



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

**Uso de *Cyperus papyrus* para la depuración de aguas residuales
doméstica en San Juan Bautista, Marcona-Ica, 2021**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORES:

Bernales Bernaola, Eduardo Jefferson (Orcid: 0000-0002-5718-7318)

Espinoza Zambrano, Alanis Alexa (Orcid: 0000-0002-9044-5649)

ASESOR:

Dr. Jave Nakayo, Jorge Leonardo (Orcid: 0000-0003-3536-881X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y gestión de los recursos naturales

LIMA - PERÚ

2021

Dedicatoria

Esta va dedica para quien en vida fue Adela Isidora Morales Díaz, mi tía quien me apoyo incondicionalmente, confió en mí, nunca dudo de mí, en lograr mis objetivos profesionales y metas personales gracias un abrazo hasta el cielo, gracias por hacerme buen profesional con los valores inculcados.

Bernales Bernaola, Eduardo J.

Dedicado a Dios, a mis padres y abuelos, que me ayudaron y me motivaron en este camino a ser profesional.

Espinoza Zambrano, Alanis A.

Agradecimiento

Antes que nada, agradecer a Dios y un mutuo agradecimiento a nuestros padres quien con su apoyo moral por sus valores y su paciente.

A nuestra colega Nataly Lesly Palomino Aguilar por el apoyo incondicional.

Al Dr. Jave Nakayo, Jorge Leonardo, por brindarnos el asesoramiento para la realización de esta presente Tesis.

Índice de contenido

Caratula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Índice de gráficos	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	11
3.1 Tipo y diseño de investigación	11
3.2. Variables y operacionalización	11
3.3. Población, muestra y muestreo	12
3.3.2. Muestra	12
3.3.3. Muestreo.....	13
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	13
3.5. Procedimientos	14
3.6. Método de análisis de datos.....	25
3.7. Aspectos éticos	25
IV. RESULTADOS	26
V. DISCUSIÓN	54
VI. CONCLUSIONES	58
VII. RECOMENDACIONES.....	59
REFERENCIAS	60
ANEXOS.....	67

Índice de tablas

Tabla 1. Variables consideradas en la investigación	18
Tabla 2. Técnicas e instrumentos	19
Tabla 3. Descripción de los tratamientos aplicados	22
Tabla 4. Parámetros Físico Químicos Iniciales del agua Residual.....	32
Tabla 5. Resultados del oxígeno disuelto Inicial del Agua Residual Doméstica	32
Tabla 6. Resultados de la Demanda Química de Oxígeno Inicial	33
Tabla 7. Oxígeno disuelto inicial (c/agua de dilución DBO5)	33
Tabla 8. Oxígeno disuelto final (c/agua de dilución DBO5).....	33
Tabla 9. Obtención del DBO5 inicial	33
Tabla 10. Resultados de coliformes totales (Método filtración por membrana NTP INACAL) (Tubos múltiples sembrado en placa Petri).....	34
Tabla 11. Sólidos Totales iniciales.....	35
Tabla 12. Sólidos Disueltos iniciales.....	36
Tabla 13. Sólidos Suspendidos Totales iniciales	36
Tabla 14. Parámetros químicos después del Tratamiento 1	36
Tabla 15. Parámetros físicos después del Tratamiento 1	37
Tabla 16. Análisis microbiológico después del Tratamiento 1.....	39
Tabla 17. Parámetros químicos después del Tratamiento 2	40
Tabla 18. Parámetros físicos después del Tratamiento 2	41
Tabla 19. Análisis microbiológico después del Tratamiento 2.....	42
Tabla 20. Parámetros químicos después del Tratamiento 3	44
Tabla 21. Parámetros físicos después del Tratamiento 3	45
Tabla 22. Análisis microbiológico después del Tratamiento 3.....	46
Tabla 23. Resumen del análisis ANOVA factorial	49
Tabla 24. Ajuste de los parámetros medidos al diseño experimental	51
Tabla 25. Resultados de la optimización del diseño experimental	52
Tabla 26. Resultados de la eficiencia con base en los factores optimizados	52

Índice de figuras

Figura 1. Plantas de <i>Cyperus papyrus</i>	15
Figura 2. Diagrama del procedimiento de la investigación.....	20
Figura 3. Muestra de una unidad experimental del estudio de fitorremediación con <i>C. papyrus</i>	21
Figura 4. Ubicación geográfica del área de estudio	22
Figura 5. Esquema de humedal elaborado con distribución de capas de arena-grava	24
Figura 6. Principales componentes de un sistema eco-tecnológico para tratamiento de aguas residuales. Fuente: Montiel (2014)	25
Figura 7. Fotografías de la prueba para determinar Coliformes totales iniciales. 35	
Figura 8. Fotografías de las pruebas microbiológicas (Tratamiento 1)	40
Figura 9. Fotografías de las pruebas microbiológicas (Tratamiento 2)	44
Figura 10. Fotografías de las pruebas microbiológicas (Tratamiento 3)	48

Índice de gráficos

<i>Gráfico 1.</i> Comportamiento gráfico de los parámetros químicos (Tratamiento 1)	31
<i>Gráfico 2.</i> Comportamiento gráfico de los parámetros físicos (Tratamiento 1)	32
<i>Gráfico 3.</i> Comportamiento gráfico de los parámetros microbiológicos (Tratamiento1).	33
<i>Gráfico 4.</i> Comportamiento gráfico de los parámetros químicos (Tratamiento 2)	35
<i>Gráfico 5.</i> Comportamiento gráfico de los parámetros físicos (Tratamiento 2)	36
<i>Gráfico 6.</i> Comportamiento gráfico de los parámetros microbiológicos (Tratamiento2).	37
<i>Gráfico 7.</i> Comportamiento gráfico de los parámetros químicos (Tratamiento 3)	39
<i>Gráfico 8.</i> Comportamiento gráfico de los parámetros físicos (Tratamiento 3)	40
<i>Gráfico 9.</i> Comportamiento gráfico de los parámetros microbiológicos (Tratamiento3).	41

RESUMEN

Se determinó la eficiencia de *Cyperus papyrus* para depurar aguas residuales domésticas en el AA. HH San Juan Bautista, Marcona-Ica, ya que, en esta comunidad, las aguas residuales domésticas son vertidas sin tratamiento. Se utilizó un humedal artificial construido en peceras de 100 litros con medios filtrantes grava gruesa, grava fina, arena fina y arena limosa. La *C. papyrus* se sembró en tres densidades (10, 20 y 30) y 6 tiempos de retención (30, 60, 90, 120, 150 y 180 min). El diseño experimental fue factorial con 3 tratamientos, 6 tiempos y una muestra por tiempo. Los parámetros medidos fueron Temperatura, pH, Turbidez, Potencial Redox, Conductividad eléctrica, Sólidos Totales y Disueltos, Oxígeno disuelto, Coliformes totales, DQO y DBO5. El sistema redujo los parámetros microbiológicos de forma eficiente: Coliformes Totales = 100%, DQO = 94,54% y DBO5 = 99.97%. Así como la Turbidez = 79.16% y Sólidos Totales = 59.86%. No fue eficiente para la Conductividad eléctrica, los Sólidos disueltos y el Potencial Redox. El análisis ANOVA arrojó que las condiciones óptimas fueron: densidad = 30 plantas y tiempo = 180 min. Se demostró la aplicabilidad del humedal artificial con *C. papyrus* para tratar las aguas residuales del área de estudio.

Palabras clave: Calidad de agua, humedal artificial, *C. papyrus*, depuración

ABSTRACT

The efficiency of *Cyperus papyrus* to purify domestic wastewater in the AA. HH San Juan Bautista, Marcona-Ica, since, in this community, domestic wastewater is discharged without treatment. An artificial wetland constructed in 100-liter fish tanks with coarse gravel, fine gravel, fine sand and silty sand filter media was used. *C. papyrus* was planted at three densities (10, 20 and 30) and 6 retention times (30, 60, 90, 120, 150 and 180 min). The experimental design was factorial with 3 treatments, 6 times and one sample per time. The parameters measured were Temperature, pH, Turbidity, Redox Potential, Electrical Conductivity, Total and Dissolved Solids, Dissolved Oxygen, Total Coliforms, DDO and BOD5. The system reduced the microbiological parameters efficiently: Total Coliforms = 100%, COD = 94.54% and BOD5 = 99.97%. Turbidity = 79.16% and Total Solids = 59.86%. It was not efficient for Electrical Conductivity, Dissolved Solids and Redox Potential. The ANOVA analysis showed that the optimal conditions were: density = 30 plants and time = 180 min. The applicability of the artificial wetland with *C. papyrus* to treat wastewater in the study area was demonstrated.

Key words: Water quality, artificial wetland, *C. papyrus*, purification.

I. INTRODUCCIÓN

La escasez de agua se ha vuelto un problema frecuente y relevante para la población mundial, a través de los años. La UNESCO (2020) sostiene que en el último siglo el uso de este recurso ha incrementado de manera abismal y viene creciendo a un ritmo anual del 1%. Alrededor del planeta millones de seres humanos utilizan una fuente de agua que contiene heces (OMS, 2019); que son generadas en su mayoría por aguas residuales domésticas. La falta de plantas de tratamientos de agua ocasiona grandes cantidades de desechos con aguas contaminadas, para que al final de su recorrido terminan en ríos, lagos, mares, entre otros (Rodríguez, 2017). Según el PENUMA, el 80% de las aguas residuales a nivel mundial no cuentan con un procedimiento conveniente, debido a que generan daño al ambiente y a los seres vivos (Gestores de residuos, 2015). En ese mismo orden de ideas, Yee-Batista (2013) sostiene que el 70% de la producción de aguas residuales dentro de Latinoamérica no son tratadas y que, por el contrario, el agua es separada, utilizada y regresada completamente contaminada a los ríos.

Frente a este problema se buscan soluciones viables en cuanto a los aspectos ambientales, económicos y sociales, asegurando la sostenibilidad, por lo que la investigación a desarrollar plantea una alternativa para depurar aguas residuales de actividades domésticas a partir de la capacidad fitorremediadora de la planta *Cyperus papyrus* en humedales artificiales con aplicación directa en el AA.HH. San Juan Bautista, Marcona, Ica. En este sentido, Stavney (2019) define la fitorremediación como el uso de plantas para remediar o limpiar los contaminantes ambientales. Por su parte, Stefanakis (2020) especifica que una de las formas de uso de la tecnología de fitorremediación es por medio de humedales artificiales, en los cuales los contaminantes se eliminan de las aguas residuales mediante varios mecanismos, como sedimentación, degradación microbiana, precipitación y absorción por las plantas, con los que se eliminan la mayoría de los contaminantes.

A nivel nacional, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014) dio a conocer que las 50 empresas que prestan el servicio de saneamiento solo cubren un 69.6% de los habitantes peruanos ya que tienen problemas con el tratamiento de las aguas residuales domésticas, lo que es imprescindible para prevenir el incremento de la contaminación de los ecosistemas, y la reproducción de los puntos

de aglomeración, evitando así la proliferación de focos infecciosos logrando disminuir el daño a la salud humana. Por su parte, se menciona que solo el 21.2% de las aguas residuales domésticas son tratadas, por lo que la mayoría son vertidas sin tratamiento a los cuerpos de agua y terrenos baldíos, o son empleadas en riego decultivos, representando un riesgo grave para la salud y el ambiente. El organismo citado también menciona que de más de 2,2 millones de m³ de aguas residuales que se generan a diario en el Perú, solo el 32% toma un tratamiento previo antes de ser vertido a los cuerpos de agua natural y que solo en Lima se generan 1.2 millones de m³ de aguas residuales de los cuales un 20% que acoge el procedimiento.

A partir de la situación problemática planteada surge la siguiente interrogante general ¿Cuál es la eficiencia del *Cyperus papyrus* para depurar las aguas residuales domésticas en el AA. HH San Juan Bautista, Marcona-Ica, 2021?, de la cual derivan interrogantes específicas: (i) ¿Cómo influye el tiempo de contacto de la *Cyperus papyrus* con las aguas residuales domésticas en su depuración?, (ii) ¿Cómo influye la densidad de plantas de *Cyperus papyrus* en la depuración de las aguas residuales domésticas en el AA. HH San Juan Bautista, Marcona-Ica?, (iii) ¿Cuáles serán el tiempo y la densidad de plantas óptimos para la depuración de las aguas residuales en el AA. HH San Juan Bautista, Marcona-Ica?

Teóricamente, el estudio se justifica debido a que permite a los investigadores obtener un conocimiento más profundo sobre cómo se pueden depurar las aguas residuales utilizando la planta de *C. papyrus* como fitorremediadora y ahondar en el conocimiento de los parámetros necesarios para optimizar el tratamiento de las aguas residuales mediante la técnica de humedal artificial, lo que es fundamental para el mejoramiento de la calidad del agua que va a ser vertida a cuerpos de agua o que puede ser utilizada para otros fines, como el riego, y permitirá mostrar la viabilidad de la tecnología de tratamiento de agua, lo que puede ser de interés para la población y entes gubernamentales.

En la práctica, la investigación permitirá plantear un diseño de humedal artificial bajo las condiciones óptimas de operación a nivel piloto, el cual pueda ser escalado a tamaño real y de esta forma poder contribuir con la solución de un problema

ambiental que, además puede afectar la salud de la población, como lo es el vertido de agua contaminada en cuerpos de agua superficiales o en el suelo.

Con base en lo expuesto, se establece el siguiente objetivo general: Determinar la eficiencia de la *Cyperus papyrus* para depurar aguas residuales domésticas en el AA. HH San Juan Bautista, Marcona-Ica, 2021 y los siguientes objetivos específicos: (i) Analizar la influencia del tiempo de contacto de la *Cyperus papyrus* con las aguas residuales domésticas en su depuración; (ii) Analizar la influencia de la densidad de plantas de *Cyperus papyrus* en la depuración de las aguas residuales domésticas en el AA. HH San Juan Bautista, Marcona-Ica; (iii) Determinar el tiempo y la densidad de plantas óptimos para la depuración de las aguas residuales en el AA. HH San Juan Bautista, Marcona-Ica.

Teniendo en cuenta los objetivos, se planteó la siguiente hipótesis general: Se puede depurar las aguas residuales domésticas en el AA. HH San Juan Bautista, Marcona-Ica mediante fitorremediación utilizando plantas de *Cyperus papyrus*, y como hipótesis específicas: (i) Mientras mayor sea el tiempo de contacto de las aguas residuales domésticas con la *Cyperus papyrus* mayor será la depuración; (ii) Al utilizar una mayor densidad de plantas de *Cyperus papyrus* se logra una mayor depuración de las aguas residuales domésticas; (iii) Se puede establecer un tiempo de contacto de las aguas residuales y una densidad de plantas de *Cyperus papyrus* óptima que permita la mayor depuración.

II. MARCO TEÓRICO

Como parte fundamental del sustento teórico de la presente investigación, en el presente capítulo se detallan algunos estudios previos o antecedentes que abordan el tema de la fitorremediación de aguas residuales con *Cyperus papyrus* y otras plantas. Primeramente, se abordarán los estudios a nivel internacional.

Hamad (2020), realizó un estudio comparativo sobre el desempeño de *Cyperus papyrus* y *Typha latifolia* en remoción de bacterias entéricas y metales pesados de las aguas residuales por humedales artificiales superficiales. El objetivo principal fue comparar la eficiencia ambas plantas con zeolita en sistemas de humedales para la eliminación de patógenos (coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, *Pseudomonas aeruginosa* y *Salmonella spp.*) y fisiologías contaminantes coquímicos de las aguas residuales. Los resultados fueron los siguientes: para el lecho de *T. latifolia* la eficiencia de eliminación fue de 68.5% para el DQO, 71% de DBO, 70% de SST y 82.3% de amoníaco; por otro lado, con el lecho de *C. papyrus* se obtuvo 85.5% para el DQO, 86.2% de DBO, 83.9% de SST y 92.3% de amoníaco. Los resultados de los parámetros bacteriológicos se redujeron al 99.9% y el *C. papyrus* logró la eliminación total de la *Salmonella spp* en un periodo de 3 días. Esto quiere decir que el *C. papyrus* fue más eficiente que la *T. latifolia*.

Abou-Elala, Hellal y Elekhrawy (2019) publicaron un artículo en el que estudiaron la fitorremediación de aguas residuales municipales para su reutilización mediante tres Humedales artificiales de flujo horizontal (HFCW) a escala piloto bajo diferentes tasas de carga hidráulica (HLR), tiempos de retención hidráulica (HRT) y vegetación, en un estudio de caso realizado en Egipto. El estudio investigó el efecto de la multivarianza en el rendimiento de tres humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial idénticos para tratar aguas residuales municipales reales para su reutilización. Cada cuenca fue vegetada con cierto tipo de plantas: *Cyperus papyrus*, *Canna flaccida* y *Phragmites australis*. Se operaron simultáneamente con la misma configuración y a tres tasas de HLR diferentes: 0.18, 0.10 y 0.07 m³/m²d, y a los correspondientes HRT: 1.8, 3.2 y 4.7 d. El caudal en cada cuenca fue de 8 m³/d. Cada cuenca tenía tres puntos de muestreo idénticos

que representan un HLR y un HRT específicos. Los resultados indicaron que los valores más altos de eliminación de materia orgánica, nutrientes y patógenos se alcanzaron con $0.07 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ HLR y 4.7 d HRT. El orden de la eficiencia de eliminación de la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno en las tres cuencas fue *P. australis* (88.6% y 89.1%) > *C. papyrus* (86.9% y 87.5%) > *C. flaccida* (83.4% y 83.5%). La mayor eficiencia de eliminación de nitrógeno y fósforo fue alcanzada por *C. papyrus* seguida por *P. australis* y luego por *C. flaccida*. Con *C. papyrus* se eliminaron tres registros de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*, mientras que *C. flaccida* y *P. australis* sólo eliminaron 2.5 registros.

García-Ávila et al. (2019) buscaron estudiar de qué manera el *Phragmites australis* y *Cyperus papyrus* rendían en el tratamiento de aguas residuales a nivel municipal, mediante el empleo de humedales artificiales subsuperficiales con flujo de manera vertical. Su objetivo fue lograr estudiar ambas especies y verificar cual tiene mayor capacidad de depurar el contenido de las aguas de las actividades domésticas utilizando dos especies de plantas sembradas en humedales artificiales subsuperficiales de flujo vertical construidos a una escala menor, que recibían aguas recolectadas por la municipalidad mediante un tratamiento primario. Se emplearon dos especies, *P. australis* y *C. papyrus*. Para ello, se alimentó con un caudal constante de $0.6 \text{ m}^3/\text{d}$ desde la laguna primaria a cada uno de los dos humedales construidos a escala piloto con flujo continuo. Cada unidad se llenó con grava de granito en la parte inferior y con arena silíceas en la parte superior de diferente granulometría, la porosidad del medio fue de 0.34, con un tiempo de retención de 1.12 días y una tasa de carga hidráulica de 0.2 m/d. Para analizar la capacidad de depuración de las aguas residuales, se controlaron los parámetros físicos, químicos y biológicos durante tres meses. Se tomaron muestras a la entrada y a la salida en cada unidad experimental. Los resultados obtenidos en las pruebas experimentales para las dos especies de plantas, indicaron que el *C. papyrus* presentó una mayor capacidad de eliminación de contaminantes como demanda bioquímica de oxígeno (80.69%), demanda química de oxígeno (69.87%), nitrógeno amoniacal (69.69%), fósforo total (50%), coliformes totales (98.08%) y coliformes fecales (95.61%). En el caso de *P. australis* retiene más sólidos. La especie con mayor eficiencia en el tratamiento de aguas residuales municipales para este

estudio fue *C. papyrus*.

Mbemba et al. (2019) en su trabajo de investigación evaluaron la capacidad de depuración de 3 filtros plantados en paralelo (PF1, PF2 y PF3) compuestos por tres plantas (*Phragmites australis* (Cav) Trin ex Steud, *Typha latifolia* L. y *Cyperus papyrus* L.) sobre los lixiviados de un vertedero de residuos industriales en Pointe-Noire (República de Congo). Para evaluar la capacidad de depuración, se tomaron 14 muestras a lo largo de 8 semanas, con 7 muestras de los lixiviados crudos del centro de vertido técnico, y 7 muestras de lixiviados limpios tras pasar por el filtro vegetal tríptico. Los análisis fisicoquímicos permitieron determinar los siguientes parámetros COT, DQO, $\text{NO}_3 - \text{PO}_4^{2-}$, Ni, Cd, Cr^{VI} , Zn, Cu y Pb. Los resultados mostraron una disminución significativa de la contaminación orgánica, con índices de reducción del COT y la DQO superiores al 90%. La eficacia media de eliminación es, respectivamente, del 45.97% para los nitratos y del 40.2% para los fosfatos. Los índices de reducción de los metales pesados oscilan entre el 41.2% y el 60.9% para el níquel, entre el 52.2% y el 68.5% para el cadmio, entre el 49% y el 71.7% para el cromo VI, entre el 59% y el 74.6% para el zinc, entre el 50.9% y el 65% para el cobre y entre el 61.4% y el 75.1% para el plomo. Sin embargo, se necesitan análisis adicionales para confirmar la naturaleza hiperacumuladora de estos filtros vegetales, en particular las isotermas de absorción y la cinética de extracción de metales pesados de *P. australis* (Cav) Trin ex Steud, *T. latifolia* L. y *C. papyrus* L.

Mendoza, Pérez y Galindo (2018) evaluaron el desempeño de las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* para el tratamiento de las aguas residuales municipales de la ciudad de Riohacha en Colombia. El trabajo se basó en un diseño experimental factorial, en el que se contó con un factor (plantas) con seis unidades experimentales, los cuales corresponden a un control y cinco tratamientos, así mismo se instalaron 6 microcosmos con capacidad de 84.4 L cada uno, que funcionaron a condiciones ambientales. Para el tratamiento de los datos, en la investigación se usó la prueba de Dunnet con la que no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos y el control. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: las máximas eficiencias de remoción se obtuvieron en los microcosmos con 100% y 50% de cobertura de *P. stratiotes*, a excepción de DBO cuya máxima eficiencia se presentó con 50% de cada planta.

Entre los estudios realizados a nivel nacional, se pueden mencionar, el de Muñoz y Vásquez (2020) quienes estudiaron la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas a través de humedales artificiales utilizando cinco especies de macrófitas: *Juncus sp.*, *Phragmites australis*, *Typha dominguensis*, *Chrysopogon zizanioides* y *Cyperus papyrus*. El trabajo se basó en análisis documental para recolectar datos de fuentes secundarias como libros, tesis, revistas, artículos científicos, entre otros, en el mismo se establecieron palabras claves y criterios de inclusión como título del artículo, autores, tipo de publicación, año de publicación y lugar donde se realizó el estudio. Después de estudiar todos los artículos seleccionados, se recopiló de cada estudio los porcentajes de remoción de los parámetros de DBO5, DQO, Sólidos Totales en Suspensión y Coliformes termotolerantes, mostrando los siguientes rangos globales de remoción: *Juncus sp.* 74.13% a 81.67%, *P. australis* 67% a 89.5%, *T. dominguensis* 93.57% a 96.77%, *C. zizanioides* 88.09% a 91% y *C. papyrus* 50.8%. De lo anterior se pudo concluir que la especie *T. dominguensis* resulta por mucho, la más eficiente para la remoción de contaminantes de aguas residuales domésticas.

Parra (2020) en su trabajo de investigación evaluó la eficiencia de humedales artificiales usando *Hydrocotyle bonariensis* Lam. y *Typha latifolia* L. con la finalidad de disminuir el nivel de plomo en aguas residuales provenientes del río Tarma. El diseño experimental costó de tres tratamientos y un control. Se estudiaron a escala de laboratorio humedales de flujo subsuperficial, con el uso de 40 plántulas de *H. bonariensis* y *T. latifolia* tanto en forma independiente como asociada. A cada tratamiento se les determinó la eficiencia de remoción de plomo, así como otros parámetros como la conductividad eléctrica, DBO5, pH, nitrógeno y fósforo total, a partir de una evaluación máxima de 30 horas. Los resultados indicaron que el tratamiento conformado por el humedal artificial que contenía *T. latifolia* (T2), mostró mayores valores de reducción de conductividad eléctrica (50%), nitrógeno total (90.7%), fósforo total (80%), DBO5 (78.24%) y plomo (83.12%) y un pH promedio de 5.8. Se demostró con los resultados, que es viable la remoción del plomo y otros parámetros en el agua residual con el humedal artificial de tipo subsuperficial estudiado.

Chang y Huamán (2019) investigaron sobre la eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) como alternativas en el tratamiento de aguas residuales doméstica producidas en el distrito de Llaylla — Provincia de Satipo-Departamento de Junín, mediante un sistema de tratamiento basado en humedales artificiales. El sistema estuvo constituido por un sedimentador y cuatro humedales, el tratamiento del agua residual doméstica se realizó durante cuatro meses con muestreos mensuales de los afluentes y efluentes. Se analizaron parámetros microbiológicos y fisicoquímicos. Se obtuvo que la *E. crassipes* removió aceites y grasas en 75.4%, DBO a un 78.2%, DQO al 72.1%, STS 82% y Coliformes fecales 99.9%, por su parte, la *P. stratiotes* fue capaz de remover aceites y grasas en 75.4%, DBO a un 79.8%, DQO al 73.7%, STS 82% y Coliformes fecales 99.9%. En conclusión, la macrófita más eficiente fue *P. stratiotes* con remoción total de 82.2% comparado con la *E. crassipes* cuya remoción fue de 81.5%. Por otro lado, la calidad del efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas planteado cumple con las condiciones para ser vertidas al cuerpo receptor (rio Chalhuamayo), según los parámetros del D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP.

Núñez, Saboya y Cruz (2019) evaluaron un sistema de fitorremediación mediante las especies palustre (*Zantedeschia aethiopica*) y flotante (*Eichhornia crassipes*) para tratar aguas residuales domésticas en la región natural Quechua-Cajamarca, para ello se diseñó e implementó un sistema considerando infiltraciones en el humedal subsuperficial horizontal contenedor del sustrato, el agua a tratar y la especie *Z. aethiopica* de 1.16 m de ancho, 2.32 m de largo y 0.5 m de alto, seguido de un humedal superficial conformado por el agua a tratar y la especie *E. crassipes* cuyas dimensiones fueron 1.39 m de ancho, 2.78 m de largo y 0.40 m de alto. El tratamiento duró 90 días, obteniéndose en la entrada y salida los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos. Los resultados de remoción fueron para Aceites y grasas 76%, DBO5 95%, DQO 92%, SST 95%, turbidez 96%, N-NH₃ 64%, Conductividad 59%, y los valores más bajos fueron Color 34% y CTT 22%. En conclusión, se alcanzó un 70% de eficiencia de remoción, los parámetros que no lograron la remoción adecuada para cumplir el LMP y ECA por completo indican la necesidad de implementar un tratamiento primario.

Herrera (2018) realizó una investigación donde evaluó la capacidad de *Lemna spp* y *Eichornia spp* para la depuración de aguas residuales domésticas a nivel piloto. La evaluación de los humedales artificiales se llevó a cabo durante tres meses, tomando muestras iniciales y finales. Los resultados mostraron 8.7 mg/L de sulfonato de alquilbenceno lineal (LAS) como concentración inicial y luego del tratamiento 4.450 mg/L en promedio para T0; 0.833 mg/L en promedio para T1; 0.690 mg/L en promedio para T2; 0.547 mg/L en promedio para T3. Los resultados indicaron que para la remoción el tratamiento más eficiente fue el T3 (*Lemna spp* y *Eichornia spp*), es decir donde se utilizaron ambas especies, alcanzando un 93.7% de eficiencia y en segundo lugar el tratamiento 2 con 92.2%. Se logró una remoción de más de 90% en los parámetros de sólidos totales en suspensión, turbidez y demanda bioquímica de oxígeno. Se demostró que existe una remoción del sulfonato de alquilbencemo lineal y de los demás parámetros estudiados.

A continuación, se presentan algunos fundamentos teóricos relacionados con las variables del estudio. La *Cyperus papyrus* es una planta perteneciente a la familia Cyperaceae, nativa de los humedales de África y que es cultivada ampliamente como planta ornamental en todo el mundo (Carballeira y Souto, 2018). En la figura 1 se muestra un ejemplo de plantas de *C. papyrus*.



Figura 1. Plantas de *Cyperus papyrus*.

Fuente: Carballeira y Souto (2018)

Esta planta acuática o palustre puede llegar a medir hasta 5 m de altura con una profundidad de raíces de 0.2-0.4 m, posee hojas basales pequeñas dispuestas en umbrelas compuestas, sus inflorescencias son terminales, además presenta brácteas más cortas que los radios que llegan hasta 30 cm de largo, filiformes, con espiguillas delgadas, agrupadas en cabezuelas al final de los radios y de color pardusco. Se reproduce a través de rizomas donde brotan troncos nuevos a intervalos regulares, aunque también producen semillas que suelen ser transportadas por el viento. Tolerancia temperaturas entre 20 y 33 °C y crecen en suelos con pH entre 6 y 8.5 (Torres et al., 2017).

La fitorremediación, o uso de plantas para la remoción de contaminantes, es una técnica que está limitada por la tasa de crecimiento de las plantas. La fitorremediación de un emplazamiento puede requerir más tiempo que otras tecnologías de limpieza más tradicionales, por lo tanto, el tiempo de contacto del efluente con las plantas en un humedal artificial son claves para su funcionamiento y eficiencia, ya que estos se utilizan para limpiar grandes volúmenes de efluentes con bajos niveles de contaminantes (U.S. Environmental Protection Agency, 2000). El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014) menciona que los efluentes domésticos son aquellos que tienen origen comercial y residencial, que tienen desechos fisiológicos, entre otros, que provienen de la actividad antropogénica y deben ser dispuestos de manera adecuada.

Las aguas residuales domésticas son aquellas aguas efluentes producto de las actividades humanas, mayormente las producidas en los hogares. Su contenido incluye materia orgánica, microorganismos, residuos de detergente, desinfectantes y grasas (de Anda et al., 2018). Por otro lado, la calidad del agua es una variable que se define como las características químicas, físicas y biológicas del agua, normalmente en relación con su idoneidad para un uso determinado (Roy, 2019). Por su parte, Jiménez et al. (2010) indica que para realizar un diagnóstico eficiente de la alteración de calidad del agua se requieren mediciones de característica como los compuestos orgánicos tóxicos, los metales pesados o grupos de bacterias, lo que va a tener relación directa con el uso que se le dé al agua.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

La investigación es de tipo aplicada, de acuerdo a Vargas (2009) por encaminarse a la búsqueda de la aplicación o utilización de conocimientos adquiridos y de ella se obtienen nuevos conocimientos, luego de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación, lo que deriva en resultados rigurosos, organizados y sistemáticos que permiten conocer la realidad.

El enfoque de la investigación es cuantitativo, según Sánchez, Reyes y Mejía (2018) se da cuando una investigación está basada en la medición numérica. En las investigaciones de este enfoque, se recolectan y analizan datos para responder preguntas de investigación y probar hipótesis con base en la medición numérica, en el conteo y, frecuentemente, en el uso de la estadística, para establecer patrones y tendencias.

El enfoque de la investigación será cuantitativo, que según Sánchez, Reyes y Mejía (2018) se da cuando una investigación está basada en la medición numérica. En las investigaciones de este enfoque, se recolectan y analizan datos para responder preguntas de investigación y probar hipótesis con base en la medición numérica, en el conteo y, frecuentemente, en el uso de la estadística, para establecer patrones y tendencias.

B. Diseño de Investigación

La presente investigación es de diseño experimental, porque por medio de la investigación se modifica las variables independientes para determinar el efecto que ocasiona el uso de *C. papyrus* sobre la calidad de las aguas residuales domésticas. Respecto a la investigación experimental, Marradi (2013) indica que los diseños experimentales buscan establecer relaciones causa-efecto, específicamente, cuando se pretende estudiar de que forma una variable independiente (causa) puede modificar una variable dependiente (efecto).

3.2. Variables y operacionalización

En la investigación se plantean tres variables: tiempo de contacto, densidad de

plantas y calidad del agua. Estas variables pueden definirse como cuantitativas, debido a que se tratarán con indicadores numéricos y se emplearán procedimientos cuantitativos y estadísticos para recoger información y procesarla (Sánchez, Reyes y Mejía, 2018).

Tabla 1. *Variables consideradas en la investigación*

Variable	Categoría	Función	Indicadores
Tiempo de contacto	Cuantitativa	Independiente	Tiempos de muestreo: 30, 60, 90, 120, 150, 180 min
Densidad de plantas	Cuantitativa	Independiente	Cantidad de plantas sembradas por unidad experimental: 10, 20, 30
Calidad del agua	Cuantitativa	Dependiente	<ul style="list-style-type: none"> • Turbidez • Temperatura • Potencial Redox • Sólidos Totales • Sólidos Disueltos • DBO5 • pH • DQO • Oxígeno Disuelto • Coliformes Totales • Conductividad eléctrica

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población

La población o universo de estudio, se define como el conjunto total de individuos, casos o elementos que poseen características comunes, que pueden ser objeto de estudio (Sánchez, Reyes y Mejía, 2018). La población en la presente investigación está constituida por las aguas residuales, provenientes de la poza de oxidación del AA. HH San Juan Bautista, Marcona-Ica.

3.3.2. Muestra

La muestra se define como una parte de la población que se extrae para recabar la información que permitirá el análisis de la situación que los involucra, por lo que la misma debe ser representativa (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). La muestra está constituida por 300 litros de agua residual doméstica

provenientes de la poza de oxidación del AA. HH San Juan Bautista, Marcona-Ica.

3.3.3. Muestreo

El tipo de muestreo fue no probabilístico intencional, debido a que se aplicó por la facilidad de acceso a la muestra, sin ningún criterio de escogencia estadística, ubicando el mejor lugar donde tomar la muestra (Sánchez, Reyes y Mejía, 2018). Este muestreo se realizó en la en la desembocadura del efluente domestico del AA. HH San Juan Bautista, Marcona-Ica en concordancia con el Protocolo de monitoreo de la Calidad de agua del Ministerio de Salud del Perú (2007), donde se establece que el muestreo debe hacerse en el punto en el que la descarga se haya mezclado completamente.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas utilizadas en la presente investigación será la observación y experimentación, por tal motivo se usa los instrumentos como ficha de monitoreo. Para la recolección de datos experimentales se utilizarán 4 fichas demonitoreo: Ficha N° 01 Formato de recolección de muestra, Ficha N° 02 Formato de caracterización del agua residual, Ficha N° 03 Formato del diseño experimental y Ficha N° 04 Formato de Resultados del proceso. Se emplearán técnicas e instrumentos para la recolección de datos, según la descripción mostrada en la tabla 2.

Tabla 2. *Técnicas e instrumentos*

Técnicas	Instrumento
Revisión bibliográfica	Fichas bibliográficas
Muestreo para la calidad de agua	Ficha N° 01 Formato de recolección de muestra
Análisis físico y químico de efluente doméstico	Ficha N° 02 Formato de caracterización del agua residual.
Desarrollo experimental	Ficha N° 03 Formato del diseño experimental.

3.5. Procedimientos

El procedimiento seguido para el logro de los objetivos planteados se muestra en el diagrama de la figura 2.

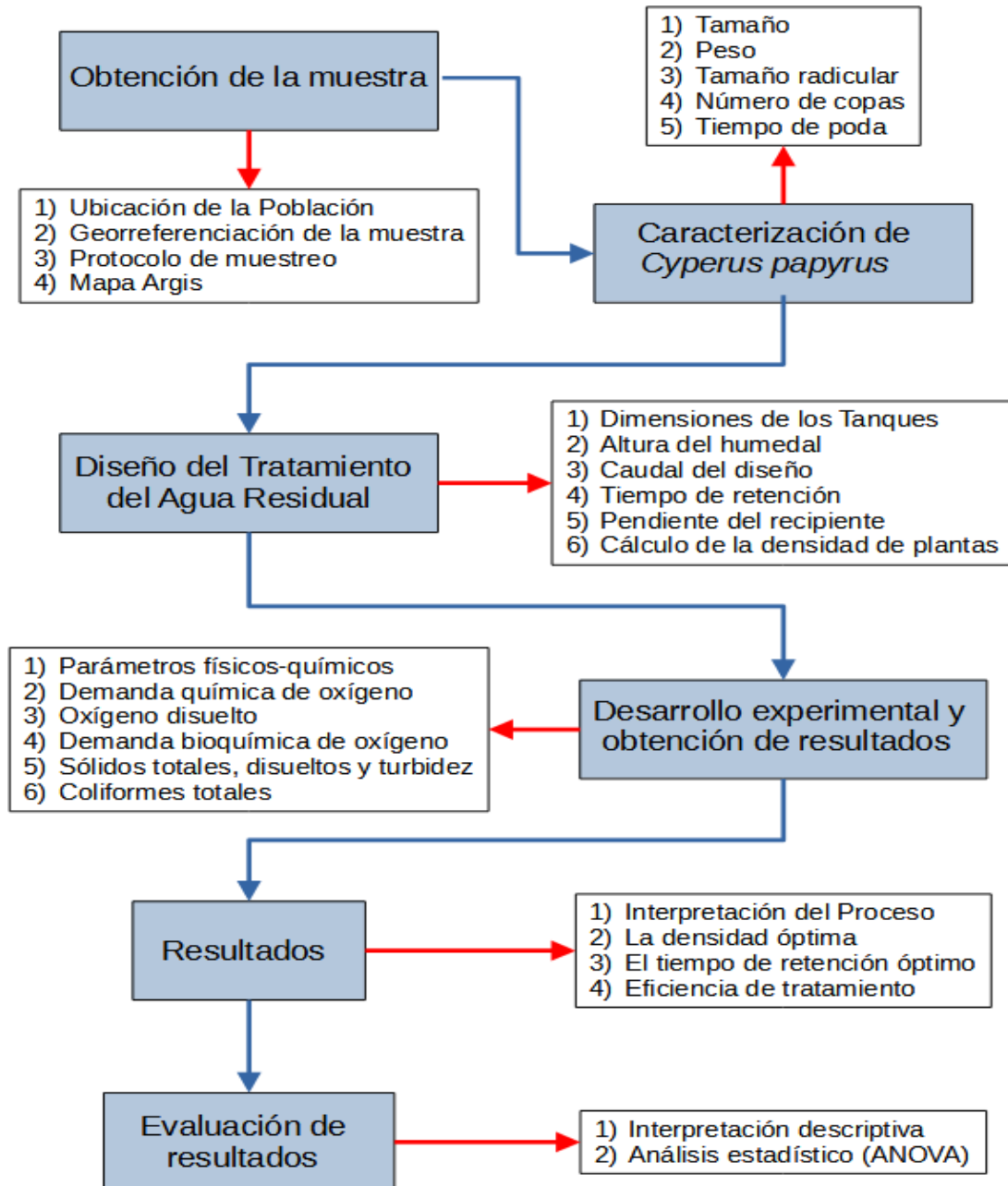


Figura 2. Diagrama del procedimiento de la investigación

El diseño experimental fue factorial de tipo interacción de 2 factores, con una muestra tomada por cada ejecución, para un total de 18 ejecuciones. Este diseño consta de dos factores experimentales: Tiempo de contacto, con seis niveles (30, 60, 90, 120, 150 y 180 min) y Densidad de plantas, con tres niveles (10, 20 y 30 plantas). Además de una variable respuesta: Calidad del agua, compuesta por 11 propiedades (Turbidez, Temperatura, Potencial Redox, Sólidos totales, Sólidos disueltos, DBO5, pH, DQO, Oxígeno disuelto, Coliformes totales y Conductividad eléctrica).

Las unidades experimentales estarán representadas por tres tratamientos, los cuales van a estar en función de la densidad de plantas, en peceras de 100 L de capacidad, como se muestra en la figura 3. La descripción de cada uno de los tratamientos aplicados se muestra en la tabla 3.

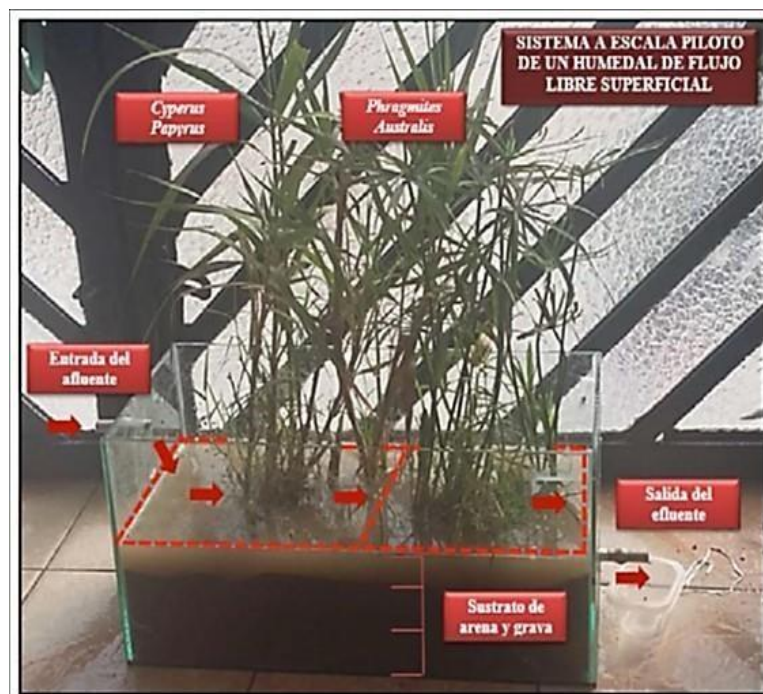


Figura 3. Muestra de una unidad experimental del estudio de fitorremediación con *C. papyrus*.

Tabla 3. Descripción de los tratamientos aplicados

Tratamiento 1 (T1)	Tratamiento 2 (T2)	Tratamiento 3 (T3)
100 l agua	100 l agua	100 l agua
10 <i>Cyperus papyrus</i> (20 cm)	20 <i>Cyperus papyrus</i> (20 cm)	30 <i>Cyperus papyrus</i> (20 cm)
5 cm arena gruesa	5 cm arena gruesa	5 cm arena gruesa
5 cm tierra	5 cm tierra	5 cm tierra
Capa de grava	Capa de grava	Capa de grava

Los detalles del procedimiento se describen a continuación:

ETAPA 1: Obtención de la muestra

El proyecto se realizó en el distrito de Marcona, provincia de Nasca, departamento de Ica, donde se ubicó los pozos de oxidación, específicamente en el AA.HH. San Juan Bautista, de donde se obtuvo la muestra inicial de aguas residuales. La AA. HH San Juan Bautista se encuentra ubicada en las coordenadas 15°21'58.71" S y 75°09'22.90" (Figura 4)



Figura 4. Ubicación geográfica del área de estudio.

Se tomaron en cuenta los cuidados que deben de tener para la obtención de muestra de aguas residuales o doméstica para analizarlo en el laboratorio, la aplicación del muestreo de aguas residuales procedente del sistema de recolección de aguas residuales domésticas ubicado en el AA. HH San Juan Bautista. Siguiendo el protocolo de muestreo de calidad de agua del Ministerio de Salud del Perú (2007) y conservación para su análisis en laboratorio, se utilizaron botellas de boca ancha donde el agua fue mezclada y mantenida en condiciones de refrigeración a 4°C y oscuridad para su adecuación para los análisis microbiológicos. Se registraron los siguientes datos por muestra:

- Fecha y hora de la recogida de muestra
- Finalidad del Muestreo
- Ubicación del pozo de oxidación o del lugar del muestreo
- Modelo de prueba (simple o compuesta)
- De tratarse de aguas residuales, reconocer los procesos que genera los efluentes
- Volumen y cantidad de número de muestras recepcionada.
- Responsables de la toma de muestra.
- Firma de personal responsable.

ETAPA 2: Caracterización de las plantas *C. papyrus*

En esta etapa se adquirieron de un vivero en Chincha las plantas de *C. papyrus*, se trasladará de Chincha a Marcona mediante la empresa de transporte Civa y fueron recepcionadas para su siembra según las densidades preestablecidas en las 3 peceras. Se hizo un monitoreo diario para ver el estado de las plantas en las cada una de las unidades experimentales. Para asegurar la homogeneidad de las plantas se tomaron en cuenta los siguientes parámetros de las mismas:

- Tamaño
- Peso
- Tamaño radicular
- Número de copas
- Tiempo de poda

ETAPA 3. Diseño del tratamiento del agua residual

En la figura 5 se muestra un diagrama esquemático de la distribución de los elementos en los sistemas de humedal artificial diseñado para la investigación.

El área superficial de cada humedal (3 uno para dada densidad de plantas) fue la siguiente:

$$\text{Área} = 25 \text{ cm} \times 70 \text{ cm} = 1750 \text{ cm}^2$$

Dado que la profundidad fue de 40 cm se tuvo un sistema con el siguiente volumen:

$$\text{Volumen} = 25 \text{ cm} \times 70 \text{ cm} \times 40 = 70000 \text{ cm}^3$$

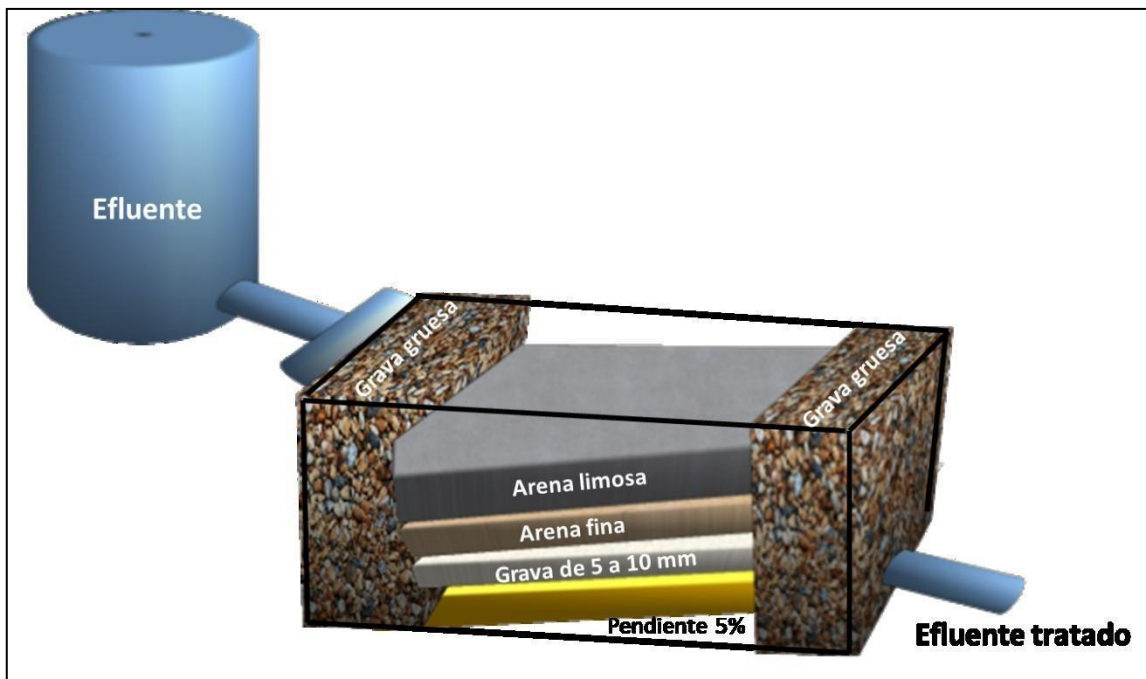


Figura 5. Esquema de humedal elaborado con distribución de capas de arena-grava.

Los componentes del sistema fueron los siguientes:

- Tanque Alimentador: 50 litros (1)
- Tanque de reciclaje: 50 litros (1)
- Tubería de 1 ½ x 6 metros
- Codos de 1 ½ x 6
- Llaves de paso 5 de 1 ½ (presión)

Diseño, Cálculo y Dimensionado del Sistema

En la investigación se elaboró un sistema eco-tecnológico el cual permitirá tratamientos para distintas aguas impactadas por contaminación, este diseño estuvo construido de tal forma que no necesita de adiciones químicas ni de otros procedimientos convencionales. Los principales factores de un sistema como este se muestran en la figura 6.

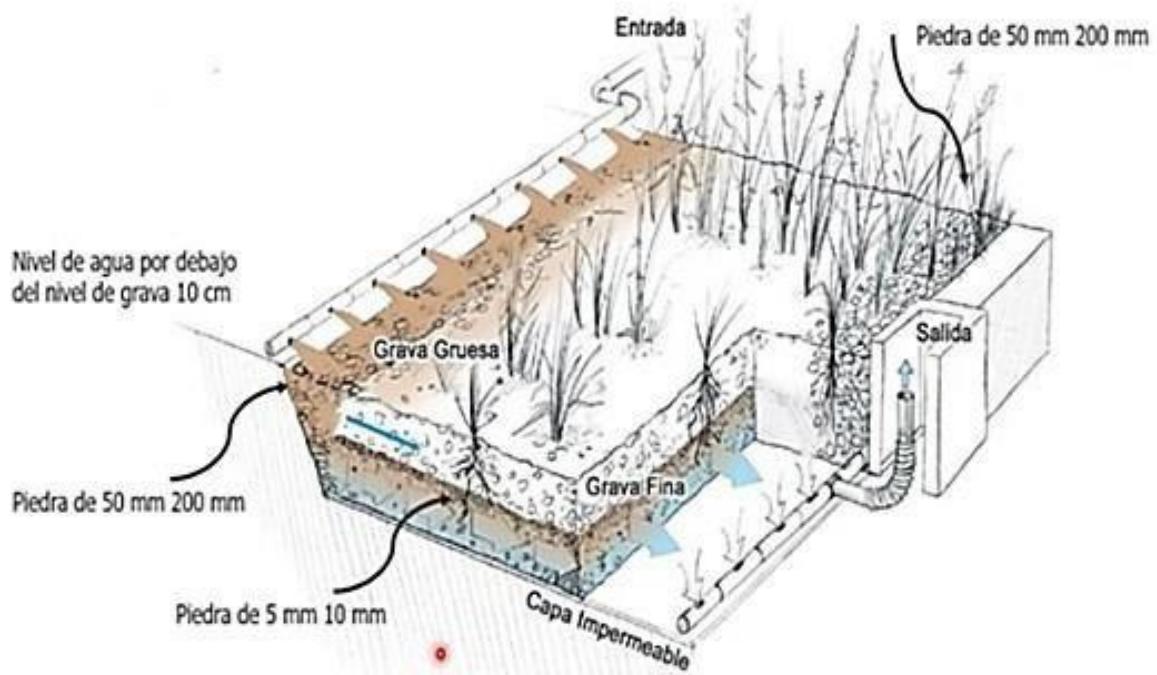


Figura 6. Principales componentes de un sistema eco-tecnológico para tratamiento de aguas residuales. Fuente: Montiel (2014).

Materiales utilizados:

- Piedra de 50 mm a 200 mm
- Piedra de 5 mm a 10 mm
- Arena Limosa
- Arena Fina

Como lo establece el esquema de la figura 6 en el diseño se consideró el nivel del agua por debajo del nivel de grava en 10 cm.

En el diseño se consideraron parámetros como el tiempo de retención hidráulico (THR) cuyo cálculo se muestra a continuación:

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{(-K \times t)}$$

Donde:

C_e : Concentración en el efluente (mgO₂/l) (DBO)

C_o : Concentración en el afluente (mgO₂/l) (DBO)

-K: Constante de temperatura del agua residual (días⁻¹)

t: Tiempo de retención hidráulico (días) (THR)

Despejando y aplicando logaritmo natural (Ln) en los dos miembros queda:

$$\ln \frac{C_e}{C_o} = -K \times t$$

Invirtiendo:

$$\ln \frac{C_o}{C_e} = K \times t$$

Despejando t:

$$t = \frac{\ln(C_o/C_e)}{K}$$

El THR es importante para la remoción de DBO ya que se refiere al tiempo óptimo para que los microorganismos presentes en el humedal degraden la materia orgánica presente.

Formula:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q: caudal (L/t)

t: Tiempo: Segundos

$$Q = \frac{As \times d \times n}{t}$$

Donde:

As: Área superficial (cm²)

d: Profundidad (cm)

n: Porosidad (%)

Entonces:

$$THR = \frac{L \times A \times H \times P}{Q}$$

Donde:

L: Largo del Sistema (m)

A: Ancho del Sistema (m)

H: Profundidad del Sistema (m)

P: Porosidad (%)

Q: Caudal del sistema (V/t) (m³/día)

Área Superficial del Humedal

$$As = L \times W$$

Donde:

As: Área Superficial (m²)

W: Ancho del Sistema (m)

ETAPA 4: Desarrollo experimental y obtención de resultados.

En esta etapa se realizará la recolección de muestras de cada uno de los tratamientos utilizando *C. papyrus* en el efluente doméstico contenido en las peceras de 100 litros con 10, 20 y 30 plantas respectivamente, una muestra por cada una de ellas evaluadas a los tiempos de 30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos

para poder analizar calidad del agua tratada con base en las propiedades de la misma (Turbidez, Temperatura, Potencial Redox, Sólidos totales, Sólidos disueltos, DBO5, pH, DQO5, Oxígeno disuelto, Coliformes totales y Conductividad eléctrica).

A continuación, las fórmulas de cálculo de cada una de las propiedades:

Oxígeno Disuelto

Formula: (Oxígeno Disuelto) (Método Winkler)

$$OD(\text{mgO}_2 / \text{L}) = \frac{\text{Vol. gast} \times N \times 8000 \times \text{Vol. w}}{\text{Vol. m} \times (\text{Vol. w} - 2)}$$

Donde:

OD.: Oxígeno Disuelto

Vol. gast: Volumen gastado de Tiosulfato de Sodio 0.025N

N: Normalidad del Tiosulfato de Sodio 0.025N

Vol. w: Volumen de frasco Winkler

Vol. m: Volumen de muestra

Demanda química de oxígeno:

Formula: (Demanda Química del Oxígeno) (Método del Dicromato)

$$DQO (\text{mgO}_2 / \text{L}) = \frac{(\text{Vol. gast. Blanco} - \text{Vol. gast. Muestra}) \times N \times 8000}{\text{Vol. m.}}$$

Donde:

Vol. gast. Blanco: Volumen gastado en el blanco

Vol. gast. Muestra: Volumen gastado en la muestra

N: Normalidad del sulfato ferroso amoniacal 0.25N

Vol. m.: Volumen de la muestra

Demanda bioquímica de oxígeno

Formula: (Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO5)) (Método Winkler)

$$\text{DBO5 (mgO}_2\text{ /L)} = \frac{OD_{inicial} - OD_{final}}{\%Dilución}$$

Solidos Totales

$$\text{ST (mg/L)} = \frac{(A - B) \times 1000}{Vl}$$

Donde:

A: Peso del vaso con residuo (g)

B: Peso del vaso seco (g)

VI: Volumen de la muestra (L)

ST: Solidos Totales

Sólidos disueltos

$$\text{SD (mg/L)} = \frac{(A - B) \times 1000}{Vl}$$

Donde:

A: Peso del vaso con residuo (g)

B: Peso del vaso seco (g)

VI: Volumen de la muestra (L)

SD: Solidos Totales

Solidos Suspendidos Totales

$$\text{SST (mg/L)} = \text{ST} - \text{SD}$$

Temperatura del agua

Medida mediante un termómetro

pH, Potencial Redox y Conductividad

Medidos a través del método potenciométrico con equipo de medición directa.

Turbidez

Mediante medición directa a través del instrumento turbidímetro.

Coliformes totales

Formula (Recuento con cuenta Colonias)

$$\text{No. Colonias} = (CA + CM + CB/3) \times 65$$

Formula (Obtención de Resultados)

$$\text{UFC/ml ó UFC/g} = \frac{\text{No. de colonias por placa} \times \text{Factor de dilución}}{\text{ml de la muestra sembrada}}$$

El factor de dilución utilizado fue la inversa de la dilución.

ETAPA 5: Interpretación de los resultados

En esta etapa se realizó una interpretación del proceso utilizado, se muestran los resultados obtenidos, se analizan las mejores condiciones de tratamiento para cada uno de los tratamientos determinando:

- Densidad óptima
- Tiempo de retención óptimo
- Eficiencia de los humedales

ETAPA 6: Evaluación de los resultados.

Se evaluaron los resultados mediante técnicas estadísticas, tomando en consideración el diseño experimental factorial planteado. Los análisis fueron descriptivos mediante interpretación de comportamientos gráficos, además de análisis de varianza factorial (ANOVA) para identificar estadísticamente el mejor tratamiento y las mejores condiciones para la operación del humedal artificial con base en la calidad del agua medida a la salida de cada sistema.

3.6. Método de análisis de datos

Esta investigación para analizar el porcentaje de remoción de los distintos parámetros que contaminan el efluente doméstico usa la fórmula:

$$\%remoción = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100$$

Donde:

C_i = Concentración inicial

C_f = Concentración final

Para el análisis de los factores óptimos (Tiempo de retención y densidad de plantas) de acuerdo al diseño experimental planteado se aplicará un análisis ANOVA factorial, el cual permitirá establecer cómo es la influencia de los factores sobre la variable respuesta (por cada uno de sus indicadores o parámetros medidos) de manera individual y relacionados, con lo que se podrá establecer los niveles óptimos de cada factor con una significancia estadística de 5%.

3.7. Aspectos éticos

Este proyecto de investigación o trabajo no trata de incumplir con el código de ética, reglamento y resolución rectoral N°0089-2019/UCV, obedeciendo la autoría de las investigaciones consultadas y los requisitos de confiabilidad ya que todo tipo de datos deben ser veraz y muy confiable, se empleó el software Turnitin para comprobar la originalidad.

IV. RESULTADOS

4.1. Resultados de la caracterización inicial del agua residual doméstica

Tabla 4. *Parámetros Físico Químicos Iniciales del agua Residual*

Muestra	Temperatura (°C)	pH	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Potencial Redox mv	Turbidez NTU
CI - ARD	22	8.25	4470	-175	198.7

CI-ARD: Caracterización Inicial del Agua Residual Doméstica (Método Potenciómetro)

Al comparar los parámetros mostrados en la tabla 4 con los límites máximos de calidad de agua doméstica establecido por el Ministerio de Salud del Perú (2011) se observa que el pH se encuentra entre los límites (6.5 -8.5) sin embargo se aproxima mucho al límite máximo permisible. El límite de Conductividad eléctrica es de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ por lo que es claro que este parámetro se encuentra muy por encima del límite, lo que también ocurre con la Turbidez cuyo límite es de 100 NTU para agua destinada a procesos convencionales de tratamiento y la residual contiene 198.7 NTU. Respecto al Potencial Redox en la normativa no se establece un límite sin embargo la OMS establece un valor de 650 mv como adecuado para agua potable, siendo el valor negativo obtenido señal de que el agua residual tiene un pobre poder reductor por lo que no puede eliminar agentes biológicos presentes.

Tabla 5. *Resultados del oxígeno disuelto Inicial del Agua Residual Doméstica*

Código	Vol. del Winkler (ml)	Volumen de la muestra (ml)	Vol. gastado del Tiosulfato de sodio (ml)	Normalidad del tiosulfato de sodio	Oxígeno Disuelto (mgO_2/L)
ODI	300	100	0.6	0.02232	1.07

ODI: Oxígeno Disuelto Inicial del Agua Residual Doméstica

El oxígeno disuelto es fundamental en los procesos de tratamiento de agua porque promueve la presencia de organismos que pueden degradar la materia orgánica y otros contaminantes biológicos. Según Du et al. (2018) se recomienda que el OD sea mayor de 5 mg/L para un eficiente tratamiento de aguas residuales, por lo que

el valor obtenido (Tabla 5) puede considerarse bajo para un proceso de tratamiento de agua convencional.

Tabla 6. *Resultados de la Demanda Química de Oxígeno Inicial*

Código	Volumen gastado en la muestra (ml)	Vol. gastado en el blanco (ml)	Normalidad del SFA	Volumen de la muestra (ml)	Demanda Química de Oxígeno (mgO ₂ /l)
DQO-I	0.28	3	0.25	3	1813.3

DQO-I: Demanda Química del Oxígeno Inicial

En el caso del resultado de la DQO-I mostrado en la tabla 6, el valor de 1813,3 mg/l se encuentra muy por encima de los límites establecidos tanto para aguas limpias (300 mg/l) como para aguas residuales destinadas al vertido en cuerpos de agua (700 mg/l) según las normas de calidad de agua de FAO (Rosabal-Carbonell et al., 2012). Así mismo, el DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM establece que el límite máximo permisible de DQO luego del tratamiento es de 200 mg/l, por lo que el efluente utilizado no debe ser vertido sin tratamiento.

Tabla 7. *Oxígeno disuelto inicial (c/agua de dilución DBO5)*

Código	Vol. gast.en la muestra (ml)	Vol. de la muestra (ml)	Normalidad del Tio. Sulfato	Vol. frasco Winkler (ml)	Oxígeno Disuelto inicial mgO ₂ /l
CI-COT	2.8	100	0.02232	300	5.03

Tabla 8. *Oxígeno disuelto final (c/agua de dilución DBO5)*

Código	Vol. gast.en la muestra ml	Vol. de la muestra ml	Normalidad del tio. Sulfa	Vol. frasco wincler ml	Oxígeno Disuelto Final mgO ₂ /l
CF - COT	0.2	100	0.02232	300	0.34

CF-COT: Caracterización Final de carga orgánica total en 5 días

Tabla 9. *Obtención del DBO5 inicial*

Código	Oxígeno disuelto inicial	Oxígeno disuelto final	% dilución	DBO ₅ mgO ₂ /l
CI-DBO	5.03	0.34	15	31.26

CI-DBO: Caracterización Inicial de la Demanda Bioquímica del agua Residual

Respecto al valor de DBO inicial del efluente residencial (Tabla 9) según el DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM el efluente después de ser tratado debe tener un límite de DBO de 100 mg/l por lo que se puede considerar que este parámetro está dentro de los límites, sin embargo, el documento de la Organización Mundial de la Salud (2010) que las aguas grises provenientes de descargas humanas deben contener un máximo de 10 mg/l de DBO5 por lo que se puede considerar que el agua residual doméstica (31.26 mg/l de DBO5) no cumple con las especificaciones.

Tabla 10. *Resultados de coliformes totales (Método filtración por membrana NTP INACAL) (Tubos múltiples sembrado en placa Petri)*

Código	Carga alta Cantidad	Carga media cantidad	Carga baja cantidad	Coliformes Totales UFC/100 mL
CTI-ARD - 10 ⁻¹ ₁	30	20	10	130
CTI-ARD - 10 ⁻² ₂	27	12	2	888
CTI-ARD - 10 ⁻³ ₃	14	9	1	5200

CTI-ARD: Coliformes totales inicial del agua residual doméstica

El método trabaja en un rango de 0-300 entonces se pudo observar que solo el 10⁻¹ es el más representativo para tomarlo en cuenta en el tratamiento del agua residual.

En la figura 7 se puede observar las capsulas de Petri con las muestras de agua para la determinación de coliformes totales.

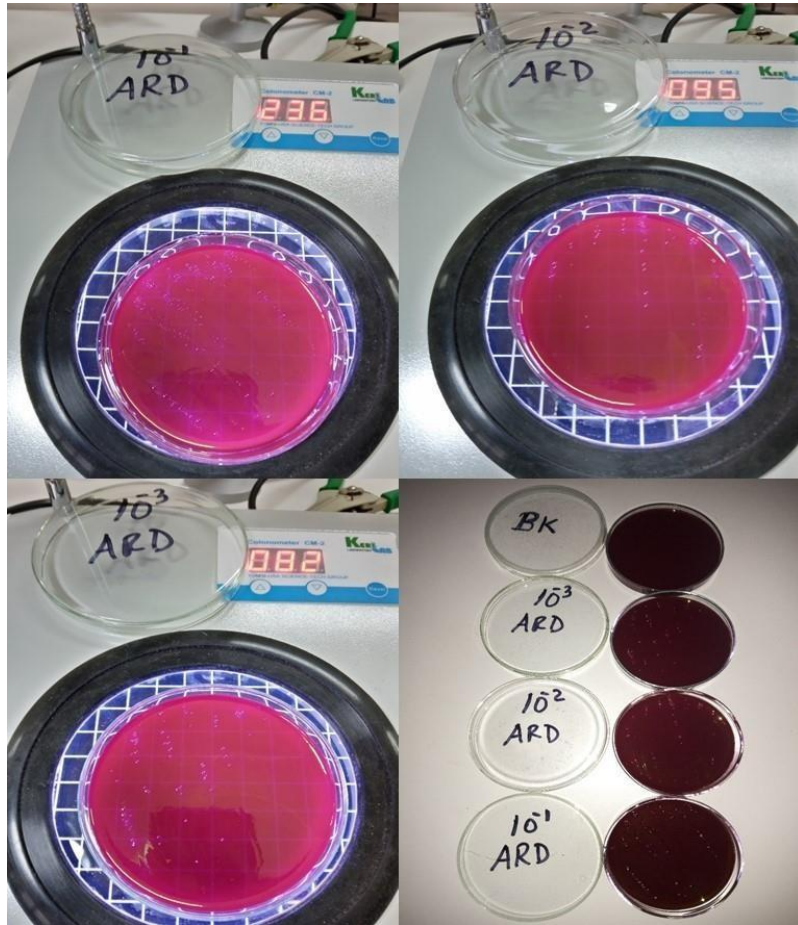


Figura 7. Fotografías de la prueba para determinar Coliformes totales iniciales.

Tomando como referencia el DECRETO SUPREMO N° 002-2008-MINAM el cual establece que las aguas residuales destinadas a tratamientos convencionales deben tener un máximo de Coliformes totales de 3000 NFC/100 ml, se puede decir que el agua residual cumple con esta condición, ya que en la Tabla 10 se reporta un valor de 130 NFC/100 ml.

Tabla 11. *Solidos Totales iniciales*

Código	Peso del vaso seco (g)	Peso del vaso + muestra seca (g)	Volumen de la muestra (ml)	ST (mg/L)
CI-ST	98.9158	99.1915	100	10027.87

CI-ST: Caracterización Inicial de solidos totales del agua residual

Tabla 12. *Sólidos Disueltos iniciales*

Código	Peso del vaso seco (g)	Peso del vaso + muestra seca (g)	Volumen de la muestra (ml)	SD (mg/L)
CI-SD	102.9314	103.1977	100	2663

CI-SD: Caracterización Inicial de sólidos Disueltos

Tabla 13. *Sólidos Suspendedos Totales iniciales*

Código	Sólidos Totales (mg/L)	Sólidos disueltos (mg/L)	Volumen de la muestra (ml)	SST (mg/L)
CI-SST	10027.87	2663	100	7364.87

CI-SST: Caracterización Inicial del Agua Residual Doméstica

Las normativas respecto a la calidad del agua en Perú (DECRETO SUPREMO N° 002-2008-MINAM y DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM) establecen como límite máximo de Sólidos disueltos totales 1000 mg/l en aguas residuales destinadas al tratamiento, por lo que el valor obtenido (Tabla 12) de 2663 mg/l indica que el agua residual no está apta para ser tratada con métodos convencionales.

4.2. Resultados del desarrollo experimental

4.2.1. Resultados del Tratamiento 1

Luego del desarrollo de las corridas experimentales correspondientes al primer tratamiento (Densidad de plantas = 10) y a los diferentes tiempos de retención dentro del humedal diseñado, se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación.

Tabla 14. *Parámetros químicos después del Tratamiento 1*

Densidad plantas	Tiempos min	Temperatura °C	Potencial de Hidrogeno Acido/base	Conductividad Eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$	Potencial Redox mv
10	30	21.1	8.20	4380	-100
	60	21.1	8.19	4120	-98
	90	21.1	8.23	5226	-123
	120	21.1	8.21	5138	-120
	150	21.1	8.24	5260	-125
	180	21.1	8.25	5280	-128
	CV (%)	0	0.29	10.47	11.40

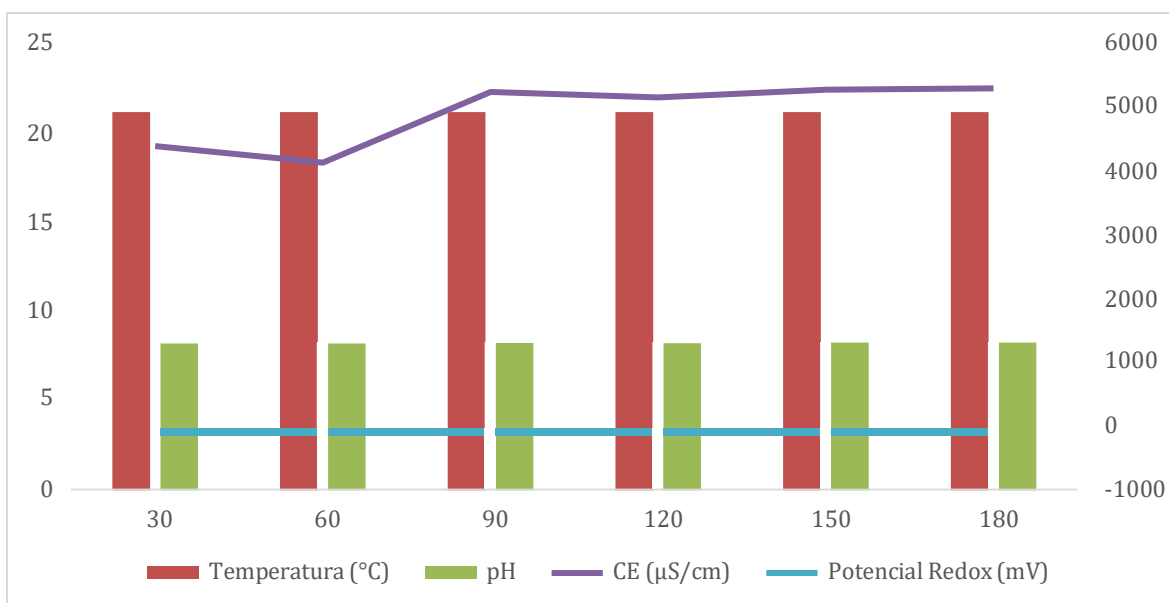


Gráfico 1. Comportamiento gráfico de los parámetros químicos (Tratamiento 1).

Como se observa en la tabla 14 la temperatura se mantuvo constante para cada uno de los tiempos de retención (21.1 °C) así como el pH que, aunque sufrió de cambios, los mismos se pueden considerar no significativos debido a que el coeficiente de variación (CV) fue de 0.28% indicando poca variación. En el caso de la Conductividad eléctrica y el Potencial Redox mostraron cierta variación con CVs de 10.47 y 11.40% respectivamente, siendo el tiempo de retención de 60 min donde se obtuvieron los mejores resultados, aunque en ambos casos no se logró llevar los valores dentro de los límites permisibles. Lo anterior se observa también en el gráfico 1 Las máximas eficiencias de remoción en los parámetros químicos fueron: Conductividad eléctrica = 8.49% (60 min) y Potencial Redox = 44.00% (60 min).

Tabla 15. Parámetros físicos después del Tratamiento 1

Densidad plantas	Tiempo min	Sólidos Totales mg/L	Sólidos Disueltos mg/L	Turbidez NTU	Oxígeno disuelto mgO ₂ /L
10	30	6136	4951	57.0	0.1016
	60	5767	4727	56.2	0.4067
	90	4586	4381	54.1	2.0335
	120	4582	4307	58.3	2.8469
	150	4525	4095	59.4	4.4738
	180	4064	3803	62.5	4.5755
	CV (%)	16.45	9.51	4.99	80.20

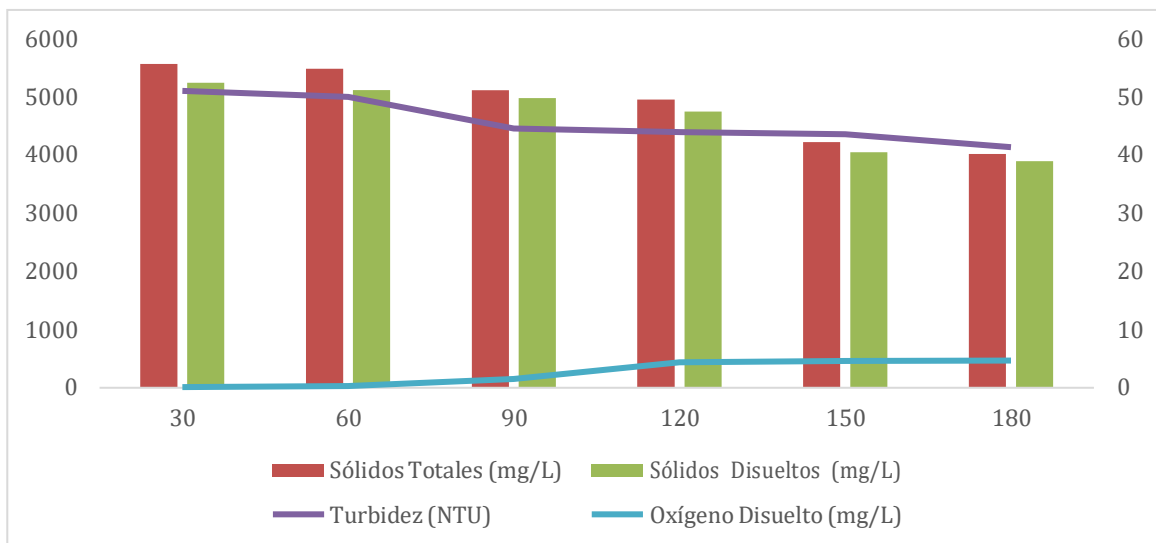


Gráfico 2. Comportamiento gráfico de los parámetros físicos (Tratamiento 1).

En el caso de los parámetros físicos, en la tabla 15 se observa que se con excepción de la turbidez cuyo CV fue menor a 5%, se observan variaciones importantes respecto a los tiempos de retención, lo que también se observa en el comportamiento gráfico mostrado en el gráfico 2. Además, la turbidez fue el único parámetro cuyo mejor valor fue con el tiempo de retención más bajo (57.0 NTU a 30 min), siendo además el único parámetro que se ubicó por debajo del límite permisible de 100 NTU.

Destaca el Oxígeno disuelto con un CV de 80.20%, siendo el parámetro con mayor variación y que llega a estar muy cerca del recomendado para el buen desarrollo de plantas y animales acuáticos (5 mg/L), también fue importante la disminución de los Sólidos tanto totales como disueltos, sin embargo, en el caso de los sólidos disueltos los valores luego del tratamiento superaron al valor inicial, lo que sugiere aporte de sólidos disueltos por parte de los medios utilizados como sustratos. Los porcentajes de eficiencia respecto al efluente original fueron: ST = 58.47% (180 min), OD = 327.61% (180 min) y Turbidez = 71.31% (30 min).

Tabla 16. Análisis microbiológico después del Tratamiento 1

Densidad plantas	Tiempo min	Coliformes totales UFC/100ml	DQO mgO ₂ /L	DBO5 mgO ₂ /L
10	30	13	199.6	183.02
	60	0	198.2	142.42
	90	0	166.3	142.69
	120	0	133.3	142.35
	150	0	66.53	10.16
	180	0	66.10	8.49
	CV (%)		244.95	43.99

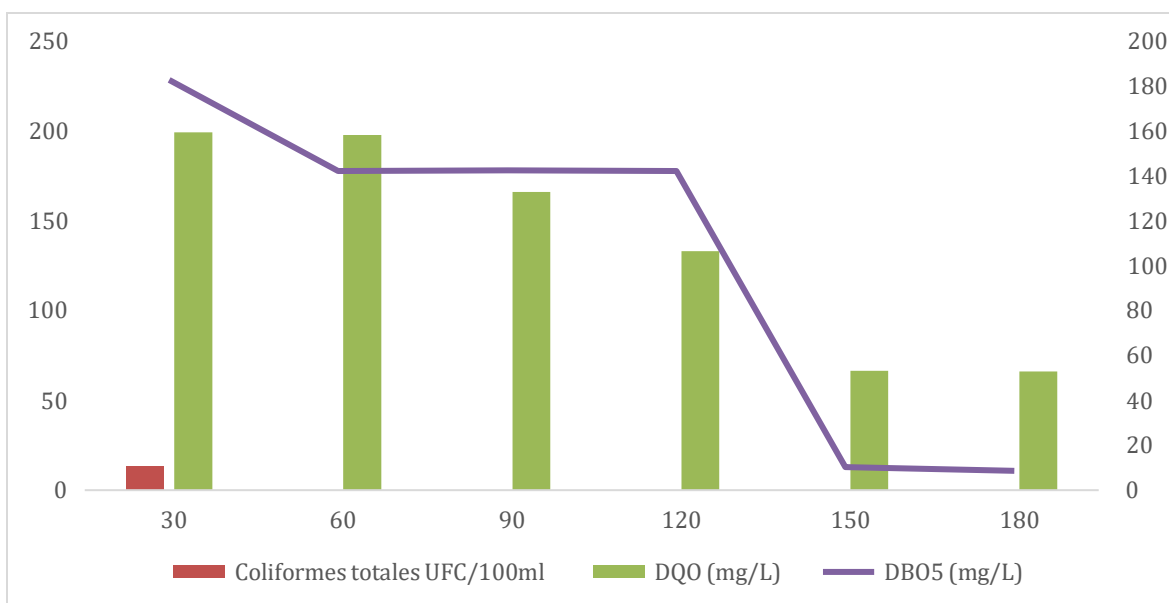


Gráfico 3. Comportamiento gráfico de los parámetros microbiológicos (Tratamiento 1).

Destaca en la tabla 16, la efectividad para la remoción de coliformes totales en todos los tiempos de retención, pasando de 130 UFC/100ml al inicio a 0 UFC/100ml a partir de los 60 min, lo que indica una eficiencia de 100%. Respecto al comportamiento del DQO y DBO5 se observa una clara disminución al aumentar el tiempo con valor mínimo a los 180 min. Desde los 30 min la DQO se ubicó por debajo del límite permisible de 200 mg/L y la DBO5 bajó del límite de 10 mg/L a los 180 min. La disminución de los parámetros microbiológicos con el tiempo se observa gráficamente en el gráfico 3. Las eficiencias máximas obtenidas respecto a los valores iniciales fueron: Coliformes Totales = 100% (60 min), DQO = 96.35% (180 min) y DBO5 = 72.84% (180 min).

En la figura 8 se muestran fotografías donde se observó en la cuenta colonias la no presencia de coliformes totales después de 48 horas de sembrado y estar en la incubadora, solo en la placa de con el tiempo de 30 minutos había 13 colonias. Las que forman 13 UFC/100ml no hubo diluciones en la filtración.

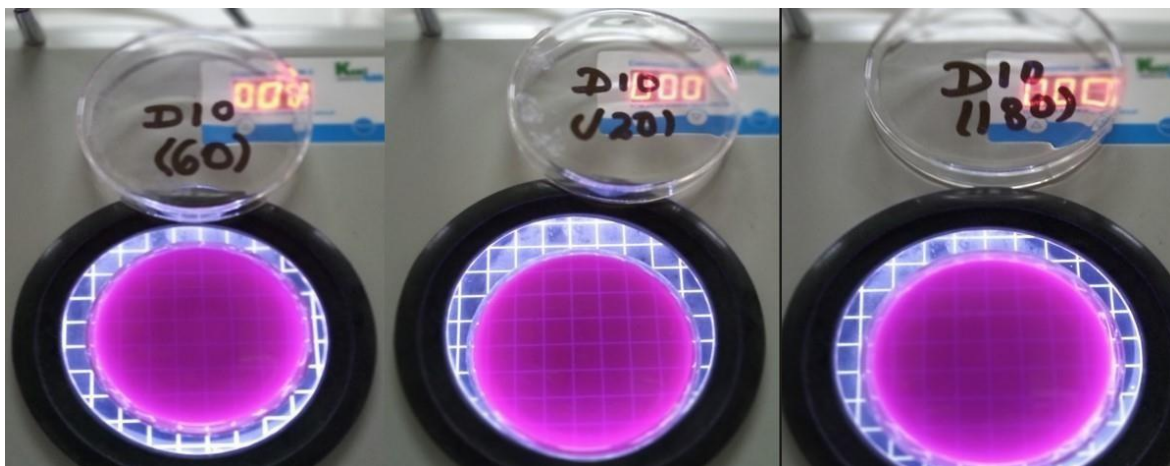


Figura 8. Fotografías de las pruebas microbiológicas (Tratamiento 1).

4.2.2. Resultados del Tratamiento 2

Los resultados obtenidos de las corridas del tratamiento 2, correspondiente a una densidad de 20 plantas y a los tiempos de retención de 30, 60, 90, 12, 15 y 180 min, se muestran a continuación.

Tabla 17. *Parámetros químicos después del Tratamiento 2*

Densidad plantas	Tiempos min	Temperatura °C	Potencial de Hidrogeno Acido/base	Conductividad Eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$	Potencial redox mv
20	30	21.2	8.57	4500	-125
	60	21.2	8.67	4525	-133
	90	21.2	8.71	4590	-138
	120	21.2	8.42	4626	-156
	150	21.2	8.72	4645	-158
	180	21.2	8.77	4760	-152
	CV (%)	0	1.48	2.02	9.45

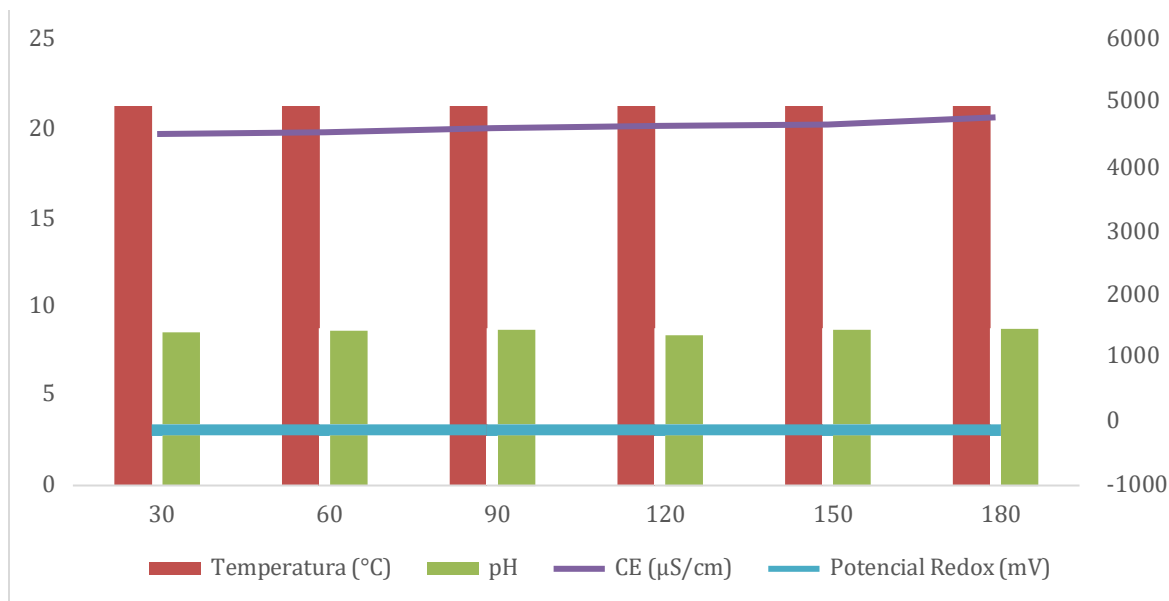


Gráfico 4. Comportamiento gráfico de los parámetros químicos (Tratamiento 2).

En la tabla 17 y el gráfico 4, se observa como los valores de los parámetros químicos fueron muy homogéneos presentando poca variación respecto al tiempo, con la excepción del Potencial Redox cuyo CV fue de 9.45%. Lo anterior hace deducir que para el tratamiento 2 con una densidad de plantas de 20 las variaciones en el tiempo de retención no afectaron de forma importante a la temperatura, el pH y la Conductividad eléctrica. Se observa que el pH presentó valores superiores al límite máximo permisible de 8.5 y tampoco se logró llevar a valores permisibles la Conductividad eléctrica y el Potencial Redox, llegando incluso en el caso del primer parámetro a valores mayores a los iniciales. Las mayores eficiencias calculadas respecto a los valores iniciales fueron: Conductividad eléctrica = 0% y Potencial Redox = 28.57% (30 min).

Tabla 18. Parámetros físicos después del Tratamiento 2

Densidad plantas	Tiempo min	Sólidos Totales mg/L	Sólidos Disueltos mg/L	Turbidez NTU	Oxígeno disuelto mgO ₂ /L
20	30	6125	5337	38.5	0.6100
	60	5780	5193	49.2	0.4067
	90	5583	4850	59.7	1.7285
	120	4680	4310	59.9	4.0671
	150	4532	4250	60.4	4.0671
	180	4100	3906	60.1	4.1021
	CV (%)	15.68	12.32	16.50	71.70

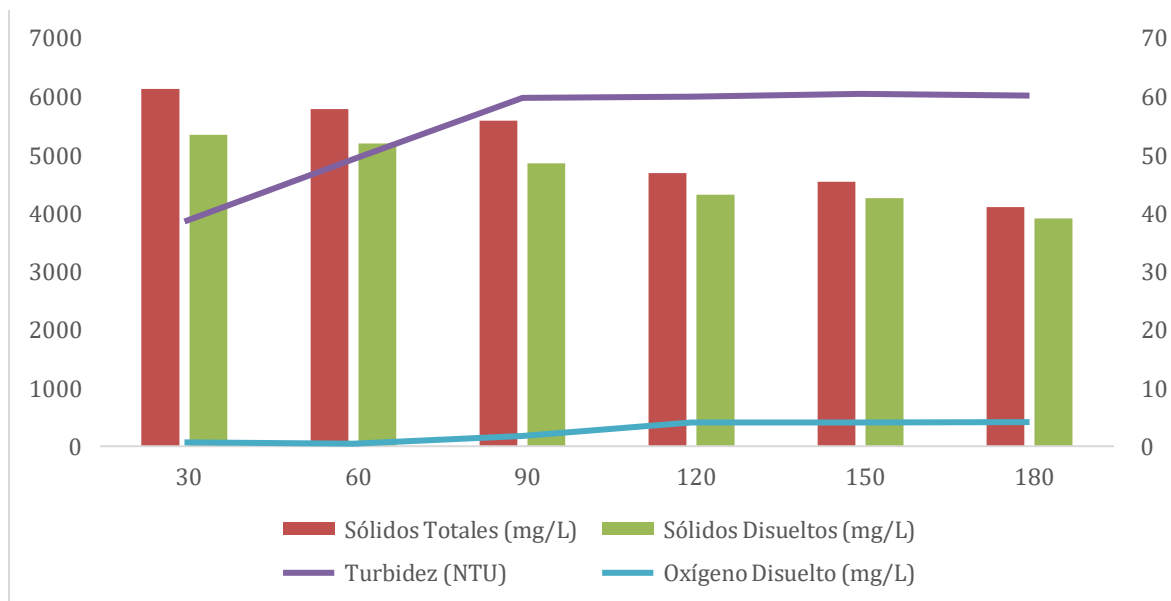


Gráfico 5. Comportamiento gráfico de los parámetros físicos (Tratamiento 2).

La variación de los parámetros físicos en el tratamiento 2 (Tabla 18 y Gráfico 5) superó en todos los casos el 5% por lo que se puede considerar que el tiempo pudo afectar en cierta forma los valores obtenidos. Los Sólidos Totales y Disueltos disminuyeron con el aumento del tiempo, como se observa en la figura 13, sin embargo, en ninguno de los casos el valor fue menor a 1000 mg/l e incluso los Sólidos Disueltos fueron mayores a los iniciales, sugiriendo un aporte de sólidos solubles por parte de los medios usados como sustratos. La turbidez se ubicó por debajo de 100 NTU, aunque experimenta un aumento con el tiempo y el OD subió hasta ubicarse cerca del valor mínimo requerido para la vida de plantas y animales acuáticos (5 mg/l) pero aún se mantuvo bajo. Las eficiencias máximas fueron: OD = 283.47% (180 min), ST = 59.11% (180 min) y Turbidez = 80.62% (30 min).

Tabla 19. Análisis microbiológico después del Tratamiento 2

Densidad plantas	Tiempo min	Coliformes totales UFC/100ml	DQO mgO ₂ /L	DBO5 mgO ₂ /L
20	30	2	133.04	123.69
	60	0	133.07	122.68
	90	0	133.08	127.68
	120	0	133.06	101.71
	150	0	100.23	91.71
	180	0	99.80	81.72
	CV (%)		244.95	13.98

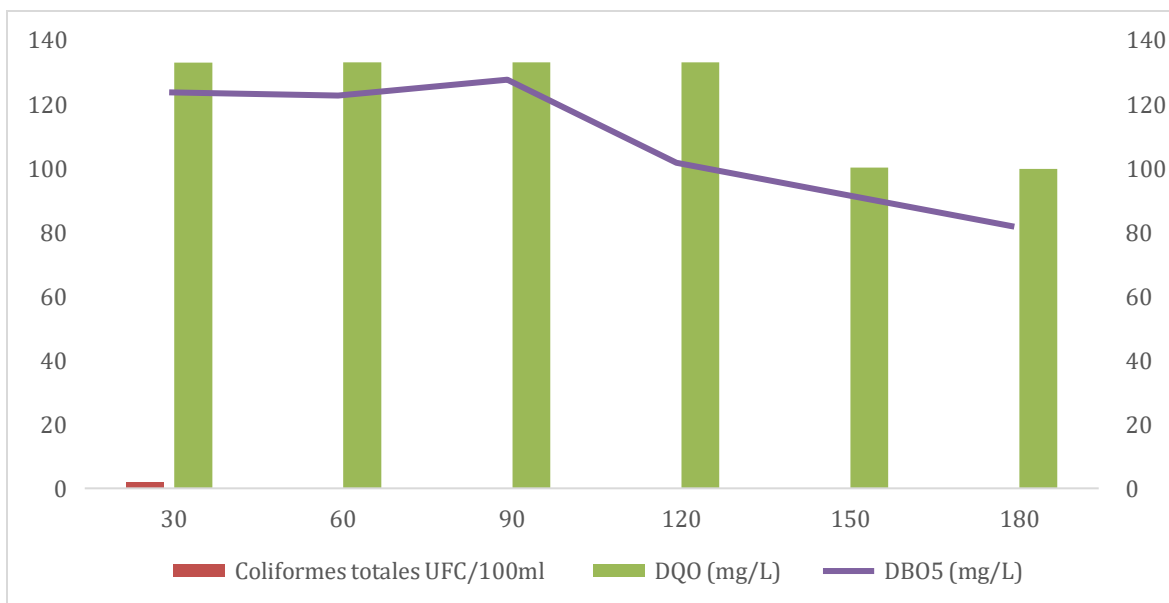


Gráfico 6. Comportamiento gráfico de los parámetros microbiológicos (Tratamiento 2).

Los Coliformes totales mostraron una disminución importante en todos los tiempos de retención, pasando de 130 UFC/100ml al inicio a 0 UFC/100ml a partir de los 60 min, lo que indica una eficiencia de 100%. Respecto al comportamiento del DQO y DBO5 estos disminuyeron al aumentar el tiempo con valor mínimo a los 180 min y valores de CV mayores al 5%. Desde los 30 min la DQO se ubicó por debajo del límite permisible de 200 mg/L, pero la DBO5 no bajó del límite de 10 mg/L e incluso mostró valores superiores al del agua residual inicial antes del tratamiento. La disminución de los parámetros microbiológicos con el tiempo se observa gráficamente en gráfico 6. Las eficiencias de remoción máximas obtenidas respecto a los valores iniciales fueron: Coliformes Totales = 100% (60 min) y DQO = 94.50% (180 min).

En la figura 9 se muestran fotografías donde se observó en la cuenta colonias la no presencia de coliformes totales después de 48 horas de sembrado y estar en la incubadora, solo en la placa de con el tiempo de 30 minutos había 2 colonias. Las que forman 2 UFC/100ml no hubo diluciones en la filtración.



Figura 9. Fotografías de las pruebas microbiológicas (Tratamiento 2).

4.2.3. Resultados del Tratamiento 3

Los resultados obtenidos de las corridas del tratamiento 3, correspondiente a una densidad de 30 plantas y a los tiempos de retención de 30, 60, 90, 120, 150 y 180 min, se muestran a continuación.

Tabla 20. *Parámetros químicos después del Tratamiento 3*

Densidad plantas	Tiempos min	Temperatura °C	Potencial de Hidrogeno Acido/base	Conductividad Eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$	Potencial Redox mv
30	30	20.2	8.36	4821	-140
	60	20.2	8.50	4820	-152
	90	20.2	8.59	5280	-192
	120	20.2	8.77	5230	-189
	150	20.2	8.82	5620	-191
	180	20.2	8.75	5250	-188
	CV (%)	0	2.08	5.92	13.16

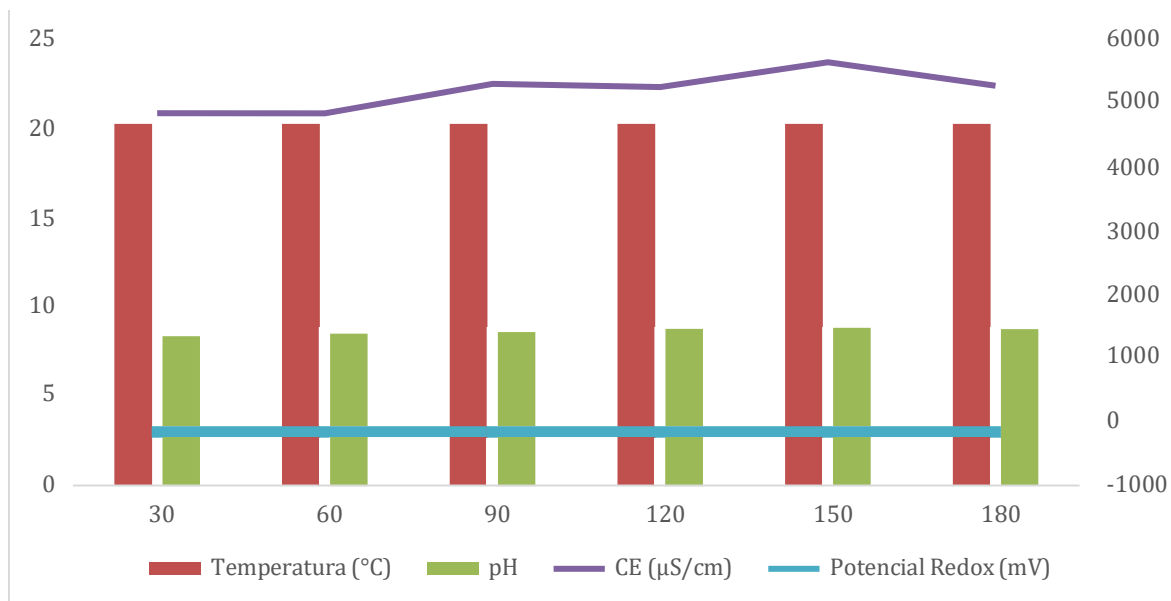


Gráfico 7. Comportamiento gráfico de los parámetros químicos (Tratamiento 3).

En la Tabla 20 y el Gráfico 7, se observa que la temperatura se mantuvo constante al aumentar el tiempo de contacto, el pH sufrió variaciones, pero las mismas se pueden considerar bajas ya que su CV fue menor a 5% (2.08%) exhibiendo desde los 90 min valores por encima del límite máximo permisible, lo que indica que para este parámetro el sistema no es favorable. La Conductividad eléctrica también varió con el tiempo (CV = 5.92%) y al igual que lo observado en el tratamiento 2 sus valores fueron mayores al valor inicial, con lo que se aleja más del límite permisible (1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$). El Potencial Redox, aunque varió con el tiempo (CV = 13.16%) siguió siendo negativo por lo que el agua al final del tratamiento sigue manteniendo un bajo poder oxidativo. Las eficiencias mayores fueron: Conductividad eléctrica = 0% y Potencial Redox = 28.57% (30 min).

Tabla 21. Parámetros físicos después del Tratamiento 3

Densidad plantas	Tiempo min	Sólidos Totales mg/L	Sólidos Disueltos mg/L	Turbidez NTU	Oxígeno disuelto mgO ₂ /L
30	30	5574	5250	51.1	0.1016
	60	5493	5125	50.1	0.3050
	90	5126	4985	44.6	1.5251
	120	4962	4752	44.0	4.3721
	150	4230	4056	43.6	4.5755
	180	4025	3901	41.4	4.6777
	CV (%)	13.14	12.16	8.48	84.54

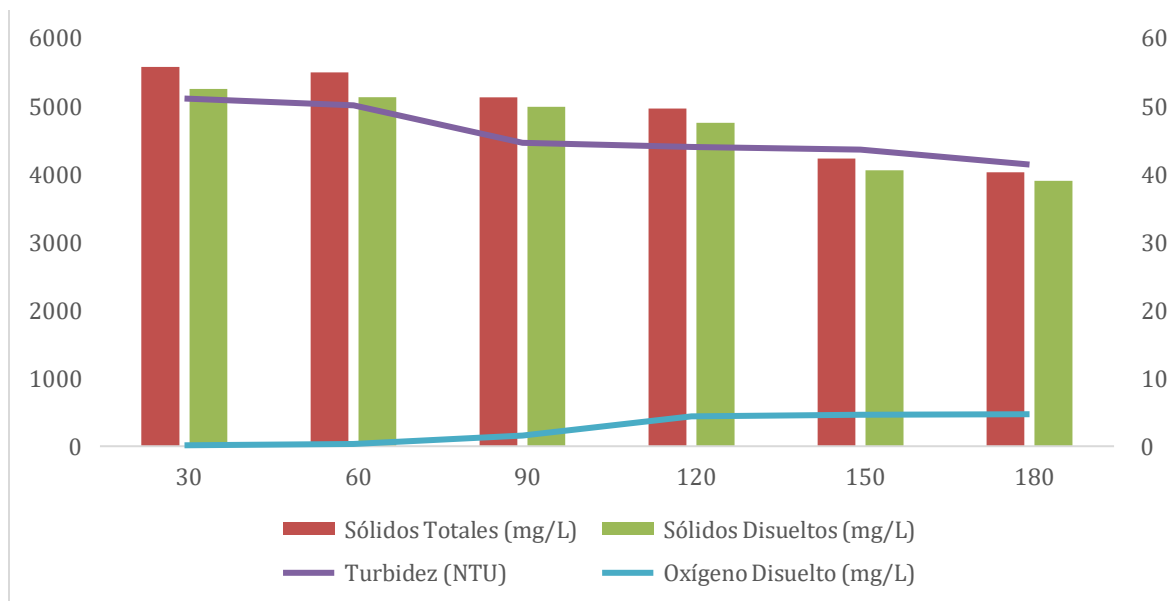


Gráfico 8. Comportamiento gráfico de los parámetros físicos (Tratamiento 3).

Tanto en la Tabla 21 como en el Gráfico 8 se observa que los Sólidos Totales y Disueltos disminuyen con el aumento del tiempo con CV de 13.14 y 12.16% respectivamente, aunque siguen superando el límite máximo de 1000 mg/L para vertido a cuerpos de agua y con los Sólidos disueltos superando al valor inicial de 2663 mg/l. Respecto a la Turbidez mostró un comportamiento contrario al observado en los dos tratamientos anteriores, con una disminución al aumentar el tiempo y un CV de 8.48% lo que representa una variabilidad mayor al 5% y siempre por debajo del límite permisible. El Oxígeno disuelto, tal como se observó en los tratamientos 1 y 2, aumentó con el aumento del tiempo, ubicándose aproximadamente en 5 mg/l, lo que indica que el tratamiento es eficiente para este parámetro en particular. Las eficiencias máximas respecto a los valores iniciales fueron: OD = 337.17% (180 min), ST = 59.86% (180 min) y Turbidez = 79.16% (180 min).

Tabla 22. Análisis microbiológico después del Tratamiento 3

Densidad plantas	Tiempo min	Coliformes totales UFC/100ml	DQO mgO ₂ /L	DBO5 mgO ₂ /L
30	30	0	128.23	0.01
	60	0	128.12	0.04
	90	0	128.01	0.02
	120	0	100.02	0.03
	150	0	99.80	0.05
	180	0	99.01	0.01
	CV (%)	0	13.72	61.24

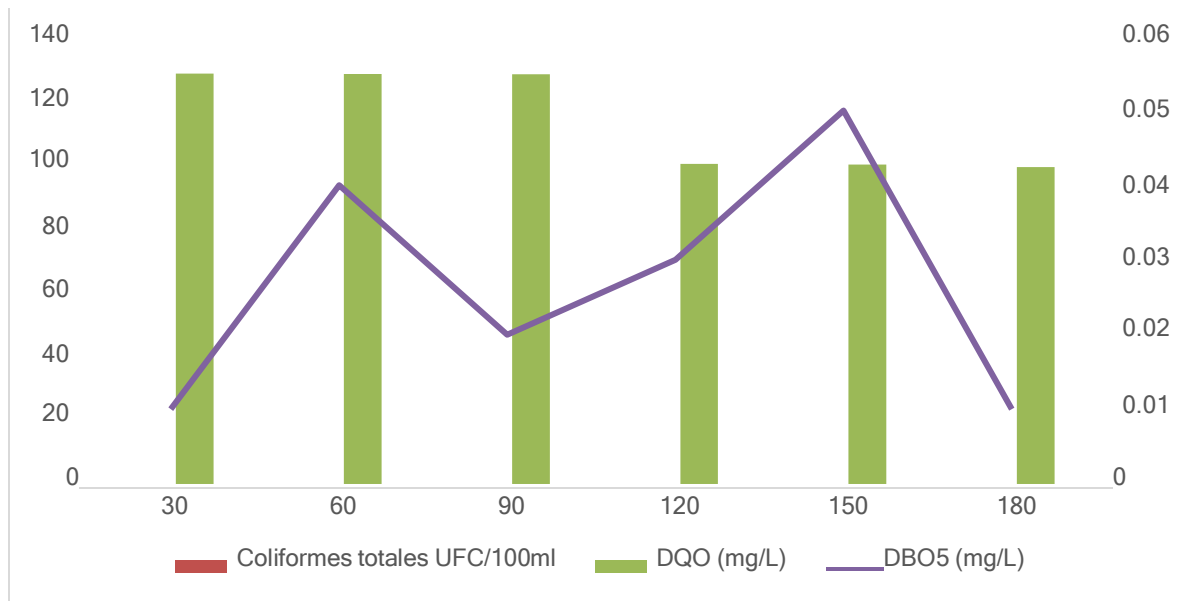


Gráfico 9. Comportamiento gráfico de los parámetros microbiológicos (Tratamiento 3).

En la Tabla 22 y el Gráfico 9, se muestra como el tratamiento 3 se establece como el más eficiente para disminuir los parámetros microbiológicos del agua residual, debido a que los Coliformes totales desaparecen desde el primer tiempo (30 min), así mismo, las DQO y DBO5 se ubican por debajo del límite permisible desde el principio (DQO < 200 mg/l y DBO5 < 10 mg/l). La DBO5 mostró la mayor variabilidad de resultados con un CV = 61.24% lo que indica su mayor dependencia del tiempo, aunque la DQO también varió de forma significativa con CV = 13.72%. Las eficiencias máximas obtenidas son: DQO = 94.54% (180 min) y DBO5 = 99.97% (180 min).

En la figura 10 se muestran fotografías donde se observó en la cuenta colonias la no presencia de coliformes totales después de 48 horas de sembrado y estar en la incubadora, en ninguna de las placas y para ningún tiempo.



Figura 10. Fotografías de las pruebas microbiológicas (Tratamiento 3).

4.2.4. Resultados del Análisis de varianza (ANOVA)

En la Tabla 23 se muestra un resumen de los resultados del análisis ANOVA realizado considerando todos los parámetros de calidad de agua analizados luego de la aplicación del diseño experimental factorial.

4.2.4.1 Análisis por densidad de siembra

De acuerdo a lo obtenido, la densidad de siembra no afectó parámetros como Temperatura, Sólidos Totales, Oxígeno disuelto, Coliformes totales y DQO. Lo anterior se debe a que las diferencias entre los valores medios no fueron estadísticamente significativas para un nivel $p = 0.05$. Los parámetros que mostraron dependencia de la densidad de plantas fueron los siguientes:

pH: la diferencia se observó solo a la densidad de 10 plantas con el valor más bajo, a las otras densidades no se observa diferencias.

Conductividad eléctrica: los valores de este parámetro fueron iguales a las densidades de 10 y 20 plantas, con una diferencia para 30 plantas, siendo el valor más bajo el de la densidad de 20 plantas.

Potencial Redox: este fue el parámetro que mostró dependencia total de la densidad con valores diferentes para cada una, siendo el valor mayor el de la densidad de 10 plantas.

Sólidos disueltos: solo presentó diferencia para la densidad de 10 plantas.

Tabla 23. Resumen del análisis ANOVA factorial

Parámetro	Densidad de siembra			Tiempo de retención					
	10	20	30	30	60	90	120	150	180
Temperatura	21.1 ^a	21.2 ^a	20.2 ^a	20.8 ^a	20.8 ^a	20.8 ^a	20.8 ^a	20.8 ^a	20.8 ^a
pH	8.22 ^a	8.64 ^b	8.63 ^b	8.38 ^a	8.45 ^{ab}	8.51 ^{ab}	8.47 ^{ab}	8.59 ^b	8.59 ^b
Conductividad eléctrica	4900.67 ^{ab}	4607.67 ^a	5170.17 ^b	4567 ^{ab}	4488.33 ^a	5032 ^c	4998 ^{bc}	5175 ^c	5096.67 ^c
Potencial Redox	-115.667 ^a	-143.667 ^b	-175.333 ^c	-121.67 ^a	-127.67 ^a	-151 ^b	-155 ^b	-158 ^b	-156 ^b
Sólidos totales	4943.33 ^a	5133.33 ^a	4901.67 ^a	5945 ^a	5680 ^a	5098.33 ^b	4741.33 ^{bc}	4429 ^{cd}	4063 ^d
Sólidos disueltos	4377.33 ^a	4641.00 ^b	4678.17 ^b	5179.33 ^a	5015 ^{ab}	4738.67 ^{bc}	4456.33 ^c	4133.67 ^d	3870 ^d
Turbidez	57.9 ^a	54.6 ^a	45.8 ^b	48.9 ^a	51.8 ^a	52.8 ^a	54.1 ^a	54.5 ^a	54.7 ^a
Oxígeno disuelto	2.41 ^a	2.50 ^a	2.59 ^a	0.27 ^a	0.37 ^a	1.76 ^b	3.76 ^c	4.37 ^c	4.45 ^c
Coliformes totales	2 ^a	0 ^a	0 ^a	5 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a
DQO	138.338 ^a	122.047 ^a	113.865 ^a	153.623 ^a	153.13 ^a	142.463 ^a	122.127 ^{ab}	88.8533 ^b	88.3033 ^b
DBO5	104.855 ^a	108.198 ^a	0.027 ^b	102.24 ^a	88.38 ^a	90.13 ^a	81.36 ^a	33.97 ^a	30.07 ^a

Letras diferentes indican que hay diferencia significativa con $p < 0.05$

Turbidez: fue igual para las densidades de 10 y 20 plantas, diferenciándose solo para la densidad de 30 plantas, que además fue el valor menor.

DBO5: este parámetro fue igual para las densidades de siembra de 10 y 20 plantas, con diferencia para la densidad de 30 plantas donde se obtuvo el valor más bajo.

4.2.4.2. Análisis por tiempo de retención

En el caso del tiempo de retención, fue un factor que no afectó a la Temperatura, la Turbidez, los Coliformes totales y la DBO5. Los parámetros que fueron dependientes del tiempo fueron los siguientes:

pH: permaneció constante entre los 30 y 120 min, para luego diferenciarse a partir de los 150 min y permanecer igual a los 180 min. Entre 30 y 120 min se mantuvo dentro del rango permisible.

Conductividad eléctrica: presentó un valor diferente a los demás a los 30 y 60 min siendo este último el menor valor. Para los demás tiempos los resultados pueden considerarse constantes y diferentes a los dos primeros.

Potencial Redox: se mantuvo constante entre 30 y 60 min para luego disminuir su valor de forma constante entre 90 y 180 min.

Sólidos Totales: presentaron tres valores respecto al tiempo, el primero entre 30 y 60 min, luego disminuyó y se mantuvo constante entre 90 y 120 min, pero volvió a disminuir entre 150 y 180 min.

Sólidos Disueltos: mostró un comportamiento con el tiempo similar al de los Sólidos Totales, con valores iguales para 30 y 60 min, luego un cambio para 90 y 120 min donde se mantuvo igual para cambiar nuevamente para 150 y 180 min donde también se mantuvo constante.

Oxígeno Disuelto: mostró valores iguales a los 30 y 60 min para luego aumentar a los 90 min y un último aumento a los 120 min para mantenerse constante hasta los 180 min. Los valores más altos y por lo tanto deseables fueron a los tiempos mayores (120 -180 min).

DQO: no sufrió variación entre 30 y 90 min, luego presentó una disminución significativa a los 120 min y después otra disminución significativa a los 150 min para permanecer constante hasta los 180 min.

En la Tabla 24 se muestra el ajuste de cada uno de los parámetros al modelo del diseño experimental factorial aplicado, con base en el coeficiente de determinación R^2 y significancia $p = 0.05$.

Tabla 24. *Ajuste de los parámetros medidos al diseño experimental*

Parámetro	R^2	p
Temperatura	1.0000	0.0000
pH	0.8513	0.0018
Conductividad eléctrica	0.7969	0.0077
Potencial Redox	0.9576	0.0000
Sólidos totales	0.9189	0.0001
Sólidos disueltos	0.9446	0.0000
Turbidez	0.5469	0.2095
Oxígeno disuelto	0.9687	0.0000
Coliformes totales	0.4912	0.3113
DQO	0.6763	0.0574
DBO5	0.7882	0.0092

Los resultados mostrados en la Tabla 24 indican que de los 11 parámetros 7 fueron estadísticamente significativos dentro del modelo de ANOVA factorial, solo la Turbidez, los Coliformes Totales y la DQO no fueron significativos, por lo tanto, se puede afirmar que, aunque el diseño experimental fue válido y aplicable, el mismo, aunque predice los resultados de estos tres parámetros en 54.69, 49.12 y 67.63% de los casos, estas predicciones no son estadísticamente significativas. El resto de los parámetros si tienen un comportamiento que puede predecirse a través del diseño ANOVA factorial.

Luego de analizar de manera general el comportamiento del experimento y con base en los resultados de los ajustes del modelo ANOVA factorial y mediante un proceso de optimización a partir del principio de deseabilidad el cual permite obtener los niveles óptimos de los factores controlados para generar los mejores valores de los parámetros respuesta, se obtuvo lo que se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25. Resultados de la optimización del diseño experimental

Factor	Valor óptimo	Deseabilidad (%)
Densidad de plantas (cantidad)	30	50.55
Tiempo de retención (min)	180	

Se puede observar que los valores óptimos para la operación del humedal artificial con *C. papyrus* considerando los factores fijados en la presente investigación son: una densidad de plantas de 30 y un tiempo de retención de 180 min, con lo cual se obtiene una probabilidad de 50.55% de obtenerse el valor óptimo de los parámetros analizados de la calidad del agua residual doméstica utilizada. Además, queda claro que a mayor cantidad de plantas y un mayor tiempo de retención se obtienen las mejores respuestas de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Con los resultados optimizados (Densidad = 30 y Tiempo = 180) se obtuvieron las eficiencias máximas esperadas para cada parámetro, las cuales se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26. Resultados de la eficiencia con base en los factores optimizados

Parámetro	Valor inicial	Valor final	Eficiencia (%)
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	4470	5250	0
Potencial Redox (mV)	-175	-188	7.43
Sólidos totales (mg/l)	10027.87	4025	59.86
Sólidos disueltos (mg/l)	2663	3901	0
Turbidez (NTU)	198.7	41.4	79.16
Oxígeno disuelto (mg/l)	1.07	4.68	337.17
Coliformes totales (UFC/100ml)	130	0	100
DQO (mg/l)	1813.3	99.01	94.54
DBO5 (mg/l)	31.26	0.01	99.97
		Promedio	86.46

Así mismo este resultado del modelo optimizado da respuesta y corrobora las hipótesis planteadas, pues se establece que:

De forma general, si es posible depurar las aguas residuales domésticas en el AA. HH San Juan Bautista, Marcona-Ica mediante fitorremediación utilizando plantas de *Cyperus papyrus* en un humedal artificial.

Respecto a la hipótesis 1, se corrobora que a mayor tiempo de contacto de las aguas residuales domésticas con la *Cyperus papyrus* mayor es la depuración.

Respecto a la hipótesis 2, se evidenció que al utilizar una mayor densidad de plantas de *Cyperus papyrus* es posible lograr una mayor depuración de las aguas residuales domésticas.

Respecto a la hipótesis 3, se corroboró que, si es posible establecer un tiempo de contacto de las aguas residuales y una densidad de plantas de *Cyperus papyrus* óptima que permita la mayor depuración, aplicando un diseño experimental ANOVA factorial.

Así mismo, aun cuando dos de los parámetros (Conductividad eléctrica y Sólidos disueltos) no presentaron eficiencia de remoción, debido posiblemente a la incorporación de sólidos de los sustratos utilizados, así como cierta cantidad de salinidad, el sistema fue eficiente con un resultado promedio de 86.46%. Esto indica la factibilidad de uso de *C. papyrus* como fitorremediadora en un sistema de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

V. DISCUSIÓN

La presente investigación se enfocó en determinar la eficiencia de un humedal artificial construido a nivel de laboratorio con plantas de *C. papyrus* como fitorremediadoras, para la depuración de aguas residuales domésticas, tomando en cuenta como factores experimentales la densidad de plantas y el tiempo de retención del efluente dentro del humedal. Se midió la calidad del agua tratada mediante una serie de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, con los cuales se estableció la eficiencia del sistema construido y la factibilidad de la técnica para su posible uso en la comunidad de estudio.

En comparación con los resultados obtenidos, Hamad (2020) reportó que en un sistema de humedal artificial con *C. papyrus* se eliminó el 85.5% de DQO, 86.2% de DBO, 83.9% de SST, además indica que, los parámetros bacteriológicos se redujeron al 99.9%. Estos resultados fueron menores a los obtenidos en la presente investigación en el caso de DQO (94.54%) y DBO (99.97%), pero en el caso de los Sólidos totales, en la investigación se obtuvo 59.86% de remoción, lo que es menor al reportado en la investigación citada, debido principalmente a la observación del aumento en los sólidos disueltos, por lo que se considera que el humedal fue eficiente para remover los sólidos suspendidos y estos al formar parte de los sólidos totales fue lo que produjo el porcentaje de eficiencia. Respecto a la remoción de sólidos, Zamora et al. (2019) indica que, en efecto, los humedales artificiales actúan como sistemas filtrantes y por lo tanto son más eficientes en la remoción de los Sólidos Suspendidos Totales, lo que sustenta lo obtenido en la presente investigación.

Los investigadores Abou-Elela, Hellal y Elekhawy (2019) también reportaron para un humedal artificial de flujo ascendente utilizando plantas de *C. papyrus* una remoción máxima de 86.9% DBO y 87.5% DQO, es decir eficiencias menores a las obtenidas en la presente investigación. De igual manera los autores citados reportaron que la *C. papyrus* fue capaz de eliminar 3 registros de Coliformes totales, lo que es consistente con el resultado obtenido, aunque en el caso particular se eliminaron los 6 registros utilizados.

La eficiencia obtenida con el humedal utilizado respecto a los parámetros microbiológicos también fue superior a las reportadas por García-Ávila et al. (2019) quienes mencionan que la *C. papyrus* utilizada en un humedal artificial subsuperficial de flujo ascendente logró reducir la demanda bioquímica de oxígeno en 80.69%, la demanda química de oxígeno en 69.87% y los coliformes totales en 98.08%. Lo anterior corrobora la mayor eficiencia del sistema utilizado bajo las condiciones experimentales, lo que evidentemente es un factor que influye en las diferencias observadas, ya que se comparan investigaciones que, aunque utilizaron las mismas plantas, la densidad de siembra y las condiciones de operación fueron diferentes.

Por su parte, Mbemba et al. (2019) reportaron remociones de materia orgánica y DQO superiores a 90% en un sistema de biofiltro donde utilizó la *C. papyrus*, pero en combinación con otras dos plantas *Phragmites australis* y *Typha latifolia*. Los resultados anteriores coinciden con el porcentaje de remoción de la DQO obtenido en la presente investigación, pero como se aclaró previamente, para lograrlo los autores utilizaron la *C. papyrus* en combinación con otras dos plantas, por lo que es claro que existe una diferencia experimental y que en el caso de estudio el humedal utilizado fue más eficiente.

El uso de un humedal artificial subsuperficial de flujo ascendente con plantas de *Hydrocotyle bonariensis* y *Typha latifolia* por parte de Parra (2020) para el tratamiento de agua, también reportó reducción de conductividad eléctrica (50%), DBO5 (78.24%) y un pH promedio de 5.8. Al comparar con los resultados de la presente investigación se observa que no coinciden con la eficiencia de remoción de la Conductividad eléctrica, sin embargo, se debe aclarar que el trabajo citado utilizó especies de plantas diferentes a la *C. papyrus*, además de agua de un río contaminado con desechos humanos y de actividad minera, por lo que las condiciones del agua fueron muy diferentes. Por otro lado, se observa que la DBO5 fue removida en menor porcentaje respecto al resultado obtenido en la presente investigación y de igual forma el pH es diferente ya que en el trabajo de Parra (2020) se reporta un pH ácido, mientras que en la investigación realizada el pH = 8.75 fue alcalino, con la coincidencia de que en ambos casos los valores se encuentran fuera del rango permisible de 6 — 8.5.

Otra investigación donde se utilizó la fitorremediación basada en humedales artificiales como alternativa para el tratamiento de aguas residuales domésticas fue la de Chang y Huamán (2019) quienes utilizaron *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*. Los autores reportan un porcentaje global de remoción de contaminantes de 81.5% para *E. crassipes* y 82.2% para *P. stratiotes*, ambos resultados menores al obtenido en la presente investigación para *C. papyrus* de 86.46%. De forma puntual se reportó que la remoción de DBO estuvo entre 78.2 y 79.8%, DQO entre 72,1 y 73,7%. En ambos casos los porcentajes de remoción fueron inferiores a los obtenidos con el humedal artificial con *C. papyrus* bajo las condiciones óptimas de operación obtenidas.

Al utilizar *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* como especies para tratar aguas residuales domésticas con base en un sistema de humedal artificial subsuperficial, Núñez, Saboya y Cruz (2019) reportaron porcentajes de remoción para DBO5 = 95%, DQO = 92%, Turbidez = 96%, Conductividad eléctrica = 59% y una eficiencia global de 70% de remoción. Estos resultados fueron los más altos de los reportados por las investigaciones previas, sin embargo, las DBO5 y DQO aún siguen siendo menores a los obtenidos en la presente investigación (DBO5 = 99.97% y DQO = 94.54%) lo que sigue corroborando la mayor eficiencia de la *C. papyrus* como fitorremediadora para disminuir los parámetros microbiológicos. En el caso de la Turbidez se observa un mayor porcentaje respecto al obtenido (79.16%) y una eficiencia en Conductividad eléctrica la cual en el caso particular no presentó.

Respecto a los parámetros que no disminuyeron durante el tratamiento, este no es un fenómeno único de la investigación, ya que Khisa et al. (2014) al estudiar la eficacia de un humedal tropical construido para el tratamiento de aguas residuales en Kenia, reportaron un incremento de la Conductividad eléctrica de 1080 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la entrada a 1980 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a la salida del sistema, incremento que los autores atribuyen a que se disuelven más iones de las rocas a lo largo del régimen del humedal construido, lo que puede ser el efecto que ocasionó el aumento en el caso de estudio de la presente investigación, donde los sustratos pudieron aportar iones que aumentaron la conductividad eléctrica del agua. Esta incorporación de iones

como materia disuelta también es un factor influyente en el aumento de la cantidad de Sólidos disueltos obtenido al final del proceso.

El Potencial Redox negativo obtenido es indicativo de bajo potencial del agua para la oxidación de la materia orgánica y como lo indican Goncharuk et al. (2010) para las aguas residuales urbanas el Potencial Redox es de aproximadamente - 100 mV debido a la presencia de desechos humanos y que es propio de medios anaerobios. Los autores también refieren que Potenciales Redox entre -130 y -150 mV ubican el efluente en la zona de transición de anaerobia a aerobia. Lo anterior indica que en el caso de estudio el agua presentó bajo potencial de oxidación probablemente por su origen doméstico y que además se encontraba en un estado anaerobio que la hace poco favorable para la oxidación de la materia orgánica.

VI. CONCLUSIONES

Luego del análisis de los resultados se concluye lo siguientes

Es factible tratar las aguas residuales domésticas en el AA. HH San Juan Bautista, Marcona-Ica mediante fitorremediación utilizando plantas de *C. papyrus* en un humedal artificial, bajo las condiciones de operación utilizadas.

El tiempo de contacto del agua residual doméstica en el humedal artificial diseñado fue un factor determinante en la depuración de la misma, observándose que, a mayor tiempo de contacto, mayores fueron los porcentajes de eficiencia en la remoción de los contaminantes.

Se observó que, al aumentar la densidad de plantas, se obtienen mejores valores en todos los parámetros de calidad de agua medidos, por lo tanto, la densidad de plantas influyó positivamente en la depuración del agua residual doméstica del AA. HH San Juan Bautista, Marcona-Ica

El análisis de varianza ANOVA factorial utilizado demostró que esta técnica estadística se puede utilizar para optimizar los factores y obtener la mejor combinación de ellos que genere los mejores valores de los parámetros analizados y mediante ella se determinó que el sistema óptimo opera con una densidad de 30 plantas y un tiempo de contacto de 180 min, generando 50.55% de probabilidad de obtenerse el valor óptimo.

VII. RECOMENDACIONES

La densidad de plantas de *C. papyrus* influyó positivamente en la depuración del agua residual doméstica, por lo que se debe estudiar utilizar mayores densidades para obtener una mayor depuración.

El sistema se debe operar a mayores tiempos de retención, ya que se la tendencia es a aumentar la eficiencia con el tiempo.

Trabajar con otras densidades de plantas y tiempos de retención y aplicar análisis ANOVA factorial para establecer las condiciones óptimas que lleven todos los parámetros a los valores permisibles.

Dados los resultados de eficiencia para el tratamiento y remoción de parámetros microbiológicos, se recomienda el sistema para esa función particular y que se combine con otro u otros tratamientos que puedan ayudar a que el efluente final tenga las condiciones necesarias para ser vertido a cuerpos de agua o al suelo sin causar daños ambientales.

REFERENCIAS

ABOU-ELELA, Sohair, HELLAL, Mohamed, ELEKHAWY Mohamed. Phytoremediation of municipal wastewater for reuse using three pilot-scale HFCW under different HLR, HRT, and vegetation: a case study from Egypt. *Desalination and Water Treatment* [en línea], febrero 2019, n° 140. [Fecha de consulta: 9 de abril de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23362>. ISSN: 1944-3994

CALIDAD del agua: un enfoque multidisciplinario por Blanca Jiménez [et al.]. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México IIEc, 2010. [Fecha de consulta: 8 de abril de 2021]. Disponible en: <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/Mexico/iiec-unam/20110804014021/Calidagua.pdf>

CARBALLEIRA, Rafael, SOUTO, Martín. Presencia de *Cyperus papyrus* L. (Cyperaceae) en la región biogeográfica atlántica de la Península Ibérica. *Acta Botanica Malacitana* [en línea], octubre 2018, n° 43. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.24310/abm.v43i0.5011>. ISSN: 2340-5074

CHANG GUTIÉRREZ, Karina; HUAMÁN TAYPE, Carmen Rosa. Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domesticas mediante las macrófitas *Eichhornia Crassipes* y *Pistia Stratiotes*, plantas típicas de la Selva Peruana. 2019. Tesis (Ingeniería Ambiental). Lima: universidad Peruana Unión, 2019. Disponible en: <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/3230>

CORDERO, Johanna. Fitorremediación in situ para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (plomo y cadmio) y evaluación de selenio en la finca Furatena alta en el Municipio de Útica (Cundinamarca). Tesis (Ingeniería Ambiental). Bogotá: Universidad Libre, 2015. Disponible en: <https://tinyurl.com/2rxunu6n>

DE ANDA, José, et al. High-Strength Domestic Wastewater Treatment and Reuse with Onsite Passive Methods. *Water* [en línea], enero 2018, n° 10. [Fecha de

consulta: 13 de abril de 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/w10020099>. ISSN 2073-4441

DECRETO SUPREMO N° 002-2008-MINAM. Estándares nacionales de calidad ambiental para agua. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 31 de julio de 2008.

DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM. Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento Residuales Domésticas o Municipales. Diario oficial EL Peruano, Lima, Perú, 17 de marzo de 2010.

DU, Xianjun, [et al.]. Dissolved Oxygen Control in Activated Sludge Process Using a Neural Network-Based Adaptive PID Algorithm. Applied Sciences [en línea], 2018, vol.8. [Fecha de consulta: 1 de julio de 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/app8020261>. ISSN: 2076-3417

GARCÍA-ÁVILA, Fernando, et al. Performance of *Phragmites Australis* and *Cyperus Papyrus* in the treatment of municipal wastewater by vertical flow subsurface constructed wetlands. International Soil and Water Conservation Research [en línea], septiembre 2019, n° 3. [Fecha de consulta: 9 de abril de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.04.001>. ISSN: 2352-3409

GESTORES de residuos. El PNUMA denuncia que el 80% de las aguas residuales se vierten sin tratar, 2015. [Fecha de consulta: 14 de abril de 2021]. Disponible en: <https://gestoresderesiduos.org/noticias/el-pnuma-denuncia-que-el-80-de-las-aguas-residuales-se-vierten-sin-tratar>

GONCHARUK, V., [et al]. The Use of Redox Potential in Water Treatment Processes. Journal of Water Chemistry and Technology [en línea], 2010, vol. 32, n° 1. [Fecha de consulta: 3 de julio de 2021]. Disponible en: <https://www.oxavita.nl/wp-content/uploads/2020/02/The-use-of-redox-potential-in-water-treatment-processes.pdf>. ISSN:1063-455X

HAMAD, Mohammed TMH. Comparative study on the performance of *Typha latifolia* and *Cyperus Papyrus* on the removal of heavy metals and enteric bacteria from wastewater by surface constructed wetlands. Chemosphere [en línea], diciembre

2020, n° 260. [Fecha de consulta: 10 de abril de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127551>. ISSN: 0045-6535

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos, BAPTISTA, María. Metodología de la investigación (6ta Ed.). México: McGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A., 2014. 600 pp. ISBN: 978-1-4562-2396-0

HERRERA, María. Eficiencia de *Eichornia spp* y *Lemna spp* nativas en humedales artificiales en la remoción de sulfonato de alquilbenceno lineal de los detergentes presentes en aguas residuales domésticas, Moyobamba -2017. Tesis (Ingeniería Ambiental). Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín, 2018. Disponible en: <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2790>

KHISA, Kelvin, [et al]. The Efficacy of a Tropical Constructed Wetland for Treating Wastewater during the Wet Season: The Kenyan Experience. Journal of Environment and Earth Science [en línea], enero 2014, vol. 4, n° 15. [Fecha de consulta: 3 de julio de 2021]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/273109403>. ISSN: 2225-0948

MARRADI, Alberto. Método experimental, método de la asociación y otros caminos de la ciencia. Paradigmas [en línea], junio 2013, vol. 5, n° 11. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2021]. Disponible en: https://issuu.com/unitec-cpa/docs/p_v5n1. ISSN: 1909-4302

MBEMBA, K, et al. Phytoremediation of Industrial Waste Leachates by Planted Filters Composed of *Phragmites australis* (Cav) Trin ex Steud, *Typha latifolia* L. and *Cyperus papyrus* L. International Journal of Environment and Climate Change [en línea], septiembre 2019, vol. 9, n° 9. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.9734/IJECC/2019/v9i930138>. ISSN: 2581-8627

MENDOZA, Yoma, PÉREZ, Jhonny, GALINDO, Andrés. Evaluación del aporte de las plantas acuáticas *Pistia stratiotes* y *Eichornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales municipales. Información tecnológica [en línea], diciembre 2018, vol. 29, no 2. [Fecha de consulta: 10 de abril de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000200205>. ISSN 0718-0764

MINISTERIO DE SALUD DEL PERÚ. Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales, 2007. Disponible en: [http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes_tecnicos/PROTOCOLO-MONITOREO-CALIDAD-RECURSOS-HIDRICOS-SUPERFICIALES-\(CONTINENTALES\).pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes_tecnicos/PROTOCOLO-MONITOREO-CALIDAD-RECURSOS-HIDRICOS-SUPERFICIALES-(CONTINENTALES).pdf)

MINISTERIO DE SALUD DEL PERÚ. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, 2011. Disponible en: http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf

MONTIEL, Pedro. Humedal artificial. Tesis (Ingeniería civil). México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2014. Disponible en: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/MONTIEL%202014.%20Humedal%20artificial.pdf

MUÑOZ, Keyla, VASQUEZ, Milagros. Estudio de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales de cinco especies de macrófitas. Tesis (Ingeniería ambiental). Lima: Universidad Privada del Norte, 2020. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23943>

NÚÑEZ, Erlin, SABOYA, Nemias, CRUZ, Milda. Fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural Quechua-Cajamarca. Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo [en línea], diciembre 2019, vol. 5, n° 2. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.17162/rictd.v5i2.886>. ISSN 2410-843x

OMS. Guías para la calidad del agua potable, 2019. [Fecha de consulta: 10 de abril de 2021]. Disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf

ORGANISMO de Evaluación y Fiscalización Ambiental. Fiscalización ambiental en aguas residuales, 2015. [Fecha de consulta: 14 de abril de 2021]. Disponible en: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

PARRA, Erick. Evaluación de la eficiencia de la remoción de plomo en aguas residuales del río Tarma usando *Hydrocotyle bonariensis* Lam. y *Typha latifolia* L. en humedales artificiales. Tesis (Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad Católica Sedes Sapientiae, 2020. Disponible en: <http://repositorio.ucss.edu.pe/handle/UCSS/831>

RODRÍGUEZ, Héctor. Las aguas residuales y sus efectos contaminantes, 2017. [Fecha de consulta: 14 de abril de 2021]. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>

ROSABAL-CARBONELL, Y., [et al]. Evaluación de la demanda química de oxígeno en aguas de la provincia de Granma, Cuba. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* [en línea], 2012, vol. 8, n° 1. [Fecha de consulta: 1 de julio de 2021]. Disponible en: <https://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v8-n1-3-evaluacion-de-la-demanda-quimica-de-oxigeno-en-aguas-de-la-provincia-de-granma-cuba.pdf>. ISSN: 2594-0384

ROY, Ritabrata. An Introduction to water quality analysis. *International Journal for Environmental Rehabilitation and Conservation* [en línea], diciembre 2018, vol. 9, n° 2. [Fecha de consulta: 10 de abril de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.31786/09756272.18.9.2.214>. ISSN: 0975 - 6272

SÁNCHEZ, Hugo, REYES, Carlos, MEJÍA, Katia. Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística [en línea]. Lima: Universidad Ricardo Palma. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2021]. Disponible en: <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf>

STAVNEY, Linnea. *Phytoremediation in your own neighborhood: a guide for high school students*, 2019. [Fecha de consulta: 13 de abril de 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/forestry/49974-0ace2fa3f87b29b74a1ed2536d8d754d0.pdf>

STEFANAKIS, Alexandros. *Constructed Wetlands for Sustainable Wastewater Treatment in Hot and Arid Climates: Opportunities, Challenges and Case Studies in*

the Middle East. Water [en línea], junio 2020, n° 12. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/w12061665>. ISSN 2073-4441

SUASTE-FRANCO, María Pilar, et al. Efecto de la densidad y método de siembra en el rendimiento de grano de trigo (*Triticum aestivum* L.) en el Bajío, México. Agrociencia [en línea], marzo 2013, vol. 47, n° 2. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v47n2/v47n2a5.pdf>. ISSN 2521-9766

TORRES, Jocelyn, et al. Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis*, en Carapongo-Lurigancho. Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo [en línea], julio 2017, vol. 3, n° 2. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2021] Disponible en: <https://doi.org/10.17162/rictd.v3i2.657>. ISSN 2410-843x

U.S. Environmental Protection Agency. Introduction to Phytoremediation, 2000. [Fecha de consulta: 14 de abril de 2021]. Disponible en: <https://clu-in.org/download/remed/introphyto.pdf>

UNESCO. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos, 2020. [Fecha de consulta: 7 de abril de 2021]. Disponible en: <https://es.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2020>

VARGAS, Zoila. La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. Educación [en línea], julio 2009, vol. 33, n° 1. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2021]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44015082010>. ISSN: 0379-7082

YEE-BATISTA, Carmen. Un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas, 2013. [Fecha de consulta: 9 de abril de 2021]. Disponible en: <https://tinyurl.com/3a68k42y>

ZAMORA, Sergio, [et al]. Wastewater Treatment by Constructed Wetland Eco-Technology: Influence of Mineral and Plastic Materials as Filter Media and Tropical


Ornamental Plants. Water [en línea], 2019, vol. 11. [Fecha de consulta: 2 de julio de 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/w11112344>. ISSN: 2073-4441

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de operacionalización

USO DE <i>CYPERUS PAPHYRUS</i> PARA LA DEPURACIÓN DEL EFLUENTE DOMÉSTICO EN EL AA. HH SAN JUAN BAUTISTA, MARCONA-ICA 2021					
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<p>Variable Independiente:</p> <p><i>Tiempo de contacto</i></p>	El tiempo de contacto, es el tiempo en el que el efluente o residual líquido está en contacto con la planta fitorremediadora. El mismo depende del tipo y concentración de contaminante(s), de la duración del periodo de crecimiento y de la eficiencia de remoción de la especie utilizada (Cordero, 2015)	El tiempo de contacto de las agua residuales domésticas con la <i>C. papyrus</i> será definida operacionalmente como los distintos tiempos en que se tomarán muestras para obtener las propiedades del agua, medidos en días.	Tiempo de muestreo	Tiempo en min	Nominal: 30 min 60 min 90 min 120 min 150 min 180 min
<p>Variable Independiente:</p> <p><i>Densidad de plantas</i></p>	La densidad de plantas se refiere al número de plantas sembradas en una unidad de terreno, es una variable importante pues determina la competencia entre las plantas y la conversión de energía solar en productos (Suaste-Franco et al., 2013)	La densidad de plantas se define operacionalmente como la cantidad de <i>C. papyrus</i> sembradas en cada una de las peceras o unidades experimentales	Cantidad de plantas	Número de plantas	Nominal: 10 plantas 20 plantas 30 plantas
<p>Variable dependiente:</p> <p><i>Calidad del agua</i></p>	La calidad del agua es una variable que se define como las características químicas, físicas y biológicas del agua, normalmente en relación con su idoneidad para un uso determinado (Roy, 2019).	La calidad del agua residual doméstica en el AA. HH San Juan bautista serán determinados por sus propiedades físicas y químicas.	Propiedades físicas.	Turbidez	NTU
				Oxígeno disuelto	mg/L
				Sólidos disueltos	mg/L
				Sólidos totales	mg/L
			Propiedades químicas.	Temperatura	°C
				pH	1-14
				Potencial Redox	mV
				Conductividad eléctrica	µS/m
			Propiedades microbiológicas	Coliformes totales	UFC/100ml
				DQO	mg/L
				DBO5	mg/L

Anexo 2: Instrumento de recolección de datos

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	Ficha Nº 01 Formato de recolección de muestra			
Título	Uso de <i>Cyperus papyrus</i> para la depuración del efluente doméstico en el AA. HH San Juan Bautista, Marcona-Ica 2021			
Línea de investigación	Calidad y gestión de Recursos Naturales			
Investigadores	<i>Bernales Bernaola Eduardo Jefferson Espinoza Zambrano, Alanis Alexa</i>			
Laboratorio				
Muestra	Fecha	Lugar de recolección	Volumen de muestra	Observaciones
1				
2				
3				

Atentamente,





Juan Julio Ordoñez Galvez

DNI: 08447308

 Firma del experto
 CIP:
 Teléfono

 Firma del experto
 CIP:
 Teléfono

 Firma del experto
 CIP:
 Teléfono

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	Ficha N° 02 Formato de caracterización del agua residual (Químicos)			
Titulo	Uso de <i>Cyperus papyrus</i> para la depuración del efluente doméstico en el AA. HH San Juan Bautista, Marcona-Ica 2021			
Línea de investigación	Calidad y gestión de Recursos Naturales			
Investigadores	<i>Bernales Bernaola Eduardo Jefferson Espinoza Zambrano, Alanis Alexa</i>			
Laboratorio				
Muestra /Indicadores	pH	Temperatura (°C)	Potencial Redox (mV)	Conductividad eléctrica (µS/cm)
1				
2				
3				

Atentamente,

Juan Julio Ordoñez Galvez

DNI: 08447308



Firma del experto

CIP:

Teléfono

Firma del experto


CIP:

Teléfono:

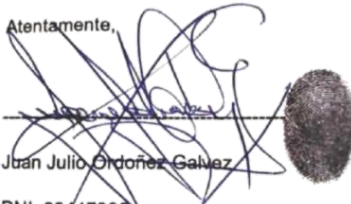
Firma del experto

CIP:

Teléfono

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	Ficha N° 02 Formato de caracterización del agua residual (Físicos)			
Título	Uso de <i>Cyperus papyrus</i> para la depuración del efluente doméstico en el AA. HH San Juan Bautista, Marcona-Ica 2021			
Línea de investigación	Calidad y gestión de Recursos Naturales			
Investigadores	<i>Bernales Bernaola Eduardo Jefferson Espinoza Zambrano, Alanis Alexa</i>			
Laboratorio				
Muestra /Indicadores	Sólidos Totales (mg/l)	Sólidos Disueltos (mg/l)	Turbidez (NTU)	Oxígeno Disuelto (mg/l)
1				
2				
3				

Atentamente,




Juan Julio Ordoñez Galvez

DNI: 08447308

Firma del experto
CIP:
Teléfono

Firma del experto
CIP:
Teléfono

Firma del experto
CIP:
Teléfono

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	Ficha Nº 02 Formato de caracterización del agua residual (Microbiológicos)		
Título	Uso de <i>Cyperus papyrus</i> para la depuración del efluente doméstico en el AA. HH San Juan Bautista, Marcona-Ica 2021		
Línea de investigación	Calidad y gestión de Recursos Naturales		
Investigadores	<i>Bernales Bernaola Eduardo Jefferson Espinoza Zambrano, Alanis Alexa</i>		
Laboratorio			
Muestra /Indicadores	Coliformes Totales (NFC/100ml)	DQO (mg/l)	DBO5 (mg/l)
1			
2			
3			

Atentamente,




Juan Julio Ordoñez Galvez
DNI: 08447308

Firma del experto
CIP:
Teléfono

Firma del experto
CIP:
Teléfono

Firma del experto
CIP:
Teléfono

Anexo 3: Validación de instrumento

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Ordoñez Gálvez, Juan Julio
- 1.2. Cargo e institución donde labora:
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Calidad y Gestión de los recursos naturales:
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Uso *Cypeus Papyrus* para la depuración de aguas residuales en San Juan Bautista, Marcona-Ica 2021
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: Bernales Bernaola, Eduardo Jefferson/ Espinoza Zambrano Alanis Alexa

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

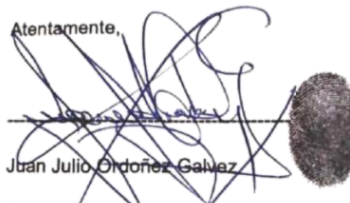
I. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI

II. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Atentamente,

 Juan Julio Ordoñez Gálvez
 DNI: 08447308

 Firma del
 experto
 informanteCI P.
 DNI No Telf.:

Anexo 4: Panel fotográfico

Desarrollo experimental



Modelo de humedal artificial elaborado



Sistema de tres humedales (Tratamientos)

Toma de muestras



Toma de muestra Tratamiento 1 (Densidad = 10 plantas)

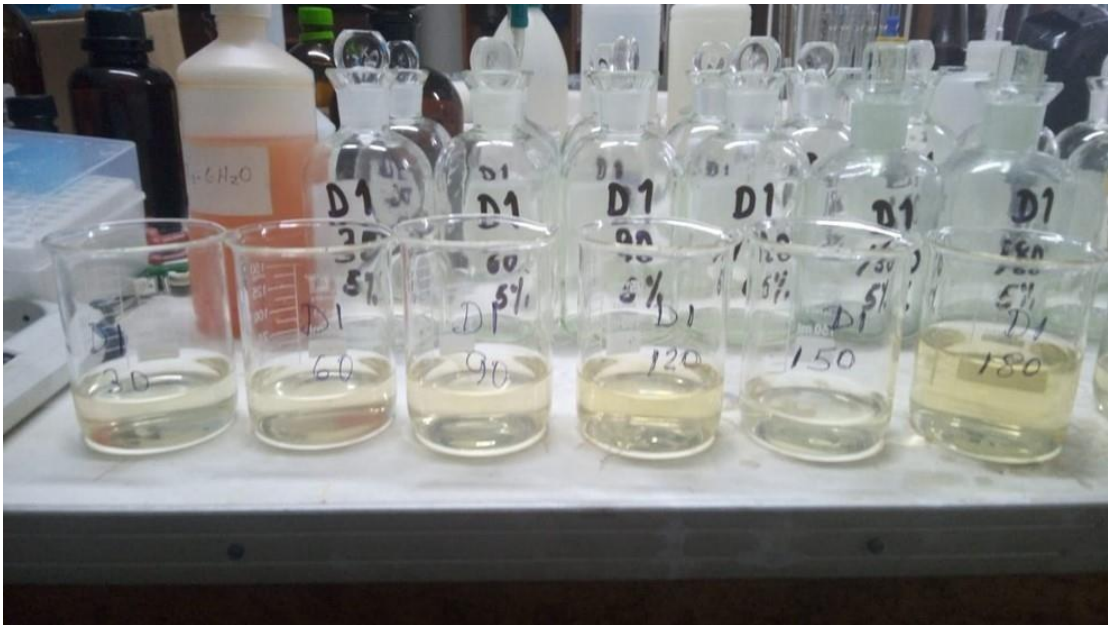


Toma de muestra Tratamiento 2 (Densidad = 20 plantas)



Toma de muestra Tratamiento 3 (Densidad = 30 plantas)

Muestras tomadas



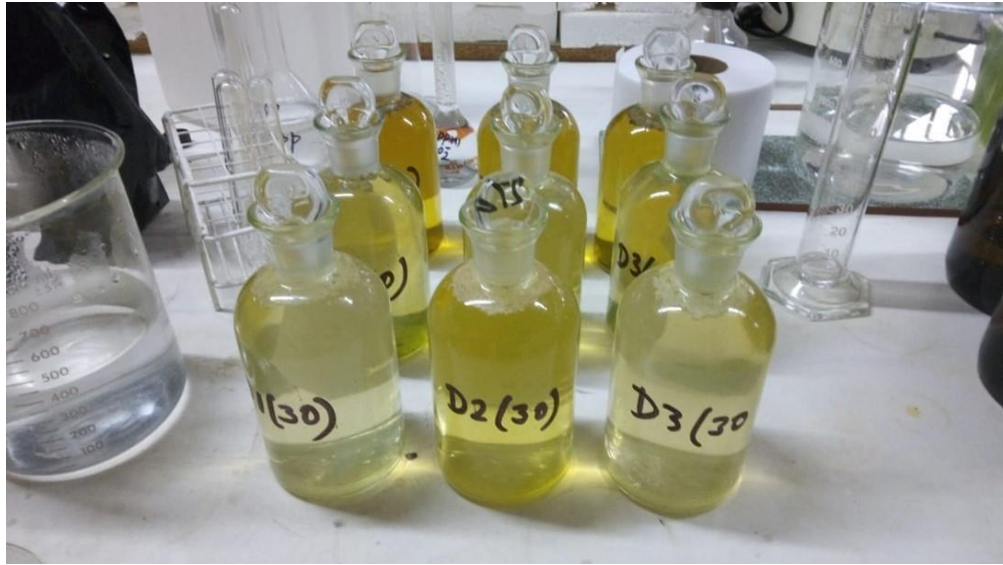
Muestras del Tratamiento 1 (Densidad = 10 plantas de *C. Papyrus*)



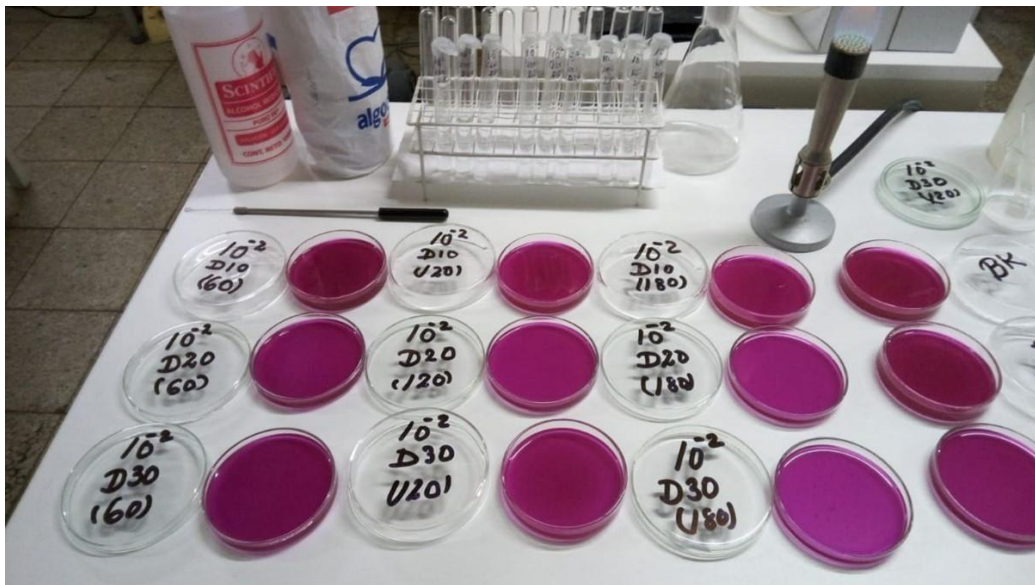
Total de muestras tomadas para análisis

Preparación de muestras para análisis











UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

SOLICITADO POR: BERNALES BERNAOLA, EDUARDO JEFFERSON

Procedencia de muestra: AA. HH San Juan bautista, Marcona-Ica.

Recepción de muestras: Lima, 12 de mayo del 2021

Caracterización de Agua Residual Doméstica

Muestra	Temperatura (°C)	Potencial de Hidrogeno (pH) Acido/base	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Potencial Redox mv
CI - ARD	22	8.25	4470	-175

Muestra	Sólidos Totales mg/L	Sólidos disueltos mg/L	Turbidez NTU	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
CI-ARD	10027.87	2663	198.7	7364.87

Muestra	Oxígeno Disuelto mgO ₂ /l	Demanda Química de Oxígeno mgO ₂ /l	Demanda Bioquímica de oxígeno mgO ₂ /l	Coliformes Totales UFC/100 ml
CI -ARD	1.07	1813.3	31.26	130

Método Potenciométrico, Método Winkler, Método del Dicromato, Método de sembrado en placas Petri, tubos Múltiples, Método Gravimétrico.

Lima, 20 Mayo del 2021


MSc. Atilio Mendoza A.
Jefe Lab. Espectrometría

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú
Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245
e-mail: labespectro@uni.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

SOLICITADO POR: BERNALES BERNAOLA, EDUARDO JEFFERSON

Procedencia de muestra: AA. HH San Juan bautista, Marcona-Ica.

Recepción de muestras: Lima, 25 de mayo del 2021

PRIMERA FASE: Tratamiento del agua residual doméstica

Densidad 10 Tiempos	Temperatura °C	Potencial de Hidrogeno Acido/base	Conductividad Eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$	Potencial redox mv
D10-(T1-30')	21.1	8.20	4380	-100
D10-(T2-60')	21.1	8.19	4120	-98
D10-(T3-90')	21.1	8.23	5226	-123
D10-(T4-120')	21.1	8.21	5138	-120
D10-(T5-150')	21.1	8.24	5260	-125
D10-(T6-180')	21.1	8.25	5280	-128

Densidad 10 Tiempos	Sólidos Totales mg/L	Sólidos Disueltos mg/L	Turbidez NTU	Oxígeno disuelto mgO_2/L
D10-(T1-30')	6136	4951	57.0	0.1016
D10-(T2-60')	5767	4727	56.2	0.4067
D10-(T3-90')	4586	4381	54.1	2.0335
D10-(T4-120')	4582	4307	58.3	2.8469
D10-(T5-150')	4525	4095	59.4	4.4738
D10-(T6-180')	4064	3803	62.5	4.5755

Densidad 10 Tiempos	Coliformes totales UFC/100ml	Coliformes totales iniciales UFC/100ml	Demanda Química de Oxígeno mgO_2/L	Demanda bioquímica de Oxígeno mgO_2/L
D10-(T1-30')	13	130	199.6	183.02
D10-(T2-60')	0	130	198.2	142.42
D10-(T3-90')	0	130	166.3	142.69
D10-(T4-120')	0	130	133.3	142.35
D10-(T5-150')	0	130	66.53	10.16
D10-(T6-180')	0	130	66.10	8.49

Método Potenciométrico, Método Winkler, Método Gravimétrico, Método sembrado en Placas Petri, tubos múltiples.

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú

Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245

e-mail: labespectro@uni.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

SEGUNDA FASE: Tratamiento del agua residual doméstica

Densidad 20 Tiempos	Temperatura °C	Potencial de Hidrogeno Acido/base	Conductividad Electrica $\mu\text{S}/\text{cm}$	Potencial redox mv
D20-(T1-30')	21.2	8.57	4500	-125
D20-(T2-60')	21.2	8.67	4525	-133
D20-(T3-90')	21.2	8.71	4590	-138
D20-(T4-120')	21.2	8.42	4626	-156
D20-(T5-150')	21.2	8.72	4645	-158
D20-(T6-180')	21.2	8.77	4760	-152

Densidad 20 Tiempos	Sólidos Totales mgO_2/L	Sólidos Disueltos mgO_2/L	Turbidez NTU	Oxígeno disuelto mgO_2/L
D20-(T1-30')	6125	5337	38.5	0.6100
D20-(T2-60')	5780	5193	49.2	0.4067
D20-(T3-90')	5583	4850	59.7	1.7285
D20-(T4-120')	4680	4310	59.9	4.0671
D20-(T5-150')	4532	4250	60.4	4.0671
D20-(T6-180')	4100	3906	60.1	4.1021

Densidad 20 Tiempos	Coliformes totales UFC/100ml	Coliformes totales iniciales UFC/100ml	Demanda Química de Oxígeno mgO_2/L	Demanda bioquímica de oxígeno mgO_2/L
D20-(T1-30')	2	130	133.04	123.69
D20-(T2-60')	0	130	133.07	122.68
D20-(T3-90')	0	130	133.08	127.68
D20-(T4-120')	0	130	133.06	101.71
D20-(T5-150')	0	130	100.23	91.71
D20-(T6-180')	0	130	99.80	81.72

Método Potenciométrico, Método Winkler, Método Gravimétrico, Método sembrado en Placas Petri, tubos múltiples

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú
 Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245
 e-mail: labespectro@uni.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

TERCERA FASE: Tratamiento del agua residual doméstica

Densidad 30 Tiempos	Temperatura °C	Potencial de Hidrogeno Acido/base	Conductividad Eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$	Potencial redox mv
D30-(T1-30')	20.2	8.36	4821	-140
D30-(T2-60')	20.2	8.50	4820	-152
D30-(T3-90')	20.2	8.59	5280	-192
D30-(T4-120')	20.2	8.77	5230	-189
D30-(T5-150')	20.2	8.82	5620	-191
D30-(T6-180')	20.2	8.75	5250	-188

Densidad 30 Tiempos	Sólidos Totales mgO_2/L	Sólidos Disueltos mgO_2/L	Turbidez NTU	Oxígeno disuelto mgO_2/L
D30-(T1-30')	5574	5250	51.1	0.1016
D30-(T2-60')	5493	5125	50.1	0.3050
D30-(T3-90')	5126	4985	44.6	1.5251
D30-(T4-120')	4962	4752	44.0	4.3721
D30-(T5-150')	4230	4056	43.6	4.5755
D30-(T6-180')	4025	3901	41.4	4.6777

Densidad 30 Tiempos	Coliformes totales UFC/100ml	Coliformes totales iniciales UFC/100ml	Demanda Química de Oxígeno mgO_2/L	Demanda bioquímica de oxígeno mgO_2/L
D30-(T1-30')	0	130	128.23	0.01
D30-(T2-60')	0	130	128.12	0.04
D30-(T3-90')	0	130	128.01	0.02
D30-(T4-120')	0	130	100.02	0.03
D30-(T5-150')	0	130	99.80	0.05
D30-(T6-180')	0	130	99.01	0.01

Método Potenciométrico, Método Winkler, Método Gravimétrico, Método sembrado en Placas Petri, tubos múltiples.

Lima, 15 de Junio del 2021


MSc. Atilio Méndez A.
Jefe Lab. Espectrometría

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú
Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245
e-mail: labespectro@uni.edu.pe