0.000 | 22.23±3.92 | 0.000 | 0.000 |
| SDT | ppm | 17.5 | 12.98±2.93 | 0.000 | 11.12±3.60 | 0.000 | 0.000 |
| Salinidad | ppm | 20.65 | 14.43±2.83 | 0.000 | 12.51±1.98 | 0.000 | 0.000 |
| DBO ₅ | mg/L | 2082 | 38416.67±1237.20 | 0.000* | 21478.33±16170.32 | 0.028 | 0.337 |
| Elemento Cromo | mg/L | 87.05 | 51.27±6.51 | 0.028 | 50.51±7.57 | 0.000* | 0.937 |
| Coliformes totales | NMP/100 ml | 1700 000 000 | 1.80±0.00 | 0.014 | 1.80±0.00 | 0.014 | 1.000 |

*Prueba de t de Student.

En cuanto al tratamiento con EMA (Tabla 11), se observa que existe un efecto significativo de ambas concentraciones (10% y 20%) sobre los parámetros con respecto al valor basal (ver Anexo 16 y 17). En la comparación entre 10% y 20% de EMA, de acuerdo con la prueba de U Mann Whitney (ver Anexo 18), no se

observan diferencias significativas ($p > 0.05$) en los parámetros de temperatura, DBO₅ y coliformes. Se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los demás parámetros, siendo el valor de pH mayor en la concentración de 20% de EMa, y los valores de C.E., STD, salinidad y Cr Total mayores en el tratamiento de 10% de EMa.

Tabla 11. Valores de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre tratadas en un sistema mixto con EMa al 10% y 20%, después de la fitorremediación.

| Parámetro | Unidad | Basal | EMa10% | Wilcoxon | EMa20% | Wilcoxon | U Mann-Whitney |
|--------------------|------------|--------------|--------------------|----------|-------------------|----------|----------------|
| pH | 0-14 | 7.04 | 7.27±0.077 | 0.000 | 7.29±0.10 | 0.000 | 0.025 |
| Temperatura | °C | 17.53 | 14.82±2.66 | 0.000 | 14.95±2.75 | 0.000 | 0.190 |
| C.E. | mS/cm | 35.6 | 25.69±8.28 | 0.000 | 22.56±4.20 | 0.000 | 0.000 |
| STD | ppm | 17.5 | 12.64±2.12 | 0.000 | 11.17±1.64 | 0.000 | 0.000 |
| Salinidad | ppm | 20.65 | 14.53±2.70 | 0.000 | 12.70±2.05 | 0.000 | 0.000 |
| DBO ₅ | mg/L | 2082 | 27118.33±16849.077 | 0.028 | 19833.33±13655.06 | 0.028 | 0.337 |
| Elemento Cromo | mg/L | 87.05 | 57.92±8.90 | 0.000* | 46.99±5.91 | 0.000* | 0.023* |
| Coliformes totales | NMP/100 ml | 1700 000 000 | 2.23±1.44 | 0.014 | 2.80±2.34 | 0.014 | 1.000 |

*Prueba de t de Student.

La variación en los parámetros bajo estudio por efecto de la interacción entre los tratamientos de EMa (10 y 20%) y tiempo de exposición (37 y 52 días), se presentan en las tablas 12 y 13. Se puede observar que no existe diferencia significativa ($p < 0.05$) en los parámetros de temperatura, Cr total y coliformes entre los diferentes tratamientos. Por el contrario, los diferentes tratamientos si llevaron a diferencias significativas en los parámetros de pH, C.E., salinidad, STD y DBO₅ (ver Anexo 19).

En la figura 16 se muestra los valores de los parámetros estudiados frente a los diferentes tratamientos aplicados en el sistema mixto. Los mejores valores de pH (7.33), C.E. (21.19 mS/cm), salinidad (11.84 ppm), STD (10.46 ppm), Cr total (46.13 mg/L) y DBO₅ (1.8 NMP/100 ml), en referencia a los datos basales, fueron obtenidos con el tratamiento de 20% de EMa en el sistema mixto de 52 días.

Tabla 12. Valores del contraste de hipótesis entre tratamientos de la prueba de Kruskal - Wallis para los parámetros de pH, C.E. Salinidad, STD, temperatura y coliformes, a los 37 y 52 días de tratamiento en sistema mixto.

| Resumen de contrastes de hipótesis | | | | |
|---|---|--|-------------|-----------------------------|
| Hipótesis nula | | Prueba | Sig. | Decisión |
| 1 | La distribución de pH es la misma entre categorías de EMa x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | .000 | Rechace la hipótesis nula. |
| 2 | La distribución de CE es la misma entre categorías de EMa x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | .000 | Rechace la hipótesis nula. |
| 3 | La distribución de Salt es la misma entre categorías de EMa x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | .000 | Rechace la hipótesis nula. |
| 4 | La distribución de STD es la misma entre categorías de EMa x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | .000 | Rechace la hipótesis nula. |
| 5 | La distribución de Temp es la misma entre categorías de EMa x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | .230 | Conserve la hipótesis nula. |
| Resumen de contrastes de hipótesis | | | | |
| Hipótesis nula | | Prueba | Sig. | Decisión |
| 1 | La distribución de Coliformes es la misma entre categorías de EMa x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | 1.000 | Conserve la hipótesis nula. |

Se muestran significancias asintóticas. El nivel de significación es de .050.

Tabla 13. Valores del contraste de hipótesis entre tratamientos de la prueba de ANOVA para los parámetros de DBO₅ y Cr total a los 37 y 52 días de tratamiento en sistema mixto.

| ANOVA | | | | | | |
|----------------|------------------|--------------------------|-----------|-------------------------|----------|-------------|
| | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| DBO5 | Entre grupos | 1501231825 | 3 | 500410608.3 | 5.935 | 0.020 |
| | Dentro de grupos | 6745539800.0 | 8 | 84317475 | | |
| | Total | 2175771625 | 11 | | | |
| CrTotal | Entre grupos | 212.512 | 3 | 70.837 | 1.970 | .197 |
| | Dentro de grupos | 287.668 | 8 | 35.958 | | |
| | Total | 500.180 | 11 | | | |

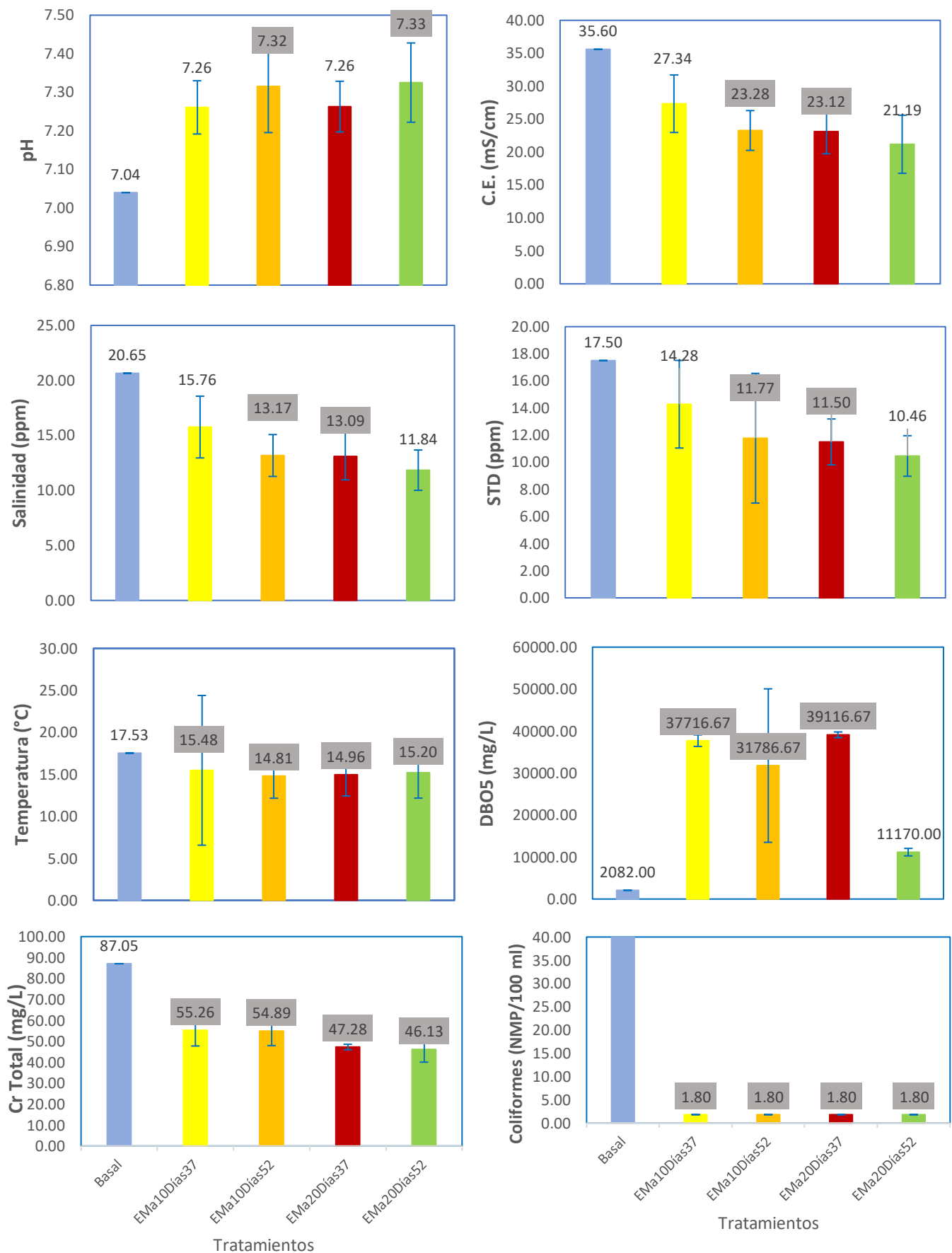


Figura 16. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre frente a los diferentes tratamientos del sistema mixto de biorremediación, fitorremediación y biorremediación.

No se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) para temperatura y coliformes, entre los tratamientos aplicados.

Determinación de la variación en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales de curtiembre por efecto de la aplicación del 10 y 20% de EMA y fitorremediación con *E. crassipes* en los tratamientos de 30, 45, 37 y 52 días.

En las tablas 14 y 15, se muestra la comparación de los valores de los parámetros evaluados en respuesta a los 8 tratamientos aplicados. Se observa que hay diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos aplicados con excepción de los parámetros de temperatura, coliformes y Cr total (Ver Anexo 20).

Tabla 14. Valores del contraste de hipótesis entre los 8 tratamientos aplicados, para los parámetros de pH, C.E. Salinidad, STD, temperatura.

| Resumen de contrastes de hipótesis | | | | |
|---|---|--|-------------|-----------------------------|
| | Hipótesis nula | Prueba | Sig. | Decisión |
| 1 | La distribución de pH es la misma entre categorías de EMA x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | .000 | Rechace la hipótesis nula. |
| 2 | La distribución de CE es la misma entre categorías de EMA x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | .000 | Rechace la hipótesis nula. |
| 3 | La distribución de Salt es la misma entre categorías de EMA x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | .000 | Rechace la hipótesis nula. |
| 4 | La distribución de STD es la misma entre categorías de EMA x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | .000 | Rechace la hipótesis nula. |
| 5 | La distribución de Temp es la misma entre categorías de EMA x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | .274 | Conserve la hipótesis nula. |
| Resumen de contrastes de hipótesis | | | | |
| | Hipótesis nula | Prueba | Sig. | Decisión |
| 1 | La distribución de Coliformes es la misma entre categorías de EMA x Días. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes. | 0.055 | Conserve la hipótesis nula. |

Se muestran significancias asintóticas. El nivel de significación es de .050.

Tabla 15. Valores del contraste de hipótesis entre los 8 tratamientos aplicados, para los parámetros de DBO₅ y Cr Total.

| ANOVA | | | | | | |
|----------------|------------------|------------|----|-------------|-------|-------|
| | | Suma de | gl | Media | F | Sig. |
| | | cuadrados | | cuadrática | | |
| DBO5 | Entre grupos | 3801994117 | 7 | 543142016.7 | 5.141 | 0.003 |
| | Dentro de grupos | 1690306267 | 16 | 105644141.7 | | |
| | Total | 5492300383 | 23 | | | |
| CrTotal | Entre grupos | 960.095 | 7 | 137.156 | 2.168 | 0.095 |
| | Dentro de grupos | 1012.363 | 16 | 63.273 | | |
| | Total | 1972.459 | 23 | | | |

En las figuras 17 y 18, se muestra los valores de los parámetros estudiados frente a los diferentes tratamientos aplicados en el sistema mixto. Los mejores valores de pH (7.32 y 7.33), C.E. (21.70 y 21.19 mS/cm), salinidad (12.13 y 11.84 ppm), STD (10.70 y 10.46 ppm) y Cr total (42.52 y 46.13 mg/L) se obtuvieron en el tratamiento de EMa 20%, en los tiempos de 45 y 52 días respectivamente. El mejor valor para el parámetro de DBO₅ (7146.67 mg/L), se obtuvo también con la concentración de 20% de EMa, pero en el tiempo de 30 días. No se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) para los parámetros de T° y coliformes, sin embargo, para este último se registró una abrupta disminución con el tratamiento de 10% de EMa en 30 días (< 1.8 NMP/100 ml). Los resultados mostrados nos permiten inferir que el mejor tratamiento sería en la concentración de 20% de EMa en un periodo de tiempo de 45 días.

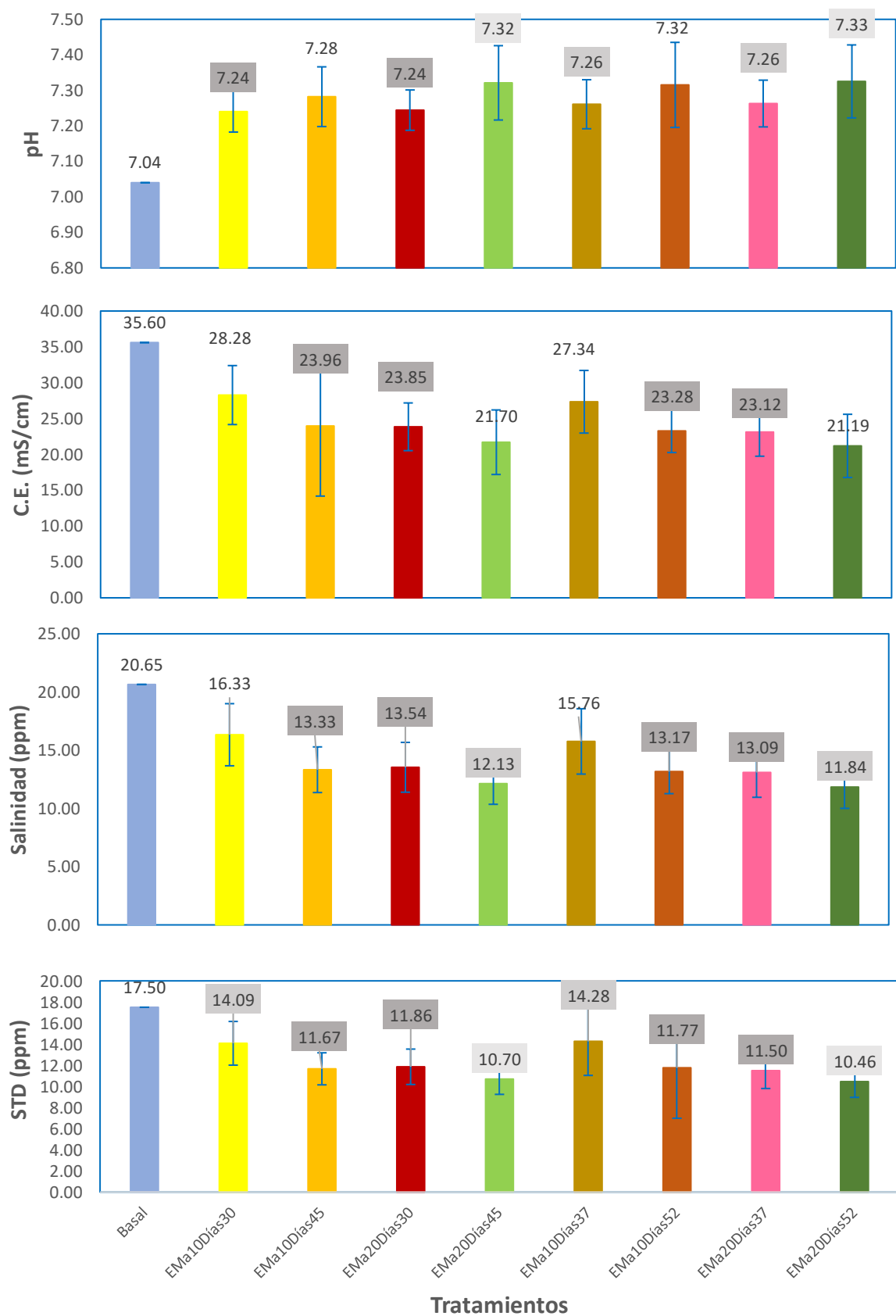


Figura 17. Resultados de los parámetros de pH, C.E., Salinidad y STD, de las aguas residuales de curtiembre frente a los diferentes tratamientos del sistema mixto de biorremediación, fitorremediación y biorremediación.

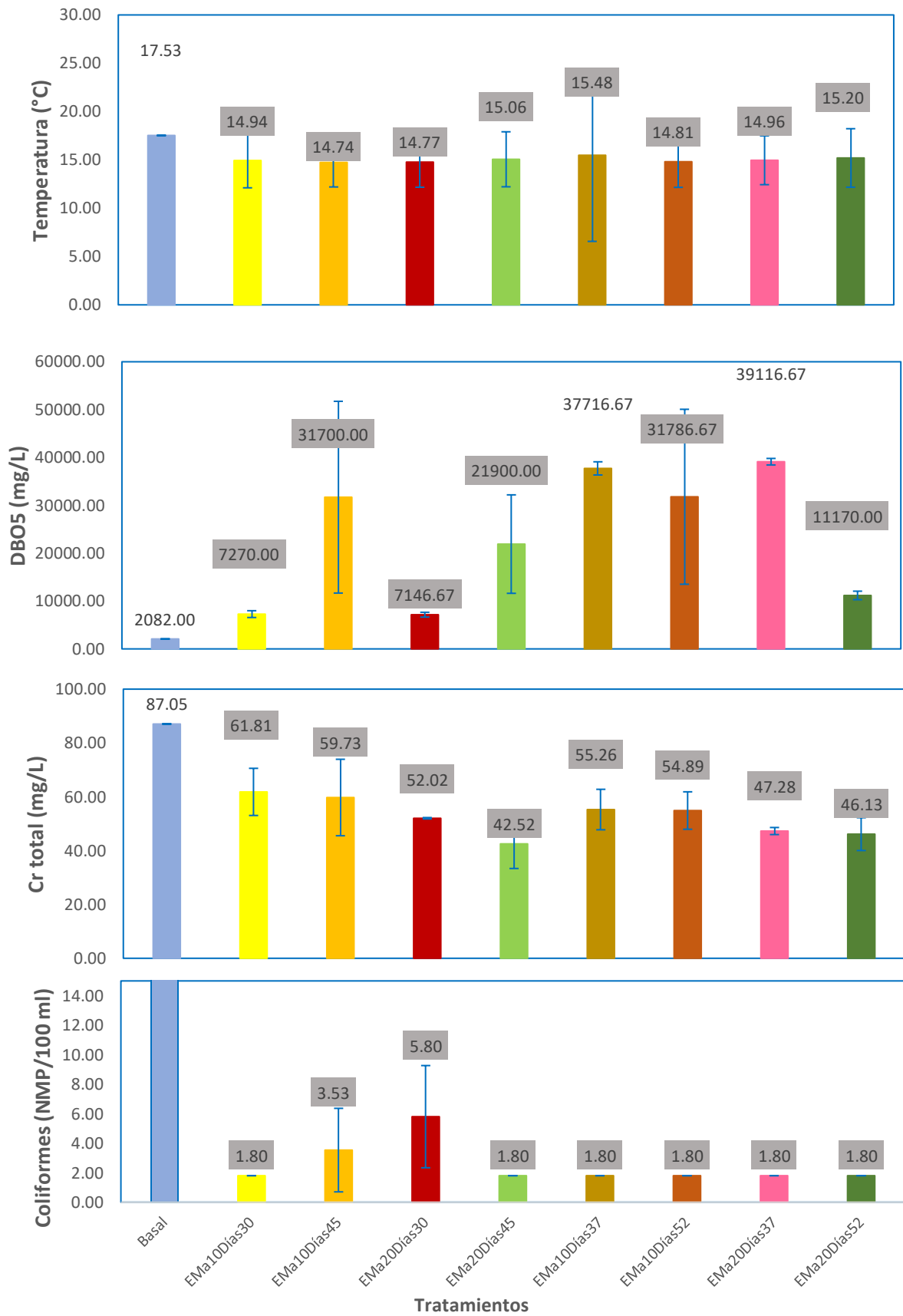


Figura 18. Resultados de los parámetros de T°, DBO5, Cr Total, Coliformes, de las aguas residuales de curtiembre frente a los diferentes tratamientos del sistema mixto de biorremediación, fitorremediación y biorremediación.

V. DISCUSIÓN

La calidad de las aguas residuales de curtiembre del PIRS, no cumple con los valores establecidos en la normativa vigente como se evidencia en los parámetros evaluados en los efluentes de la curtiembre Pacheco (Tabla 5). Este alto nivel de contaminación se debe a que, en el proceso de curtido, se desarrollan etapas como el pelambre que genera gran cantidad de materia orgánica, al igual que el descarnado y dividido (18% residuo sólido o materia orgánica), principalmente representada por pelo, grasa y carnaza (Produce 2017).

En la etapa de desencalado y purga, por la elevada cantidad de productos químicos como hidróxido de calcio y sulfuros (pelambre) en adición con el sulfato de amonio, se genera efluentes cuya carga química les confiere un elevado pH alcalino. En contrapeso, en el proceso de curtido la aplicación de sustancias cromadas, lleva a reacciones químicas que por la acidez presentada mitiga la alcalinidad de los efluentes liberados en la etapa anterior (piquelado) (Produce 2017).

Lo descrito anteriormente, explicaría el por qué los valores de pH de las aguas residuales evaluadas, se encuentra cercano a la neutralidad (7.04), así como también, que los parámetros de C.E., salinidad, STD, DBO5, cromo total y coliformes totales, se encuentren por encima de los valores establecidos por la normativa ambiental.

Este resultado, es concordante con lo reportado por Arizábal (2018), quien señala que las aguas residuales de la curtiembre CUR. LIB S.A.C. del PIRS, presentan un pH de 3.95 en el proceso de curtido y entre 12.86 y 9.07 en los procesos de pelambre y desencalado, respectivamente. Asimismo, Mayta y Mayta (2017) reportaron que el pH del agua residual del proceso de curtido provenientes del centro de investigaciones y producción de la UNAP estuvo dentro del rango de acidez (4.22). Por otro lado, Umbarila, Prado y Agudelo (2019) encontraron un pH promedio alcalino de 11.5 en las aguas residuales de pelambre de una curtiembre en Colombia.

En el caso de la temperatura, no se encuentra influenciada directamente por ninguna de las etapas del proceso de curtido en la curtiembre Pacheco S.R.Ltda, sin embargo, existe una reacción exotérmica baja debido a las reacciones químicas

entre los ácidos e hidróxidos. Para este caso, se registró un valor de 17.53°C en el agua residual de curtiembre, que no supera lo establecido en la normativa del VMA.

Al respecto Arizábal (2017), reportó que la temperatura oscila en las diferentes etapas del proceso, así las temperaturas registradas fueron: etapa de curtido (20.4°C), pelambre (20.5°C) y desencalado (21°C). Adicionalmente, Mayta y Mayta (2017), evaluaron la temperatura en las aguas residuales del proceso de curtido, obteniéndose un valor de 15°C.

En las etapas de desencalado - purga y piquelado en la curtiembre Pacheco S.R.Ltda, se utilizan sales como cal apagada (Ca(OH)_2), sulfato de amonio ($\text{NH}_4(\text{SO}_4)_2$) y cloruro de sodio (NaCl) respectivamente (PRODUCE, 2015). Estas sales, disueltas en agua, se descomponen en iones cargados positiva y negativamente confiriendo al agua la capacidad de conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos. Los iones más positivos son sodio (Na^+) y calcio (Ca^{+2}); los iones más negativos son cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{-2}), carbonato y bicarbonato (Solís – Castro et al., 2018).

Al parecer, los insumos químicos empleados son los responsables de la alta conductividad eléctrica (35.6 mS/cm o 35600 $\mu\text{S/cm}$) presente en la muestra basal del agua residual de curtiembre tratada, debido a sus iones libres en el agua. Dicho parámetro supera en 17.8 veces el valor del ECA para la categoría 3 y la subcategoría D1 riego de vegetales. Asimismo, la C.E. incrementa conforme incrementa la temperatura que promueve el movimiento de partículas, es directamente proporcional a los STD y tienen un factor de conversión de 1.428, por lo que a medida que incrementa la C.E. también incrementa la cantidad de STD (Solís – Castro et al., 2018).

Valores similares fueron reportados por Mayta y Mayta (2017), quienes señalan que la C.E. en aguas residuales del proceso de curtido es de 36.05 mS/cm. Por lo tanto, se observa la concordancia con el resultado obtenido en la presente investigación.

En la etapa de preremoyo y remoyo de la curtiembre Pacheco S.R.Ltda., se genera la mayor parte de sólidos disueltos totales (17.5 ppt ó 17500 mg/L de SDT) proveniente principalmente del polvo o tierra de las pieles del ganado bovino traída desde los establos y de algunos insumos químicos como los detergentes (tensoactivos), llevando a que este parámetro supere en 14.58 veces el valor

referencial (1200 mg/L) de la norma internacional de calidad del agua y control de descargas (AG-CC-01) de República Dominicana para vertidos industriales a los cuerpos hídricos receptores (SEMAYRN, 2001). Se utiliza una norma ambiental internacional debido a que la normativa nacional vigente no considera este parámetro fisicoquímico para efluentes industriales a los cuerpos de agua.

Umbarila, Prado y Agudelo (2019), reportan un resultado menor de sólidos disueltos totales de 17,36 mg/L en la muestra de agua residual de curtido con respecto al resultado obtenido en la presente investigación (17500mg/L) de SDT. Lo que se debería a que cada curtiembre sigue un proceso de curtido distinto, de acuerdo con sus condiciones y finalidad de producción.

En la etapa de piquelado está presente el cloruro de sodio (NaCl) que confiere elevada salinidad a la muestra basal de las aguas residuales de la curtiembre Pacheco S.R.Ltda., con un valor de 20.65 ppt (g/L), que comparado con la salinidad del agua potable (500mg/L) según el ECA vigente, supera en 41.3 veces el valor establecido en la normativa ambiental.

El rango de salinidad registrado (20.65 g/L), lleva a considerar a estos efluentes dentro de la categoría de baja calidad para el riego de cultivos, superando en 26.82 veces el valor de salinidad que presenta el agua de riego de buena calidad (<0.77 g/L) (Acosta y Salvadori, 2017).

Chiclote et al. (2020), reportaron un valor de 16.30% para la salinidad del agua residual de remojo de una curtiembre en Trujillo. Dicho valor es mayor al obtenido en la presente investigación (2.065% o 20.65ppt).

El parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) en los residuos líquidos de la curtiembre Pacheco S.R.Ltda., mide la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica (piel, pelos, grasas, etc), mediante procesos biológicos aerobios, por lo que el elevado valor de 2082 mg/L (ppm), el cual es 4.16 veces mayor que lo indicado en la normativa de LMP, responde al elevado contenido de materia orgánica en las aguas residuales de curtiembre (Rodríguez et al., 2022).

Arizábal (2018), reportó valores de DBO5 (1271, 3154.8 y 5105.6 mg/L) para tres tipos de agua diferentes, tales como curtido, pelambre y desencalado; los mismos

que promediados dan un valor (3177.1mg/L) de DBO5, superior al obtenido en la presente investigación, al igual que Cristancho et al (2019), que reportaron un valor de 5187.5 mg/L en los datos iniciales de las aguas residuales de curtiembre. Así mismo, Chiclote et al. (2020), reportaron un valor de 2500 mg/L de DBO5 para el agua residual de remojo, el mismo que es semejante al valor encontrado en la presente investigación (2082 mg/L).

En la etapa de curtido de la curtiembre Pacheco S.R.Ltda., se utiliza el óxido de cromo (Cr_2O_3) para convertir la piel putrescible en cuero imputrescible. Una parte significativa del cromo empleado, es liberado en el agua, por lo que en la muestra basal de las aguas residuales se registró la concentración de 87.05 mg/L de cromo total, superando en 8.7 y 43.5 veces lo establecido en las normas ambientales VMA y LMP respectivamente.

Arizábal (2018), reportó valores de cromo total de 4540, 0.11 y 0.80 mg/L para curtido, pelambre y desencalado respectivamente, los cuales están por encima del valor encontrado en la presente investigación (87.05mg/L). Estos niveles son consecuencia de procesos ejecutados durante la operación de curtido, lo que conlleva a la alta concentración de contaminantes que impactan negativamente a la calidad del agua imposibilitando que sea utilizada en procesos de riego y mucho menos sea vertida al alcantarillado sin conllevar al aumento de enfermedades gastrointestinales en los pobladores aledaños de la zona industrial (Cristancho et al., 2019).

La presencia de coliformes totales en las aguas residuales de la curtiembre Pacheco S.R.Ltda, se deben a la presencia de los restos fecales impregnados en las pieles del ganado bovino. El valor obtenido en la muestra basal del agua residual de curtiembre para coliformes totales es 1700 000 000 NMP/100ml, que supera en 680 000 veces lo establecido según el ECA de la norma internacional (AG-CC-01) de República Dominicana de la clase B para descargas en aguas superficiales con previo tratamiento.

Cerna y Rivera (2019), reportaron el valor referencial de este parámetro microbiológico (coliformes totales) en las aguas residuales domésticas de la ciudad de Chimbote (lagunas de oxidación) de 35×10^6 NMP/100 ml. Por otro lado, no se

encontró datos basales para este parámetro en efluentes de curtiembre en investigaciones anteriores.

El tiempo de exposición al tratamiento por el sistema mixto de biorremediación y fitorremediación, tuvo influencia en la mayoría de los parámetros evaluados en las aguas residuales de curtiembre. El pH incrementó conforme aumentaban los días de tratamiento de 30 días (7.24), 37 días (7.26), 45 días (7.30) y 52 días (7.32) en comparación con el valor basal (7.04). Por otro lado, los resultados obtenidos según las aplicaciones de EMa 10 y 20% en 30, 37, 45 y 52 días para pH fueron similares: EMa10% 30-45 (7.27), EMa20% 30-45 (7.29), EMa10% 37-52 (7.29) y EMa20% 37-52 (7.30). Dichos resultados de pH están dentro de los Valores Máximos Admisibles (6.0 - 9.0) en alcantarillado según D.S 021-2009-VIVIENDA y en los LMP (6.0 – 9.0) para curtiembre según D.S 003-2002-PRODUCE.

Estos resultados guardan relación con lo reportado por Carhuaricra (2019), quien reportó un ligero aumento del pH en función del tiempo, pero solo a partir de 31.2 horas (de 6.2 a 6.6) en el tratamiento por fitorremediación de aguas residuales. En contraste, Coronel (2016), determinó que en el tratamiento de aguas residuales domésticas con *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, el pH disminuyó de 8.73 a 7.20 con *Eichhornia crassipes* y con *Lemna minor* de 8.73 a 7.96, después de 10 días de tratamiento.

Al parecer, la actividad de los EM así como la simbiosis vegetal y microbiana a nivel radicular en los humedales, estaría llevando a mantener el pH entre el rango de 7, adecuado para el riego de vegetales según la norma vigente.

Al respecto, Morocho (2017), evaluó tres tratamientos de 4 repeticiones en aguas residuales de curtiembre, tratamiento fisicoquímico (floculante – coagulante) y dos tratamientos con microorganismos eficientes (EMAs obtenidas y EM1 comerciales (EMR), obteniendo resultados de pH promedio: EM1 (5.89), EMAs (7.12), testigo (11.29), y TFQ (9.59) en 28 días de tratamiento. La diferencia en el pH en cuanto a la aplicación de EM, puede deberse a que Morocho utilizó el producto EM1, mientras que en este trabajo se utilizó EM agua, específico para el tratamiento de aguas residuales.

Por otro lado, Gavilánez (2015), realizó cuatro tratamientos: *Eichhornia crassipes* (T1), bacterias comerciales (T2), microorganismos nativos (T3) y un testigo

absoluto (T4) de tres repeticiones cada uno para aguas residuales domésticas en un TRH de 7 y 14 días, donde el resultado de pH para cada tratamiento fue: 6.8 (T1), 7.5 (T2), 7.1 (T3) y 7.4 (T4) para 14 días de duración del experimento. Estos resultados corroboran lo encontrado en nuestra investigación con respecto a que los productos de EM comerciales promueven mantener el pH entorno a la neutralidad, mientras que la simbiosis a nivel radicular y sus microorganismos, tiende a la disminución de pH, efecto que también se evidencia en el trabajo de Carhuaricra (2019).

Los resultados obtenidos para pH en la presente investigación, estarían indicando que la aplicación de EM con pH (6.22) influiría en la variación de este parámetro fisicoquímico, su alcalinidad se debería a que el número de átomos oxhidrilo (OH-) excede a los átomos de hidrógeno (H+) en las aguas de la curtiembre Pacheco S.R.Ltda. DIGESA (2001); tal es el caso, de los compuestos químicos encontrados como la cal hidratada Ca(OH)_2 e hidróxido de magnesio Mg(OH)_2 (PRODUCE, 2017). Dichos resultados están dentro de los Valores Máximos Admisibles (VMA) en alcantarillado según D.S 021-2009-VIVIENDA y en los LMP para curtiembre según D.S 003-2002-PRODUCE.

La temperatura, por efecto del tratamiento en el sistema mixto, disminuyó ligeramente a 30 días (14.86 °C), 37 días (15.22 °C), 45 días (14.90 °C) y 52 días (15 °C), con respecto al basal (17.53 °C). Por otro lado, los resultados obtenidos según las aplicaciones de EMa 10 y 20% en 30, 37, 45 y 52 días para temperatura fueron: EMa10% 30-45 (14.82 °C), EMa20% 30-45 (14.95 °C), EMa10% 37-52 (15.10 °C) y EMa20% 37-52 (15.10 °C), manteniéndose la temperatura dentro de lo establecido por la norma ambiental de los Valores Máximos Admisibles (<35°C) en alcantarillado según D.S. 021-2009-VIVIENDA y LMP (35°C) según D.S. 003-2002-PRODUCE.

De acuerdo con Gavilánez (2015), reportó las temperaturas para cada tratamiento: *Eichhornia crassipes* (T1= 25.3°C), bacterias comerciales (T2= 26.5°C), bacterias nativas (T3= 26.3°C) y el testigo absoluto (T4= 25.5°C) en un tiempo de retención hidráulica de 14 días para aguas residuales domésticas.

Al respecto, Carhuaricra (2019) reportó valores de temperatura de 21.0, 24.0, 27.0 y 24 °C, en función al tiempo de retención hidráulica de ARD del sistema en 23.4,

31.2, 39 y 46.8 horas respectivamente, observando que la temperatura aumentó en función al tiempo de tratamiento.

Coronel (2016), al trabajar con *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, para el tratamiento de aguas residuales, encontró que la temperatura disminuyó de 20.45 a 19.98 °C con *Eichhornia crassipes* a diferencia de *Lemna minor* que aumentó la temperatura de 20.45 a 20.85 °C, después de 10 días de tratamiento para ambos casos.

La temperatura obtenida por la aplicación de EM, tal como lo reporta Delgado (2019), dependió más de las condiciones climatológicas, como la temperatura ambiental y radiación, presentándose valores mínimos de 14.74 °C y máximos de 15.48 °C según el autor. En nuestro caso, la temperatura máxima y mínima del ambiente, fluctuó entre 7.8°C la mínima y 28.7 °C la máxima.

La conductividad disminuyó sus valores a los 30 días (26.06 mS/cm), 37 días (25.23 ms/cm), 45 días (22.83 mS/cm) y 52 días (22.23 mS/cm) de tratamiento con respecto a la muestra basal (35.6 mS/cm). Por otro lado, los resultados obtenidos según las aplicaciones de EMa 10 y 20% en 30, 37, 45 y 52 días para conductividad fueron similares: EMa10% 30-45 (25.69 mS/cm), EMa20% 30-45 (22.56 mS/cm), EMa10% 37-52 (24.97 mS/cm) y EMa20% 37-52 (21.99 mS/cm). A pesar de ello, se mantuvo por encima del valor establecido por el ECA para Agua, Categoría 3: Riego de vegetales (2.5 mS/cm) de acuerdo con el D.S. N° 004-2017-MINAM.

Al respecto, Carhuaricra (2019), señala que los valores de conductividad en las aguas residuales domésticas fueron de 487, 414, 342 y 315 μ S/cm, en función al tiempo de retención del sistema de humedales en 23.4, 31.2, 39 y 46.8 horas respectivamente, concordante con la disminución de C.E. conforme se incrementa el tiempo de tratamiento.

Coronel (2016), señala que la conductividad eléctrica en aguas residuales domésticas disminuyó de 1226.75 a 113.25 μ S/cm con *Eichhornia crassipes* y con *Lemna minor*, de 1226.75 a 346.5 μ S/cm, después de 10 días de tratamiento para ambos casos, lo que señala que nuevamente la actividad vegetal y microbiana interactúa con la presencia de iones en el medio acuático como resultado de sus procesos metabólicos.

Si bien es cierto, existe una disminución significativa con respecto al valor basal (35.6 mS/cm) de la conductividad para la presente investigación, la misma no es suficiente para alcanzar el ECA respectivo. Los valores obtenidos, se debería a la alta concentración de sales (NaCl) y el óxido de magnesio (MgO) presente en las aguas residuales de curtiembre (DIGESA, 2001).

Los valores de sólidos disueltos totales también mostraron reducción conforme se incrementó el tiempo de exposición al tratamiento mixto de 30 días (12.98 ppt ó 12980 ppm), 37 días (12.98 ppt ó 12980 ppm), 45 días (11.19 ppt ó 11190 ppm) y 52 días (11.12 ppt ó 11120 ppm), con respecto al valor basal (17.5 ppt ó 17500 ppm). Por otro lado, los resultados obtenidos según las aplicaciones de EMa 10 y 20% en 30, 37, 45 y 52 días para SDT fueron similares: EMa10% 30-45 (12.64 ppt ó 12640 ppm), EMa20% 30-45 (11.17 ppt ó 11170 ppm), EMa10% 37-52 (12.81 ppt ó 12810 ppm) y EMa20% 37-52 (10.90 ppt ó 10900 ppm). Sin embargo, a pesar de la reducción observada, excede el valor de la norma internacional (AG-CC-01) para LMP en aguas superficiales (1200 ppm).

Resultados similares fueron reportados por Sarango y Sánchez (2016), quienes en la fitorremediación con *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, utilizaron arena, gravilla, grava y piedra pómez para la remoción de contaminantes en aguas residuales domésticas, señalando que los sólidos totales se redujeron de 36 250 a 1 495 mg/L con *Eichhornia crassipes* y con *Lemna minor* de 36 250 a 8 985 mg/L. Si bien concuerdan con la tendencia a la disminución de STD, ésta es mucho mayor en lo reportado por Sarango y Sánchez (2016), lo cual puede vincularse a que el sustrato del humedal artificial estaría trabajando como un filtro adsorbente, lo que sugeriría comprobarse en una investigación posterior.

Así mismo, Morocho (2017), reportó los resultados promedios para sólidos totales en aguas residuales de curtiembre para cada tratamiento evaluado: EM1 (14992 mg/L), EMAs (16113.5 mg/L), testigo (10143 mg/L) y el TFQ (8703.5 ppm) en 28 días de tratamiento, demostrando menor eficiencia del tratamiento microbiológico con respecto al tratamiento fisicoquímico para este parámetro.

El tratamiento por fitorremediación con *Eichhornia crassipes*, influiría positivamente en la disminución de STD, debido a que aprovecha especialmente los componentes

inorgánicos para su crecimiento y cuanto mayor sea el tiempo de retención hidráulica en el sistema menor será la cantidad de sólidos totales en suspensión.

La salinidad después del tratamiento se redujo en 30 días (14.93 ppt ó 1.49%), 37 días (14.43 ppt ó 1.44%), 45 días (12.73 ppt ó 1.27%) y 52 días (12.51 ppt ó 1.25%), respecto al valor basal de 20.65 ppt ó 2.06%. Por otro lado, los resultados obtenidos según las aplicaciones de EMa 10 y 20% en 30, 37, 45 y 52 días para salinidad fueron similares: EMa10% 30-45 (14.53 ppt ó 1.45%), EMa20% 30-45 (12.70 ppt ó 1.27%), EMa10% 37-52 (14.25 ppt ó 1.42%) y EMa20% 37-52 (12.36 ppt ó 1.23%). La presencia de sales como el NaCl y la dureza (Mg y Ca) determinan el alto o bajo valor de salinidad en un agua. Los resultados obtenidos comparados con la dureza del agua potable según el ECA están dentro del valor establecido en la norma ambiental (500 mg/L).

Sobre este parámetro, Chiclote et. al. (2020), reportaron un valor de 16.30% para la salinidad del agua residual de remojo de una curtiembre por efecto del uso de microalgas *Chlorella pyrenoidosa* en un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 6 días. Dicho valor, es menor al obtenido en la presente investigación. Así mismo, Morales y Castellanos (2018), obtuvieron valores de salinidad diferentes en dos prototipos de humedales: P1, grava, arena y juncos (0.10%) y P2, grava, arena, antracita y juncos (0.20%) para agua superficial de río durante un tratamiento de 21 días en cada caso. Nuevamente se evidencia que el tipo de sustrato en el humedal artificial, es un factor para tener en cuenta en el sistema de tratamiento de aguas residuales por fitorremediación.

El parámetro de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), después del tratamiento mixto aumentó a los 30 días (7208.33 mg/L), 37 días (38416.67 mg/L); y disminuyó ligeramente a los 45 días (26800.00 mg/L) y 52 días (21478.33 mg/L), encontrándose siempre por encima del valor basal de 2082 mg/L. Por otro lado, los resultados obtenidos según las aplicaciones de EMa 10 y 20% en 30, 37, 45 y 52 días para DBO5 fueron similares: EMa10% 30-45 (27118.33 mg/L), EMa20% 30-45 (19833.33 mg/L), EMa10% 37-52 (34751.67 mg/L) y EMa20% 37-52 (25143.33 mg/L).

Esta variación se debería al alto contenido orgánico (pelos, aceites y grasas, sangre, etc.) a consecuencia de la falta de un tratamiento primario para dichas

aguas de curtiembre, lo que conlleva a un elevado consumo del oxígeno disuelto en el medio acuoso (Arizábal, 2018), causando que los valores de DBO5, excedan los valores establecidos en la normativa vigente de VMA y LMP (500 mg/L).

Al respecto, Morocho (2017), determinó los valores promedio de DBO5 para aguas residuales de curtiembre en los tratamientos de EM1 (8325 mg/L), EMAs (9768 mg/L), testigo (3525 mg/L) y el TFQ (1757mg/L) en 28 días de tratamiento, evidenciando que sólo con el tratamiento fisicoquímico se disminuyó el valor de este parámetro.

En contraste, Pérez (2019), quien diseñó un sistema con humedales artificiales utilizando *Eichhornia crassipes*, reportó que el DBO5 se redujo de 131.33 a 53 mg/L, lo que es congruente con lo reportado por Coronel (2016), quien determinó la eficiencia de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, para el tratamiento de aguas residuales, donde el DBO5 disminuyó de 169.39 a 7.53 mg/L, con *Eichhornia crassipes* y con *Lemna minor* de 169.39 a 24.51 mg/L, después de 10 días de tratamiento.

Es evidente que, si bien la actividad microbiana por sí sola no logra disminuir el valor de DBO5, la actividad vegetal demostraría un efecto positivo sobre este parámetro en el tratamiento de aguas residuales.

El parámetro de cromo total después del tratamiento mixto se redujo en 30 días (56.92 mg/L), 37 días (51.27 mg/L), 45 días (51.13 mg/L) y 52 días (50.51 mg/L) con respecto al valor basal de 87.05 mg/L. Por otro lado, los resultados obtenidos según las aplicaciones de EMa 10 y 20% en 30, 37, 45 y 52 días para cromo total fueron similares: EMa10% 30-45 (57.92 mg/L), EMa20% 30-45 (46.99 mg/L), EMa10% 37-52 (55.08 mg/L) y EMa20% 37-52 (46.70 mg/L).

Sin embargo; los resultados obtenidos para cromo total, se mantienen sobre los valores establecidos en las normas vigentes de VMA (10 mg/L) y LMP (2 mg/L). Arizábal (2018), reportó la remoción más baja para cromo total (0.07mg/L) después del tratamiento con *Eleocharis palustris* en 4 días de retención hidráulica para el 25% de dilución de agua residual de curtiembre post tratamiento primario (8.16 mg/L).

Al parecer, la remoción de cromo se optimiza cuando se realiza diluciones del agua residual y se presenta un tratamiento primario previo, posiblemente la excesiva carga contaminante impediría hacer más eficiente el sistema de tratamiento biológico. La mejora en la capacidad extractiva de los organismos biológicos en aguas diluidas es congruente con lo señalado por Morocho (2017), que obtuvo valores promedios de cromo total para cuatro tratamientos distintos: EM1 (121mg/L), EMAs (54.09 mg/L), testigo (1308.98 mg/L) y el TFQ (70.55 mg/L) en 28 días de tratamiento para aguas residuales de curtiembre.

Estos resultados son corroborados con lo reportado por Carreño (2016), quien diseñó un biosistema de tratamiento para remoción de cromo VI de aguas residuales de curtiembre en diluciones del 40% (4a) y 60% (6a) de la misma, con la especie *Eichhornia crassipes*. Se reportó que después de 24 días de tratamiento se removió de 7480mg/L a 2910mg/L (4a), y de 12200mg/L a 6000mg/L (6a).

De igual manera, Lozada (2019), encontró que *Eichhornia crassipes*, después de 21 días de tratamiento, pudo remover cadmio de 0,0392 a 0.0021 mg Cd/L. Concluyendo que la biomasa de 40 unidades de *Eichhornia crassipes* es eficiente en la remoción de metales pesados.

En los sistemas de tratamiento biológicos, la disminución de cromo total se debería a la retención realizada por la zona radicular de la planta (*Eichhornia crassipes*) para este metal pesado, mediante las bacterias heterótrofas, que lo utilizan para su metabolismo.

Se observó una reducción en la presencia de coliformes totales después del tratamiento mixto de 30 días (3.8 NMP/100ml), 37 días (1.80 NMP/100ml), 45 días (2.67 NMP/100ml) y 52 días (1.80 NMP/100ml) con respecto al valor basal de 1700(10)6 NMP/100ml en las aguas residuales de curtiembre del PIRS. Por otro lado, los resultados obtenidos según las aplicaciones de EMa 10 y 20% en 30, 37, 45 y 52 días para coliformes totales fueron similares: EMa10% 30-45 (2.23 NMP/100ml), EMa20% 30-45 (2.80 NMP/100ml), EMa10% 37-52 (1.80 NMP/100ml) y EMa20% 37-52 (1.80 NMP/100ml).

Dichos resultados están dentro de los valores establecidos por la normativa ambiental internacional de ECA para la categoría 1 clase 2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento (2500 NMP/100ml), al igual que en los STD, cuanto

mayor sea el tiempo de retención en el sistema mixto menor será la cantidad de coliformes totales gracias principalmente al tratamiento por biorremediación con los microorganismos eficientes EMA.

Los resultados obtenidos concuerdan con Morocho (2017), quien obtuvo valores promedios de coliformes totales para cuatro tratamientos distintos: EM1 (297.0 NMP/100ml), EMAs (24300.43 NMP/100ml), testigo (3.5 NMP/100ml) y el TFQ (45006.6 NMP/100ml) en 28 días de tratamiento para aguas residuales de curtiembre. Así mismo, Cerna y Rivera (2019), reportaron el valor de remoción (99.9% ó 35×10^6 NMP/L) de coliformes totales en aguas residuales domésticas en 7 días de tratamiento con la especie de microalgas *Scenedesmus acutus*.

Por otro lado, Pérez (2019), al trabajar con un sistema con humedales artificiales utilizando *Eichhornia crassipes*, reportó que los coliformes fecales se redujeron de 88 000 a 600 UFC/100 ml. Carhuaricra (2019), reportó que valores de coliformes fecales o termotolerantes se redujeron en función al tiempo de retención hidráulica del sistema (1 300 000, 7900, 230 y 790 NMP/100mL, en 23.4, 31.2, 39 y 46.8 horas), respectivamente. Coronel (2016), también señala una disminución de coliformes totales de 160 000 000 a 34 700 NMP/100mL con *Eichhornia crassipes* y con *Lemna minor* de 160 000 000 a 6 680 000 NMP/100mL, después de 10 días de tratamiento.

El tratamiento por biorremediación con microorganismos eficaces agua (EMA), permite la disminución significativa de los coliformes totales en el agua residual de curtiembre porque eliminan los patógenos por medio de sustancias bioactivas (enzimas) durante el proceso biológico de fermentación, EMPROTEC S.A. (2004).

VI. CONCLUSIONES

Las aguas residuales de curtiembre del PIRS, presenta elevada carga de contaminantes por lo que los parámetros de C.E., salinidad, STD, Cr total, DBO5 y coliformes totales, superan excesivamente los valores establecidos por la normativa ambiental nacional e internacional. Únicamente los parámetros de pH y temperatura se encuentran dentro de los valores señalados por la normativa vigente.

El tratamiento mixto con *Eichhornia crassipes* y EMa, tiene eficiencia significativa para la remoción de contaminantes, encontrándose que esta eficiencia es mayor en el tratamiento de 20% de EMa en comparación al tratamiento con 10% de EMa, registrándose 46% de remoción de Cr total (33% con 10% de EMa), 38% de disminución de salinidad (30% con 10% de EMa), 36% de remoción de STD (28% con 10% de EMa), 37% de disminución en C.E. (28% con 10% de EMa). El periodo de 45 días de tratamiento fue mejor en comparación con el periodo de 30 días, registrándose la remoción de 41% de Cr total (35% a los 30 días), 38% de salinidad (28% a los 30 días), 36% de STD (26% a los 30 días), reducción del 36% en la C.E. (27% a los 30 días). Los valores de DBO5 se mantuvieron por encima del basal, mientras que los valores de coliformes se mantuvieron en < de 1.8 NMP/100 ml en los diferentes tratamientos. El pH y la T°, se mantuvieron dentro de los valores establecidos por la normativa ambiental nacional e internacional.

La aplicación de EMa después del tratamiento de fitorremediación, no presentó una significativa mejora en la calidad de las aguas residuales de curtiembre tratadas, en comparación con los periodos de 30 y 45 días en los que estuvieron bajo la aplicación de EMa por 22 y 37 días, respectivamente, para luego pasar a la fitorremediación por 8 días.

Finalmente, de acuerdo con los resultados presentados, inferimos que el tratamiento con la concentración de 20% de EMa y en un periodo de 45 días, es adecuado para reducir la carga contaminante de las aguas residuales de curtiembre de la empresa Pacheco SRLtda., aunque no se logró alcanzar los valores establecidos en la normativa ambiental, se registró una reducción significativa.

VII. RECOMENDACIONES

De acuerdo con la información recabada en la presente investigación, se desprende la necesidad de continuar con los estudios sobre este tema, para complementar el conocimiento que nos lleve a encontrar el sistema de tratamiento óptimo que ponga solución efectiva y sostenible a la problemática presente que representa el no tratamiento de las aguas residuales de curtiembre. En este sentido, recomendamos:

- Evaluar la eficiencia de la bio y fitorremediación, considerando para este último proceso humedales que contengan mayor número de individuos de *E. crassipes* y/o combinarla con otras especies acuáticas cuya capacidad fitorremediadora haya sido reportada.
- Evaluar la eficiencia de la bio y fitorremediación, previa implementación del tratamiento primario para las aguas residuales de curtiembre (sedimentación, coagulación – floculación, filtración, entre otros).
- Evaluar la eficiencia de la bio y fitorremediación, considerando para este último proceso humedales que contengan sustrato inerte que funcione como medio de filtración.

REFERENCIAS

1. ALEMU, A., GABBIYE, N. y LEMMA, B., 2020. Application of integrated local plant species and vesicular basalt rock for the treatment of chromium in tannery wastewater in a horizontal subsurface flow wetland system. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea], vol. 8, no. 4, pp. 103940. ISSN 22133437. DOI 10.1016/j.jece.2020.103940. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103940>.
2. ALI, S., ABBAS, Z., RIZWAN, M., ZAHEER, I.E., YAVAS, I., ÜNAY, A., ABDELDAIM, M.M., BIN-JUMAH, M., HASANUZZAMAN, M. y KALDERIS, D., 2020. Application of floating aquatic plants in phytoremediation of heavy metals polluted water: A review. *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 5, pp. 1-33. ISSN 20711050. DOI 10.3390/su12051927.
3. ARIZABAL, V., 2018. 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 Río Seco – Arequipa, 2017. ,
4. CARREÑO, U.F., 2016. Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la *Eichhornia crassipes*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. 18, no. 2, pp. 74. ISSN 0123-3475. DOI 10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.52271.
5. CHAKRABORTY, R. y MUKHERJEE, S., 2013. Biorremediación sinérgica del cromo mediante la interacción de la lechuga de agua (*Pistia*) y las bacterias (*Bacillus cereus* GXBC-1) *Revista de Investigación Biológica y Química* , vol. 30, no. 2.
6. CHAND, N., SUTHAR, S. y KUMAR, K., 2021. Wastewater nutrients and coliforms removals in tidal flow constructed wetland: Effect of the plant (*Typha*) stand and biochar addition. *Journal of Water Process Engineering* [en línea], vol. 43, no. September, pp. 102292. ISSN 22147144. DOI 10.1016/j.jwpe.2021.102292. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102292>.
7. CHENG, Y., CHON, K., REN, X., KOU, Y., HWANG, M.H. y CHAE, K.J., 2021. Bioaugmentation treatment of a novel microbial consortium for degradation of organic pollutants in tannery wastewater under a full-scale oxic process. *Biochemical Engineering Journal* [en línea], vol. 175, no.

July, pp. 108131. ISSN 1873295X. DOI 10.1016/j.bej.2021.108131.
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2021.108131>.

8. CONTRERAS, X. y HERRERA, J., 2019. Disminución de contaminantes de las aguas grises utilizando Spirodela polyrhiza y Eichhornia crassipes en la urb. Las Flores- San Juan de Lurigancho, 2020. *Universidad Cesar Vallejo* [en línea], pp. 1-51. Disponible en: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
9. CORREA DOS SANTOS, N.M., MONTEIRO, P.G., FERREIRA, E.A., ALENCAR, B.T.B., CABRAL, C.M. y DOS SANTOS, J.B., 2022. Use of Eichhornia crassipes and Pistia stratiotes for environmental services: Decontamination of aquatic environments with atrazine residues. *Aquatic Botany*, vol. 176, no. October 2021. ISSN 03043770. DOI 10.1016/j.aquabot.2021.103470.
10. DELGADO-SARMIENTO, P., DURAND G., A., ZEGARRA P., P., JIMÉNEZ P., H., ALVAREZ T., V. y VENA Q., G., 2020. Biorremediación De Cromo VI Mediante El Uso De Rhodospseudomonas Palustris En Efluentes Industriales Provenientes De Curtiembres. *Revista Boliviana de Química*, vol. 37, no. 1, pp. 21-27. ISSN 02505460. DOI 10.34098/2078-3949.37.1.3.
11. DOTRO, G., CASTRO, S., TUJCHNEIDER, O., PIOVANO, N., PARIS, M., FAGGI, A., PALAZOLO, P., LARSEN, D. y FITCH, M., 2012. Performance of pilot-scale constructed wetlands for secondary treatment of chromium-bearing tannery wastewaters. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], vol. 239-240, pp. 142-151. ISSN 03043894. DOI 10.1016/j.jhazmat.2012.08.050. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.08.050>.
12. EID, E.M., SHALTOUT, K.H., ALMUQRIN, A.H., ALORAINI, D.A., KHEDHER, K.M., TAHER, M.A., ALFARHAN, A.H., PICÓ, Y. y BARCELO, D., 2021. Uptake prediction of nine heavy metals by Eichhornia crassipes grown in irrigation canals: A biomonitoring approach. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 782, pp. 146887. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2021.146887. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146887>.

13. FOUNTOULAKIS, M.S., SABATHIANAKIS, G., KRITSOTAKIS, I., KABOURAKIS, E.M. y MANIOS, T., 2017. Halophytes as vertical-flow constructed wetland vegetation for domestic wastewater treatment. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 583, pp. 432-439. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.01.090. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.090>.
14. GAVILÁNEZ, F., 2015. Influencia de *Eichhornia crassipes* y microorganismos eficientes sobre contaminantes químicos y orgánicos de las aguas residuales de Naranjito, Ecuador. *Ekp*, vol. 13, no. 3, pp. 1576-1580.
15. GOSWAMI, S. y DAS, S., 2018. *Eichhornia crassipes* mediated copper phytoremediation and its success using catfish bioassay. *Chemosphere*, vol. 210, pp. 440-448. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2018.07.044.
16. HASHEM, M.A., HASAN, M., MOMEN, M.A., PAYEL, S. y NUR-A-TOMAL, M.S., 2020. Water hyacinth biochar for trivalent chromium adsorption from tannery wastewater. *Environmental and Sustainability Indicators*, vol. 5, no. January. ISSN 26659727. DOI 10.1016/j.indic.2020.100022.
17. LIU, C., YE, J., LIN, Y., WU, J., PRICE, G.W., BURTON, D. y WANG, Y., 2020. Removal of Cadmium (II) using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) biochar alginate beads in aqueous solutions. *Environmental Pollution* [en línea], vol. 264, pp. 114785. ISSN 18736424. DOI 10.1016/j.envpol.2020.114785. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114785>.
18. LOZADA, 2019. Facultad de Ingeniería Facultad de Ingeniería. *Ucv*, pp. 0-116.
19. MEDINA, L., FERREIRA, F., GUILLERMO, H., OYAMADA, K., RO, S., GALEANO, E.F. y VIERA, M., 2019. Fitorremediación de cromo en efluente de curtiembre empleando *Eichhornia crassipes*. *Reportes científicos de la FACEN* [en línea], vol. 10, no. 1, pp. 25-36. Disponible en: <http://doi.org/10.18004/rcfacen.2019.10.1.25>.
20. MÉNDEZ, R., GLADYS, V., KARL, L. y MÁRQUEZ, F., 2007. Producción limpia en la industria de curtiembre. *Producción limpia en la industria de curtiembre* [en línea], no. September, pp. 383. Disponible en:

<http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2017/09/produccion-limpia-en-la-industria-de-curtiembre.pdf>.

21. MIRBOLOOKI, H., AMIRNEZHAD, R. y PENDASHTEH, A.R., 2017. Treatment of high saline textile wastewater by activated sludge microorganisms. *Journal of Applied Research and Technology* [en línea], vol. 15, no. 2, pp. 167-172. ISSN 24486736. DOI 10.1016/j.jart.2017.01.012. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jart.2017.01.012>.
22. PÉREZ, E., 2019. Diseño de un Sistema de Tratamiento Biológico para las Aguas Residuales de la Cabecera Parroquial de Sevilla Don Bosco-Cantón Morona provincia De Morona Santiago. [en línea], no. Tesis de pregrado, pp. 1-159. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13133>.
23. PIRE-SIERRA, M.C., CEGARRA-BADELL, D.D., CARRASQUERO-FERRER, S.J., ANGULO-CUBILLAN, N.E. y DÍAZ-MONTIEL, A.R., 2016. Nitrogen and COD removal from tannery wastewater using biological and physicochemical treatments. *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 2016, no. 80, pp. 63-73. ISSN 24222844. DOI 10.17533/udea.redin.n80a08.
24. POZO, D.A., 2016. Eficiencia de las plantas *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* para la remoción de cadmio de las aguas del río Surco. [en línea], no. (Tesis de pregrado), pp. Univ. Cesar Vallejo. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/4257>.
25. PRODUCE, 2015. *Resolución Directoral de PRODUCE para el EIA del proyecto «Planta de Parque Industrial Río Seco - Curtiembre Pacheco»* [en línea]. 2015. Lima: 18 de junio de 2015. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1467826/rd198-2015-produce-diggam.pdf.pdf>.
26. QIN, H., DIAO, M., ZHANG, Z., VISSER, P.M., ZHANG, Y., WANG, Y. y YAN, S., 2020. Responses of phytoremediation in urban wastewater with water hyacinths to extreme precipitation. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 271, no. January, pp. 110948. ISSN 10958630. DOI 10.1016/j.jenvman.2020.110948. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110948>.
27. QIN, H., ZHANG, Z., LIU, M., LIU, H., WANG, Y., WEN, X., ZHANG, Y. y YAN,

- S., 2016. Site test of phytoremediation of an open pond contaminated with domestic sewage using water hyacinth and water lettuce. *Ecological Engineering* [en línea], vol. 95, pp. 753-762. ISSN 09258574. DOI 10.1016/j.ecoleng.2016.07.022. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.07.022>.
28. RAI, P.K., 2019. Heavy metals/metalloids remediation from wastewater using free floating macrophytes of a natural wetland. *Environmental Technology and Innovation* [en línea], vol. 15, pp. 100393. ISSN 23521864. DOI 10.1016/j.eti.2019.100393. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100393>.
29. RAMÍREZ, S., TORREALBA, G., LAMEDA-CUICAS, E., MOLINA-QUINTERO, L., STEFANAKIS, A.I. y PIRE-SIERRA, M.C., 2019. Investigation of pilot-scale constructed wetlands treating simulated pre-treated tannery wastewater under tropical climate. *Chemosphere* [en línea], vol. 234, pp. 496-504. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2019.06.081. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.081>.
30. REZANIA, S., PONRAJ, M., TALAIEKHOZANI, A., MOHAMAD, S.E., MD DIN, M.F., TAIB, S.M., SABBAGH, F. y SAIRAN, F.M., 2015. Perspectives of phytoremediation using water hyacinth for removal of heavy metals, organic and inorganic pollutants in wastewater. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 163, pp. 125-133. ISSN 10958630. DOI 10.1016/j.jenvman.2015.08.018. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.08.018>.
31. ROMERO, T. de J. y VARGAS, D., 2017. Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental* [en línea], vol. 38, no. 3, pp. 88-100. ISSN 1680-0338. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v38n3/riha08317.pdf>.
32. SANMUGA PRIYA, E. y SENTHAMIL SELVAN, P., 2017. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) – An efficient and economic adsorbent for textile effluent treatment – A review. *Arabian Journal of Chemistry* [en línea], vol. 10, pp. S3548-S3558. ISSN 18785352. DOI 10.1016/j.arabjc.2014.03.002. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.03.002>.

33. SARANGO, O.P. y SÁNCHEZ, J.A., 2016. «Diseño y construcción de 2 biofiltros con Eichhornia Crassipes y Lemna Minor para la evaluación de la degradación de contaminantes en aguas residuales de la extractora Río Manso EXA S.A. “Planta la Comuna”, Quinindé». *Facultad de Ciencias* [en línea], vol. Bachelor, pp. 83. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4930>.
34. SAVIOLO OSTI, J.A., DO CARMO, C.F., SILVA CERQUEIRA, M.A., DUARTE GÍAMAS, M.T., PEIXOTO, A.C., VAZ-DOS-SANTOS, A.M. y MERCANTE, C.T.J., 2020. Nitrogen and phosphorus removal from fish farming effluents using artificial floating islands colonized by Eichhornia crassipes. *Aquaculture Reports*, vol. 17, no. February. ISSN 23525134. DOI 10.1016/j.aqrep.2020.100324.
35. SHAO, J., JIA, W., ZHANG, X., RAO, S., LIU, Y., TANG, X., XIONG, G., ZHANG, Y. y SHAN, Q., 2019. Study of hexavalent chromium induced physiological alterations in Eichhornia crassipes by LP-TXRF. *Microchemical Journal* [en línea], vol. 147, no. March, pp. 564-570. ISSN 0026265X. DOI 10.1016/j.microc.2019.03.066. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.03.066>.
36. SHARMA, P., 2021. Efficiency of bacteria and bacterial assisted phytoremediation of heavy metals: An update. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 328, no. December 2020, pp. 124835. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2021.124835. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124835>.
37. SOUZA, T.D. de, BORGES, A.C., MATOS, A.T. de, VELOSO, R.W. y BRAGA, A.F., 2018. Kinetics of arsenic absorption by the species Eichhornia crassipes and Lemna valdiviana under optimized conditions. *Chemosphere* [en línea], vol. 209, pp. 866-874. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2018.06.132. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.132>.
38. TRAN, C.S., VO, T.K.Q., DANG, T.B., NGUYEN, P.T., NGUYEN, K.Q., HOANG, Q.H., LE, L.T., NGUYEN, T.T. y BUI, X.T., 2022. Anaerobic baffled reactor coupled with membrane bioreactor treating tannery wastewater. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*

[en línea], vol. 5, no. December 2021, pp. 100185. ISSN 26660164. DOI 10.1016/j.cscee.2022.100185. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100185>.

39. WANG, J., FU, G., LI, W., SHI, Y., PANG, J., WANG, Q., LÜ, W., LIU, C. y LIU, J., 2018. The effects of two free-floating plants (*Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes*) on the burrow morphology and water quality characteristics of pond loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) habitat. *Aquaculture and Fisheries* [en línea], vol. 3, no. 1, pp. 22-29. ISSN 2468550X. DOI 10.1016/j.aaf.2017.12.001. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2017.12.001>.
40. WANG, L., HOU, D., SHEN, Z., ZHU, J., JIA, X., OK, Y.S., TACK, F.M.G. y RINKLEBE, J., 2020. Field trials of phytomining and phytoremediation: A critical review of influencing factors and effects of additives. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 50, no. 24, pp. 2724-2774. ISSN 15476537. DOI 10.1080/10643389.2019.1705724.
41. YI, Z. ji, YAO, J., CHEN, H. lun, WANG, F., YUAN, Z. min y LIU, X., 2016. Uranium biosorption from aqueous solution onto *Eichhornia crassipes*. *Journal of Environmental Radioactivity* [en línea], vol. 154, pp. 43-51. ISSN 18791700. DOI 10.1016/j.jenvrad.2016.01.012. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.01.012>.
42. YOUNAS, F., NIAZI, N.K., BIBI, I., AFZAL, M., HUSSAIN, K., SHAHID, M., ASLAM, Z., BASHIR, S., HUSSAIN, M.M. y BUNDSCHUH, J., 2022. Constructed wetlands as a sustainable technology for wastewater treatment with emphasis on chromium-rich tannery wastewater. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], vol. 422, no. April 2021, pp. 126926. ISSN 18733336. DOI 10.1016/j.jhazmat.2021.126926. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126926>.

ANEXOS

Anexo N°1. Tabla de operacionalización de variables.

Anexo N°2. Instrumento de recolección de datos - Certificado de calibración de fábrica del equipo multiparámetro

Anexo N°3. Imagen satelital del centro de investigación DIVA VIDA E.I.R.L. en el distrito de Cerro Colorado - Arequipa.

Anexo N°4. Imagen satelital del lugar de colecta de las unidades de *Eichhornia crassipes* en el distrito de Dean Valdivia.

Anexo N°5. Constancia de determinación de una muestra de la especie vegetativa *Eichhornia crassipes*

Anexo N°6. Diagrama de flujo de los tratamientos mixtos de las aguas residuales de curtiembre.

Anexo N°7. Ficha informativa EM-AGUA

Anexo N°8. Informe de Ensayo para la determinación de la muestra basal

Anexo N°9. Informe de Ensayo para la determinación del material vegetal

Anexo N°10. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 10% con Fitorremediación en 30 días para Cromo Total

Anexo N°11. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 10% con Fitorremediación en 30 días para DBO5, Coliformes Totales y OD

Anexo N°12. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 20% con Fitorremediación en 30 días para Cromo Total

Anexo N°13. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 20% con Fitorremediación en 30 días para DBO5, Coliformes Totales y OD

Anexo N°14. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 20% con Fitorremediación en 37 días para Coliformes Totales, DBO5, Cromo Total y OD

Anexo N°15. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 10% con Fitorremediación en 37 días para Coliformes Totales, DBO5, Cromo Total y OD.

Anexo N°16. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 10% con Fitorremediación en 45 días para Cromo Total

Anexo N°17. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 10% con Fitorremediación en 45 días para Coliformes Totales.

Anexo N°18. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 10% con Fitorremediación en 45 días para DBO5 y OD.

Anexo N°19. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 20% con Fitorremediación en 45 días para Cromo Total.

Anexo N°20. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 20% con Fitorremediación en 45 días para DBO5, Coliformes Totales y Oxígeno Disuelto

Anexo N°21. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 10% con Fitorremediación en 52 días para Coliformes Totales, DBO5, Cromo Total y OD

Anexo N°22. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 10% con Fitorremediación en 52 días para Coliformes Totales, DBO5, Cromo Total y OD


Anexo N°23. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 20% con Fitorremediación en 52 días para Coliformes Totales, DBO5, Cromo Total y OD

Anexo N°24. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 20% con Fitorremediación en 52 días para Coliformes Totales, DBO5, Cromo Total y OD

Anexo N°1. Tabla de operacionalización de variables.

| Variable | Aplicación de la variable | | | | |
|---|---|---|--|--|--|
| Independiente | Sistema Mixto para el tratamiento de efluentes de curtiembre, por fitorremediación con <i>Eichhornia crassipes</i> y biorremediación con microorganismos eficaces EM. Las concentraciones del 10 y 20% de EM activado se aplicaron al inicio del tratamiento por espacio de 22 y 37 días, pasando las aguas a los humedales para fitorremediación por un espacio de 8 días con un total de 30 y 45 días de tratamiento, respectivamente. Posterior a la fitorremediación, se aplicó EM activado en las mismas concentraciones por un periodo de 7 días más, haciendo un total de 37 y 52 días de tratamiento. | | | | |
| Variable | Definición conceptual | Definición operacional | Dimensión | Indicadores | Unidad de medida |
| Dependiente Variación de las características físicas químicas y microbiológicas del agua residual tratada | La variación de las características físicas químicas y microbiológicas de las aguas residuales tratadas en la industria del curtido de pieles que presentan alta carga orgánica, químicos residuales y contenido en cromo. (Arizábal, 2018). | Se tomaron muestras de las aguas residuales en tratamiento en los tiempos de 0 días (basal), 30 y 45 días (del tratamiento de bio y fitorremediación), 37 y 52 días (del tratamiento de biorremediación, fitorremediación y biorremediación). Las muestras fueron evaluadas en campo mediante la utilización de un multiparámetro, y luego llevadas a laboratorio para la determinación de Cr Total, DBO ₅ y coliformes totales. | Parámetros físico – químicos y microbiológicos | pH Conductividad Eléctrica (CE) Sólidos Totales Disueltos (SDT) Salinidad Temperatura (T°) Cromo total Coliformes totales Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 0-14 ms/cm ppt ppt °C mg/l NMP/100ml mg/l |

Anexo N°2. Instrumento de recolección de datos - Certificado de calibración de fábrica del equipo multiparámetro.



| | |
|-------------------|---|
| Instrument: | HI98130 |
| S/N: | 04510125101 |
| Software version: | 1.03 |
| Description: | pH/EC/TDS/Temperature Waterproof Tester |
| Made in: | ROMANIA |

Hanna Instruments certifies that this instrument has been produced, calibrated and tested to meet all applicable Hanna Instruments procedures, using standards and reference instruments, the accuracy of which is traceable to the National Institute of Standards (NIST) in the USA or to internationally acceptable national physical standards. The standards and reference instruments used in calibration and testing are supported by a calibration system which meets requirements of ISO9001.

The following tests have been performed according with the reference from the Quality Check Procedure of the meter.


The results are listed below:*

| Calibration Points | Results |
|--------------------|---------|
| 7.01 pH | Passed |
| 4.01 pH | Passed |
| 12.88 mS/cm | Passed |

| Testing Points | Reading Values |
|----------------|----------------|
| 10.01 pH | 10.01 pH |
| 5.00 mS/cm | 4.94 mS/cm |
| 25.0 °C | 24.8 °C |

* All the above measurements were done at 25 °C with the current configuration.

Calibration, functionality test, aesthetic control and packing have been met.

Date: 2019.12.18 Inspector: Corina Pop
Title: Engineer
Signature: 

IQC_HI98130_rev.0.1_June 2019 Page 1 of 1

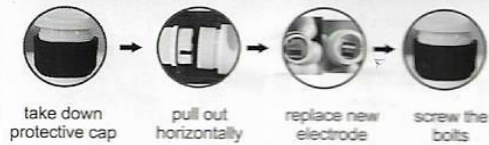
Hanna Instruments Inc. 584 Park East Drive
Woonsocket, RI 02895
www.hannainst.com

Fuente: Hanna Instruments Inc.

LOWBATT



ELECTRODE



TROUBLESHOOTING

pH Reset

1. Shut-off meter, press HOLD/TEMP and MODE/CAL simultaneously, don't release;
2. Press ON/OFF, and release all buttons, reset is finish.

P-3 model reset

1. Put battery out, press TEMP/CAL and HOLD simultaneously, don't release;
2. Put battery on, and release all buttons, reset is finish.

C-600 pH reset

Turn on meter, press  for 10s, it will display "—|", reset is successful.

Attention

1. It has been calibrated by factory, use it directly.
2. After finished, clean the electrode with pure water and keep it dry.
3. Stir gently several times to ensure no air bubble around the electrode.
4. Don't disassemble the meter without permission to avoid damage.
5. Keep it dry.
6. If pH calibration is wrong, please reset.

Warranty

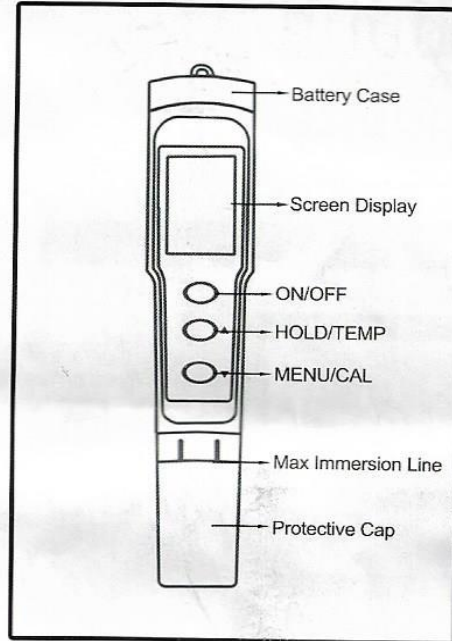
The meter is warranted to be free from defects in material and workmanship for a period of three years from the date of purchase. The warranty covers normal operation but doesn't cover Man-made damage. Proof of purchase is required for warranty repairs. Warranty is void if the meter used to be taken apart.

Return Authorization

Authorization must be obtained from the supplier before returning items for any reason. When requiring a return authorization, please include data regarding the defective reason, the meter is to be returned along with good packing to prevent any damage in shipment and insured against possible damage or loss.

OPERATION MANUAL

PEN TYPE WATER QUALITY METER



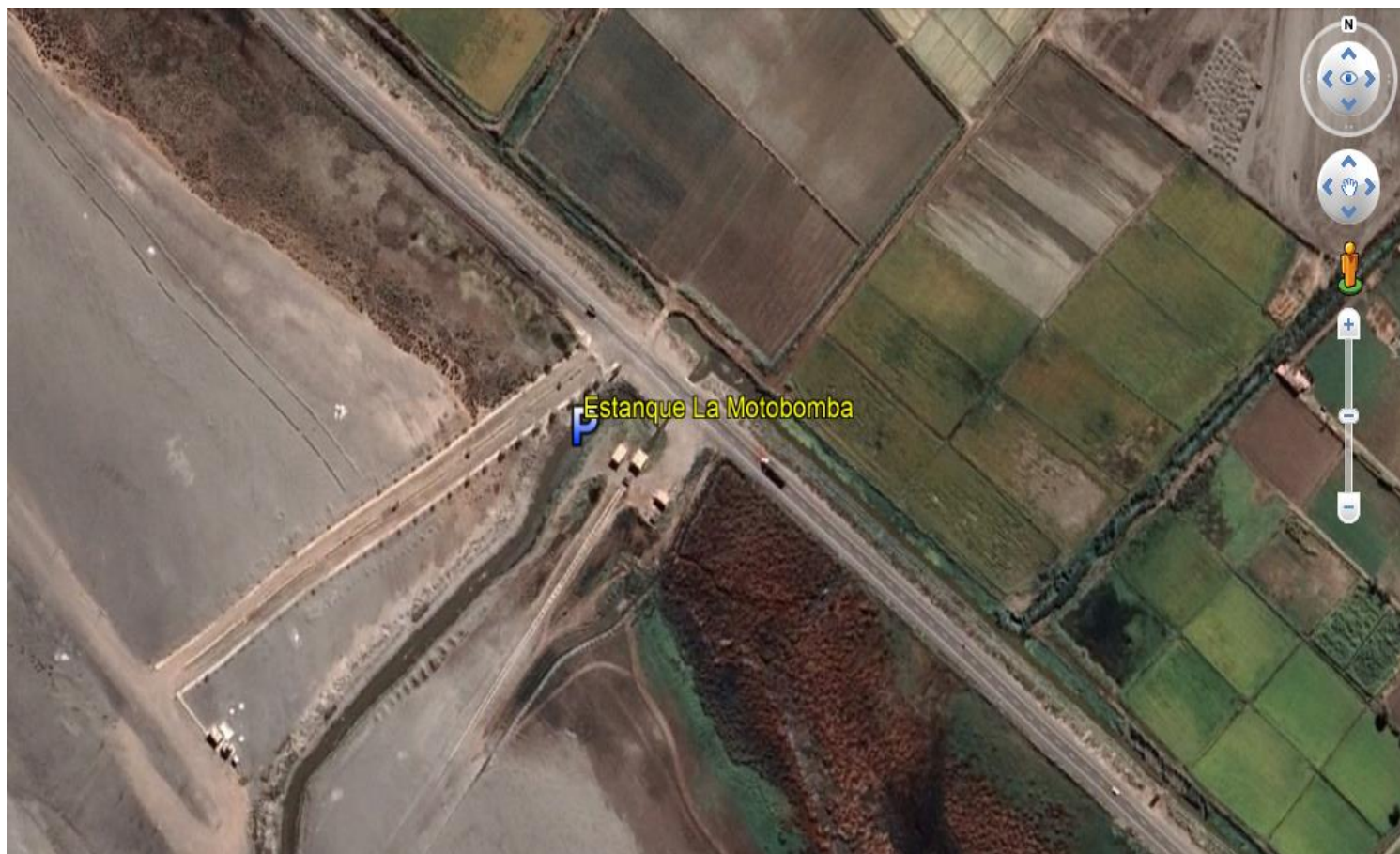
| | | |
|-------------------------------------|--------|------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | pH-03 | pH/TEMP |
| <input type="checkbox"/> | S-100 | SALT/TEMP |
| <input type="checkbox"/> | EZ9901 | TDS/pH/TEMP |
| <input type="checkbox"/> | EZ9902 | EC/pH/TEMP |
| <input type="checkbox"/> | EZ9908 | EC/TDS/pH/TEMP |
| <input checked="" type="checkbox"/> | EZ9909 | EC/TDS/pH/SALT/TEMP |
| <input type="checkbox"/> | C-600 | TDS/EC/pH/SALT/S. G/ORP/TEMP |

Anexo N°3. Imagen satelital del centro de investigación DIVA VIDA E.I.R.L. en el distrito de Cerro Colorado - Arequipa.



Fuente: Google Earth.

Anexo N°4. Imagen satelital del lugar de colecta de las unidades de Eichhornia crassipes en el distrito de Dean Valdivia.



Fuente: Google Earth.

Anexo N°5. Constancia de determinación de una muestra de la especie vegetativa *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/DGGSPFFS



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

**CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN DE MUESTRAS
N° 009-2021**

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

HACE CONSTAR:

Que la muestra presentada por los Srs. **Pedro Raíd Masco Miró** y **José Antonio Ugarte Huamaní**, recolectada en el distrito de Dean Valdivia, provincia de Islay, departamento de Arequipa con coordenadas L.S. 17.119974 y L.O. 71.890135, para la realización de la tesis: "**Microorganismos Eficaces antes y después del tratamiento con *Eichhornia crassipes* para mejorar la calidad de los efluentes tratados en una curtiembre del parque industrial Rio Seco en Cerro Colorado, Arequipa 2021**", 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, 31 de agosto del 2021

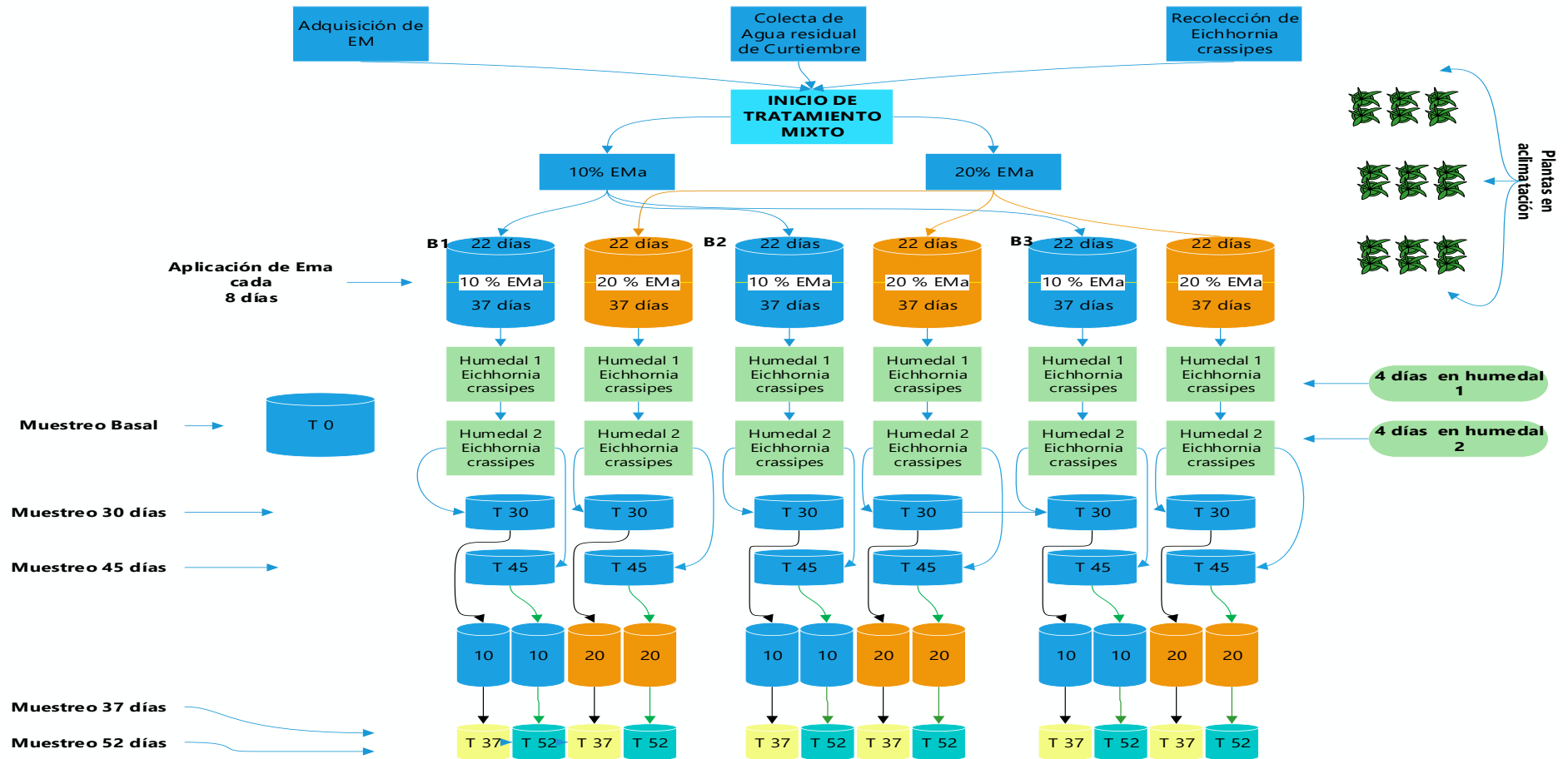


Dr. Blgo. Víctor Quipuscoa Silvestre
C. B. P. N° 2484

Director del Instituto Científico Michael Owen Dillon (IMOD)
Herbario Sur Peruano (HSP)
vquipuscoa@hotmail.com
vquipuscoa@imod.org.pe



Anexo N°6. Diagrama de flujo de los tratamientos mixtos de las aguas residuales de curtiembre.



Fuente: Elaboración propia.

Dr. Higa's Original

EM·AGUA[®]

Microorganismos Eficaces[™]

EM AGUA[®] es un cultivo mixto de microorganismos beneficiosos de origen natural usado para el tratamiento de aguas contaminadas y para restaurar el equilibrio natural de los sistemas acuáticos, trayendo consigo efectos beneficiosos y sostenibles en el tiempo. Su contenido no afecta al ambiente ni a la salud de las personas o animales que se encuentren en contacto con el.

Producto autorizado para su uso en la producción orgánica.



ACTIVACIÓN

Los microorganismos presentes en la tecnología **EM AGUA[®]** están latentes y deben activarse antes de usar.



1 Mezclar 1 de melaza (5%) en 18 litros de agua sin cloro (90%) y agregar 1 litro de **EM AGUA[®]** (5%).



2 Colocar la mezcla en un bidón limpio y cerrarlo herméticamente (sin aire).



3 Dejar reposar por 3 a 6 días en un ambiente bajo sombra.

1 litro de **EM AGUA[®]** rendirá 20 litros de **EM AGUA[®] - Activado (EMA)**. El EMA debe usarse antes de los 30 días de activado.

RECOMENDACIÓN

Almacene el producto a temperatura ambiente, no es necesario refrigerarlo. Evite la exposición al sol, polvo y aire; mantenga el envase cerrado cuando no este en uso. El pH debe ser igual o menor a 3.8.

BENEFICIOS

- Sintetiza rápidamente la materia orgánica, reduciendo los valores de DBO, DQO, turbidez, sólidos suspendidos, equilibra el pH y el oxígeno disuelto.
- Acelera la degradación de grasas y aceites.
- Reduce eficazmente los malos olores.
- Reduce el lodo sedimentado.
- Reduce eficazmente la concentración de microorganismos patógenos.
- Evita la construcción de sistemas caros y de elevado costo de mantenimiento para el tratamiento de los efluentes.
- Reduce la necesidad de uso de productos químicos. Disminuye significativamente los costos operacionales del sistema.



DOSIS Y MODO DE APLICACIÓN

Para el uso de **EM AGUA[®]** en el tratamiento de aguas residuales o recuperación de cuerpos de aguas. Por favor, consulte con nuestro equipo técnico.





Dr. Teruo Higa

EM™ significa **Microorganismos Eficaces EM™**, es un consorcio de varios microorganismos benéficos de origen natural de 3 géneros principales: bacterias fototróficas, bacterias ácido lácticas y levaduras.

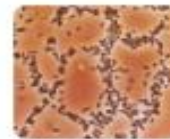
La tecnología **EM™** fue desarrollada en la década de los ochenta por el Dr. Teruo Higa, profesor de la Universidad Ryukyus, Okinawa, Japón, como alternativa al uso de agroquímicos. Actualmente la tecnología **EM™** es usada en más de 143 países a nivel mundial, para:

- Tratamiento de aguas residuales
- Mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Optimizar el crecimiento de las plantas y prevenir la presencia de plagas y enfermedades.
- Elaboración de abonos orgánicos
- Crianza y sanidad animal
- Es una tecnología sencilla y de bajo costo

“Deje que nuestros microorganismos trabajen para usted”



Bacterias Ácido Lácticas
(*Lactobacillus* spp.)



Levaduras
(*Saccharomyces* spp.)



Bacterias Fotosintéticas
(*Rhodospseudomonas* spp.)

Anexo N°8. Informe de Ensayo para la determinación de la muestra basal.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 3432 - 2021 - 1

REEMPLAZA AL INFORME DE ENSAYOS N°3432 - 2021

FECHA EMISIÓN (02/07/2021)

PÁGINA 2 DE 2

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL DE CURTIEMBRE ARI-01 | UNIDADES |
|-----|---|---|-----------|
| MB | Numeración de Coliformes totales | 1700000000 | NMP/100mL |
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 2082 | mg/L |
| FQ | Elemento Cr* | 87.05 | mg/L |
| FQ | Cromo Hexavalente* | 0.30 | mg/L |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS:

NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros
mg/L : Miligramos por litro

OBSERVACIONES :

Cualquier valor precedido por "<" indica menor al límite de detección del método
* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

MÉTODOS UTILIZADOS :

Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B. Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23rd Ed. 201

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. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag.3-17. 23rd Ed. 2017.

Cromo Hexavalente : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 3000. Method 3500-Cr B. Chromium. Colorimetric Method. 23rd Ed. 2017.

Oxígeno Disuelto : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O.C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23rd Ed. 2017.

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 23/06/2021 al 30/06/2021
MB 23/06/2021 al 30/06/2021

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 07/07/2021

DETALLE DE CAMBIOS:

A solicitud del cliente se realiza cambio en el ítem Solicitante; Dice: FLOR DENNIS CARMONA QUELOPANA; Debe decir: DIVA-VIDA E.I.R.L
A solicitud del cliente se incluye en Datos Declarados por el cliente la frase: PROYECTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE.



Bigo. Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe

Anexo N°9. Informe de Ensayo para la determinación del material vegetal.



INFORME DE ENSAYOS N° 4414-2021
PÁGINA 2 DE 2

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | E. CRASSIPES - JACINTO DE AGUA (PARTE AÉREA, RAÍZ) Parte aérea Eichhornia | UNIDADES |
|-----|---------------|--|----------|
| FQ | Elemento Cr | 0.16 | mg/Kg |

ABREVIATURAS :
mg/Kg

: Miligramos por kilogramo

MÉTODOS UTILIZADOS :
Elemento Cr

: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | E. CRASSIPES - JACINTO DE AGUA (PARTE AÉREA, RAÍZ) Raíz Eichhornia | UNIDADES |
|-----|---------------|---|----------|
| FQ | Elemento Cr | 0.30 | mg/Kg |

ABREVIATURAS :
mg/Kg

: Miligramos por kilogramo

MÉTODOS UTILIZADOS :
Elemento Cr

: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 14/08/2021 al 23/08/2021

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 23/08/2021



Miguel Valdivia Martínez
Bigo. Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe

Anexo N°10. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 10% con Fitorremediación en 30 días para Cromo Total.



INFORME DE ENSAYOS N° 4077- 2021
PÁGINA 2 DE 2

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE 30 DÍAS DE TRATAMIENTO CON EMA Y E.CRASSIPES Código: M(10%)-30días-R1 - Fecha y hora de muestreo: 23/07/2021 13:25hrs. | UNIDADES |
|-----|---------------|---|----------|
| FQ | Elemento Cr | 71.92 | 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 3000. Method 3111-B. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag.3-17. 23nd Ed. 2017.

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE 30 DÍAS DE TRATAMIENTO CON EMA Y E.CRASSIPES Código: M(10%)-30días-R2 - Fecha y hora de muestreo: 23/07/2021 13:52hrs. | UNIDADES |
|-----|---------------|---|----------|
| FQ | Elemento Cr | 56.54 | 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 3000. Method 3111-B. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag.3-17. 23nd Ed. 2017.

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE 30 DÍAS DE TRATAMIENTO CON EMA Y E.CRASSIPES Código: M(10%)-30días-R3 - Fecha y hora de muestreo: 23/07/2021 14:03hrs. | UNIDADES |
|-----|---------------|---|----------|
| FQ | Elemento Cr | 56.98 | 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 3000. Method 3111-B. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag.3-17. 23nd Ed. 2017.

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 23/07/2021 al 02/08/2021

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 02/08/2021


Bigo. Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe

Anexo N°11. Microorganismos Eficaces Activados (EMA) al 10% con Fitorremediación en 30 días para DBO5, Coliformes Totales y OD.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

**INFORME DE ENSAYOS N° 4079- 2021
PÁGINA 2 DE 4**

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE 30 DÍAS DE TRATAMIENTO CON EMA Y E.CRASSIPES Código: M(10%)-30días-R1 - Fecha y hora de muestreo: 23/07/2021 13:25hrs. | UNIDADES |
|-----|--|---|-----------|
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 8000 | mg/L |
| MB | Numeración de Coliformes totales | <1.8 | NMP/100mL |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :

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. 23nd Ed. 2017.
Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23nd Ed. 2017.
Oxígeno Disuelto : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23nd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE 30 DÍAS DE TRATAMIENTO CON EMA Y E.CRASSIPES Código: M(10%)-30días-R2 - Fecha y hora de muestreo: 23/07/2021 13:52hrs. | UNIDADES |
|-----|--|---|-----------|
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 6580 | mg/L |
| MB | Numeración de Coliformes totales | <1.8 | NMP/100mL |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :

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. 23nd Ed. 2017.
Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23nd Ed. 2017.
Oxígeno Disuelto : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23nd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE 30 DÍAS DE TRATAMIENTO CON EMA Y E.CRASSIPES Código: M(10%)-30días-R3 - Fecha y hora de muestreo: 23/07/2021 14:03hrs. | UNIDADES |
|-----|--|---|-----------|
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 7230 | mg/L |
| MB | Numeración de Coliformes totales | <1.8 | NMP/100mL |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :

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. 23nd Ed. 2017.
Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23nd Ed. 2017.

Anexo N°12. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 20% con Fitorremediación en 30 días para Cromo Total.



INFORME DE ENSAYOS N° 4081 - 2021
PÁGINA 2 DE 2

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE 30 DÍAS DE TRATAMIENTO CON EMA Y E.CRASSIPES Código: M(20%)-30días-R1 - Fecha y hora de muestreo: 23/07/2021 13:30hrs. | UNIDADES |
|-----|---------------|---|----------|
| FQ | Elemento Cr | 51.97 | 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 3000. Method 3111-B. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag.3-17. 23nd Ed. 2017.

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE 30 DÍAS DE TRATAMIENTO CON EMA Y E.CRASSIPES Código: M(20%)-30días-R2 - Fecha y hora de muestreo: 23/07/2021 13:58hrs. | UNIDADES |
|-----|---------------|---|----------|
| FQ | Elemento Cr | 52.30 | 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 3000. Method 3111-B. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag.3-17. 23nd Ed. 2017.

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE 30 DÍAS DE TRATAMIENTO CON EMA Y E.CRASSIPES Código: M(20%)-30días-R3 - Fecha y hora de muestreo: 23/07/2021 14:07hrs. | UNIDADES |
|-----|---------------|---|----------|
| FQ | Elemento Cr | 51.79 | 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 3000. Method 3111-B. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag.3-17. 23nd Ed. 2017.

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 23/07/2021 al 02/08/2021

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 02/08/2021


Bigo. Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe

Anexo N°13. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 20% con Fitorremediación en 30 días para DBO5, Coliformes Totales y OD.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

**INFORME DE ENSAYOS N° 4079 - 2021
PÁGINA 3 DE 4**

Oxígeno Disuelto Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE 30 DÍAS DE TRATAMIENTO CON EMA Y E.CRASSIPES | |
|-----|--|---|-----------|
| | | Código: M(20%)-30días-R1 - Fecha y hora de muestreo: 23/07/2021 13:30hrs. | UNIDADES |
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 7720 | mg/L |
| MB | Numeración de Coliformes totales | 7.8 | NMP/100mL |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :

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.
Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23rd Ed. 2017.
Oxígeno Disuelto : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE 30 DÍAS DE TRATAMIENTO CON EMA Y E.CRASSIPES | |
|-----|--|---|-----------|
| | | Código: M(20%)-30días-R2 - Fecha y hora de muestreo: 23/07/2021 13:58hrs. | UNIDADES |
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 6780 | mg/L |
| MB | Numeración de Coliformes totales | 7.8 | NMP/100mL |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :

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.
Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23rd Ed. 2017.
Oxígeno Disuelto : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE 30 DÍAS DE TRATAMIENTO CON EMA Y E.CRASSIPES | |
|-----|--|---|-----------|
| | | Código: M(20%)-30días-R3 - Fecha y hora de muestreo: 23/07/2021 14:07hrs. | UNIDADES |
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 6940 | mg/L |
| MB | Numeración de Coliformes totales | <1.8 | NMP/100mL |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :

PRP-08-F-05-IE 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 ...calidad a su servicio

Fuente: BHIOS Laboratorios S.R.L.

Anexo N°14. Microorganismos Eficaces Activados (EMA) al 20% con Fitorremediación en 37 días para Coliformes Totales, DBO5, Cromo Total y OD.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

**INFORME DE ENSAYOS N° 4176-2021
PÁGINA 2 DE 4**

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(10%)-37días-R1 - Fecha y hora de muestreo: 30/07/2021 13:17hrs. | UNIDADES |
|-----|--|---|-----------|
| MB | Numeración de Coliformes totales | <1.8 | NMP/100mL |
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 37050 | mg/L |
| FQ | Elemento Cr* | 63.93 | mg/L |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :

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. 23nd Ed. 2017.
Elemento Cr : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 3000. Method 3111-B. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag.3-17. 23nd Ed. 2017.
Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube Fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23nd Ed. 2017.
Oxígeno Disuelto : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23nd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(10%)-37días-R2 - Fecha y hora de muestreo: 30/07/2021 13:25hrs. | UNIDADES |
|-----|--|---|-----------|
| MB | Numeración de Coliformes totales | <1.8 | NMP/100mL |
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 36800 | mg/L |
| FQ | Elemento Cr* | 51.31 | mg/L |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :

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. 23nd Ed. 2017.
Elemento Cr : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 3000. Method 3111-B. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag.3-17. 23nd Ed. 2017.
Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23nd Ed. 2017.
Oxígeno Disuelto : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23nd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(10%)-37días-R3 - Fecha y hora de muestreo: 30/07/2021 13:56hrs. | UNIDADES |
|-----|--|---|-----------|
| MB | Numeración de Coliformes totales | <1.8 | NMP/100mL |
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 39300 | mg/L |
| FQ | Elemento Cr* | 50.54 | mg/L |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

PRP-08-F-05-IE 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

Fuente: BHIOS Laboratorios S.R.L.

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

Anexo N°15. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 20% con Fitorremediación en 37 días para Coliformes Totales, DBO5, Cromo Total y OD.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

**INFORME DE ENSAYOS N° 4176-2021
PÁGINA 3 DE 4**

MÉTODOS UTILIZADOS :
 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. 23nd Ed. 2017.
 Elemento Cr : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 3000. Method 3111-B. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag.3-17. 23nd Ed. 2017.
 Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23nd Ed. 2017.
 Oxígeno Disuelto : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23nd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :
 * Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(20%)-37días-R1 - Fecha y hora de muestreo: 30/07/2021 13:33hrs. | UNIDADES |
|-----|--|--|-----------|
| MB | Numeración de Coliformes totales | <1.8 | NMP/100mL |
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 39200 | mg/L |
| FQ | Elemento Cr* | 48.51 | mg/L |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :
 mg/L : Miligramos por litro
 NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :
 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. 23nd Ed. 2017.
 Elemento Cr : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 3000. Method 3111-B. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag.3-17. 23nd Ed. 2017.
 Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23nd Ed. 2017.
 Oxígeno Disuelto : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23nd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :
 * Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(20%)-37días-R2 - Fecha y hora de muestreo: 30/07/2021 13:39hrs. | UNIDADES |
|-----|--|--|-----------|
| MB | Numeración de Coliformes totales | <1.8 | NMP/100mL |
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 39750 | mg/L |
| FQ | Elemento Cr* | 45.90 | mg/L |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :
 mg/L : Miligramos por litro
 NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :
 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. 23nd Ed. 2017.
 Elemento Cr : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 3000. Method 3111-B. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag.3-17. 23nd Ed. 2017.
 Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23nd Ed. 2017.
 Oxígeno Disuelto : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23nd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :
 * Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

Anexo N°16. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 10% con Fitorremediación en 45 días para Cromo Total.



**INFORME DE ENSAYOS N° 4296- 2021
PÁGINA 2 DE 2**

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(10%)-45días-R1 - Fecha y hora de muestreo: 07/08/2021 09:10hrs. | UNIDADES |
|-----|---------------|--|----------|
| FQ | Elemento Cr | 46.20 | 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 3000, Method 3111-B, Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag.3-17, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(10%)-45días-R2 - Fecha y hora de muestreo: 07/08/2021 09:55hrs. | UNIDADES |
|-----|---------------|--|----------|
| FQ | Elemento Cr | 58.47 | 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 3000, Method 3111-B, Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag.3-17, 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(10%)-45días-R3 - Fecha y hora de muestreo: 07/08/2021 10:03hrs. | UNIDADES |
|-----|---------------|--|----------|
| FQ | Elemento Cr | 74.52 | 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 3000, Method 3111-B, Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Pag.3-17, 23rd Ed. 2017.

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 07/08/2021 al 13/08/2021

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 13/08/2021


Bigo. Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe

Anexo N°17. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 10% con Fitorremediación en 45 días para Coliformes Totales.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 4298 - 2021
PÁGINA 2 DE 2

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(10%-45días-R1 - Fecha y hora de muestreo: 07/08/2021 09:10hrs. | UNIDADES |
|-----|----------------------------------|---|-----------|
| MB | Numeración de Coliformes totales | <1.8 | NMP/100mL |

ABREVIATURAS :

NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :

Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(10%-45días-R2 - Fecha y hora de muestreo: 07/08/2021 09:55hrs. | UNIDADES |
|-----|----------------------------------|---|-----------|
| MB | Numeración de Coliformes totales | 2.0 | NMP/100mL |

ABREVIATURAS :

NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :

Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23rd Ed. 2017.

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(10%-45días-R3 - Fecha y hora de muestreo: 07/08/2021 10:03hrs. | UNIDADES |
|-----|----------------------------------|---|-----------|
| MB | Numeración de Coliformes totales | 6.8 | NMP/100mL |

ABREVIATURAS :

NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :

Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23rd Ed. 2017.

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : MB 07/08/2021 al 14/08/2021

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 17/08/2021

Bigo Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

Anexo N°18. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 10% con Fitorremediación en 45 días para DBO5 y OD.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

**INFORME DE ENSAYOS N° 4299-2021
PÁGINA 2 DE 3**

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(10%)-45días-R1 - Fecha y hora de muestreo: 07/08/2021 09:10hrs. | UNIDADES |
|-----|--|--|----------|
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 44900 | mg/L |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | 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-AWWA-WEF Part 5000. 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5 day BOD Test. 23nd Ed. 2017.

Oxígeno Disuelto : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23nd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(10%)-45días-R2 - Fecha y hora de muestreo: 07/08/2021 09:55hrs. | UNIDADES |
|-----|--|--|----------|
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 41550 | mg/L |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | 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-AWWA-WEF Part 5000. 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5 day BOD Test. 23nd Ed. 2017.

Oxígeno Disuelto : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23nd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(10%)-45días-R3 - Fecha y hora de muestreo: 07/08/2021 10:03hrs. | UNIDADES |
|-----|--|--|----------|
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 8650 | mg/L |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | 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-AWWA-WEF Part 5000. 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5 day BOD Test. 23nd Ed. 2017.

Oxígeno Disuelto : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23nd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

Anexo N°19. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 20% con Fitorremediación en 45 días para Cromo Total.



INFORME DE ENSAYOS N° 4409- 2021
PÁGINA 2 DE 2

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(20%)-45días-R1 - Fecha y hora de muestreo: 14/08/2021 08:30 hrs. | UNIDADES |
|-----|---------------|--|----------|
| FQ | Elemento Cr | 41.35 | 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 3000. Method 3111-B. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag.3-17. 23nd Ed. 2017.

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(20%)-45días-R2 - Fecha y hora de muestreo: 14/08/2021 08:30 hrs. | UNIDADES |
|-----|---------------|--|----------|
| FQ | Elemento Cr | 52.21 | 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 3000. Method 3111-B. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag.3-17. 23nd Ed. 2017.

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(20%)-45días-R3 - Fecha y hora de muestreo: 14/08/2021 08:30 hrs. | UNIDADES |
|-----|---------------|--|----------|
| FQ | Elemento Cr | 34.00 | 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 3000. Method 3111-B. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag.3-17. 23nd Ed. 2017.

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 14/08/2021 al 19/08/2021
FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 19/08/2021

Bigo. Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

Anexo N°20. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 20% con Fitorremediación en 45 días para DBO5, Coliformes Totales y Oxígeno Disuelto.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-065

**INFORME DE ENSAYOS N° 4407- 2021
PÁGINA 2 DE 3**

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(20%)-45días-R1 - Fecha y hora de muestreo: 14/08/2021 08:30 hrs. | UNIDADES |
|-----|--|--|-----------|
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 10060 | mg/L |
| MB | Numeración de Coliformes totales | <1.8 | NMP/100mL |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :

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. 23nd Ed. 2017.
Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23nd Ed. 2017.
Oxígeno Disuelto : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23nd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(20%)-45días-R2 - Fecha y hora de muestreo: 14/08/2021 08:30 hrs. | UNIDADES |
|-----|--|--|-----------|
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 28550 | mg/L |
| MB | Numeración de Coliformes totales | <1.8 | NMP/100mL |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :

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. 23nd Ed. 2017.
Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23nd Ed. 2017.
Oxígeno Disuelto : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23nd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(20%)-45días-R3 - Fecha y hora de muestreo: 14/08/2021 08:30 hrs. | UNIDADES |
|-----|--|--|-----------|
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 27100 | mg/L |
| MB | Numeración de Coliformes totales | <1.8 | NMP/100mL |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :

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. 23nd Ed. 2017.
Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23nd Ed. 2017.

PRP-08-F-05-IE 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 ...calidad a su servicio

Fuente: BHIOS Laboratorios S.R.L.

Anexo N°21. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 10% con Fitorremediación en 52 días para Coliformes Totales, DBO5, Cromo Total y OD.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

**INFORME DE ENSAYOS N° 4406 - 2021
PÁGINA 2 DE 3**

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(10%)-52 días-R1 - Fecha y hora de muestreo: 14/08/2021 08:30 hrs. | UNIDADES |
|-----|--|--|-----------|
| MB | Numeración de Coliformes totales | <1.8 | NMP/100mL |
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 41350 | mg/L |
| FQ | Elemento Cr* | 48.57 | mg/L |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :

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. 23nd Ed. 2017.
Elemento Cr : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 3000. Method 3111-B. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag. 3-17. 23nd Ed. 2017.
Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23nd Ed. 2017.
Oxígeno Disuelto : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23nd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(10%)-52 días-R2 - Fecha y hora de muestreo: 14/08/2021 08:30 hrs. | UNIDADES |
|-----|--|--|-----------|
| MB | Numeración de Coliformes totales | <1.8 | NMP/100mL |
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 43300 | mg/L |
| FQ | Elemento Cr* | 53.76 | mg/L |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :

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. 23nd Ed. 2017.
Elemento Cr : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 3000. Method 3111-B. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag. 3-17. 23nd Ed. 2017.
Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23nd Ed. 2017.
Oxígeno Disuelto : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23nd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y/O E.CRASSIPES Código: M(10%)-52 días-R3 - Fecha y hora de muestreo: 14/08/2021 08:40 hrs. | UNIDADES |
|-----|--|--|-----------|
| MB | Numeración de Coliformes totales | <1.8 | NMP/100mL |
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 10710 | mg/L |
| FQ | Elemento Cr* | 62.35 | mg/L |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

Anexo N°22. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 10% con Fitorremediación en 52 días para Coliformes Totales, DBO5, Cromo Total y OD



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



**INFORME DE ENSAYOS N° 4406 - 2021
PÁGINA 3 DE 3**

| | |
|---|---|
| MÉTODOS UTILIZADOS : | : |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 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. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag. 3-17. 23rd Ed. 2017. |
| Numeración de Coliformes totales | Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group; Standard Total Coliform Fermentation Technique, 23rd Ed. 2017. |
| Oxígeno Disuelto | Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23rd Ed. 2017. |

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 14/08/2021 al 20/08/2021

MB 14/08/2021 al 21/08/2021

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 24/08/2021


Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe

Anexo N°23. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 20% con Fitorremediación en 52 días para Coliformes Totales, DBO5, Cromo Total y OD



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 4572 - 2021
PÁGINA 2 DE 3

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y / O E.CRASSIPES Código: M(20%)-52días-R1 - Fecha y hora de muestreo: 21/08/2021 08:30 hrs. | UNIDADES |
|-----|--|---|-----------|
| MB | Numeración de Coliformes totales | <1.8 | NMP/100mL |
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 11390 | mg/L |
| FQ | Elemento Cr* | 51.78 | mg/L |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :

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. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag.3-17. 23rd Ed. 2017.
Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23rd Ed. 2017.
Oxígeno Disuelto : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y / O E.CRASSIPES Código: M(20%)-52días-R2 - Fecha y hora de muestreo: 21/08/2021 08:30 hrs. | UNIDADES |
|-----|--|---|-----------|
| MB | Numeración de Coliformes totales | <1.8 | NMP/100mL |
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 11930 | mg/L |
| FQ | Elemento Cr* | 46.94 | mg/L |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

MÉTODOS UTILIZADOS :

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. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag.3-17. 23rd Ed. 2017.
Numeración de Coliformes totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23rd Ed. 2017.
Oxígeno Disuelto : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

RESULTADOS

| LAB | DETERMINACIÓN | AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE TRATADAS CON EMA Y / O E.CRASSIPES Código: M(20%)-52días-R3 - Fecha y hora de muestreo: 21/08/2021 08:30 hrs. | UNIDADES |
|-----|--|---|-----------|
| MB | Numeración de Coliformes totales | <1.8 | NMP/100mL |
| MB | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | 10190 | mg/L |
| FQ | Elemento Cr* | 39.67 | mg/L |
| FQ | Oxígeno Disuelto* | <0.3 | mg/L |

ABREVIATURAS :

mg/L : Miligramos por litro
NMP/100mL : Número más probable por 100 mililitros

PRP-08-F-05-IE 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 ...calidad a su servicio

Fuente: BHIOS Laboratorios S.R.L.

Anexo N°24. Microorganismos Eficaces Activados (EMa) al 20% con Fitorremediación en 52 días para Coliformes Totales, DBO5, Cromo Total y OD



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 4572 - 2021
PÁGINA 3 DE 3

MÉTODOS UTILIZADOS :

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Elemento Cr

Numeración de Coliformes totales

Oxígeno Disuelto

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.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 3000. Method 3111-B. Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method. Pag.3-17. 23rd Ed. 2017.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 9000. 9221-B Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 23rd Ed. 2017.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 4000. Method 4500-O C. Oxygen (Dissolved) Azide Modification. 23rd Ed. 2017.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 21/08/2021 al 28/08/2021

MB 21/08/2021 al 28/08/2021

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 01/09/2021



Bigo. Miguel Valdivia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "Implementación de Humedales de Flujo Superficial para el Tratamiento Secundario por Biorremediación con Eichhornia crassipes y Microorganismos Eficaces (EM) de Aguas Residuales de Curtiembre, Arequipa 2021.", cuyos autores son MASCO MIRO PEDRO RAID, UGARTE HUAMANI JOSE ANTONIO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 18.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 15 de Noviembre del 2022

| Apellidos y Nombres del Asesor: | Firma |
|--|--|
| UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO DNI: 10473562 ORCID: 0000-0001-6017-1192 | Firmado electrónicamente por: CUGARTEA el 01-12- 2022 14:26:40 |

Código documento Trilce: TRI - 0441247