



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

Cinética de la fitorremediación de aguas residuales utilizando

*Lemna minor*

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**

Barboza Herrera, Ruth Melissa ([orcid.org/0000-0001-6799-5194](https://orcid.org/0000-0001-6799-5194))

Ruiz Campos, Brando Bill ([orcid.org/0000-0001-7847-6461](https://orcid.org/0000-0001-7847-6461))

**ASESOR:**

Dr. Monteza Arbulú, César Augusto ([orcid.org/0000-0003-2052-6707](https://orcid.org/0000-0003-2052-6707))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

**CHICLAYO — PERÚ**

**2023**

## DEDICATORIA

A mis padres Mario Barboza y Dalila Herrera, por todo el esfuerzo y sacrificio todos estos años y porque son el motor y el motivo para cumplir cada una de mis metas y propósitos, por estar presentes y ser mi soporte durante este proceso, y a toda mi familia que creyó en mí y están orgullosos de cada uno de mis logros.

*Ruth Melissa*

A mis padres Alejandro Ruiz y Luz Angelita campos por su dedicación y esfuerzo en estos años de estudio a mis a mis hermanos por ser mi soporte y estar siempre presentes y por el apoyo moral que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

*Brando Bill*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a Dios por cada una de sus bendiciones, a mis padres y a mi pareja por el soporte económico y emocional durante este proceso, a mi asesor el Dr. Cesar Monteza por la paciencia, motivación y compromiso con nuestra investigación así mismo a mi compañero de tesis Brando Ruiz por el gran equipo de trabajo que hemos formado.

*Ruth Melissa*

Mi agradecimiento a Dios por su cuidado y protección, a mis padres y hermanos por el soporte económico y apoyo incondicional, a mi asesor el Dr. Cesar Monteza por la paciencia, el compromiso y motivación para desarrollar nuestra investigación a mi compañera de tesis por el equipo de trabajo que hemos constituido.

*Brando Bill*

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, MONTEZA ARBULÚ CÉSAR AUGUSTO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Cinética de la fitorremediación de aguas residuales utilizando Lemna Minor", cuyos autores son BARBOZA HERRERA RUTH MELISSA, RUIZ CAMPOS BRANDO BILL, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 16.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

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

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

CHICLAYO, 16 de Noviembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
MONTEZA ARBULÚ CÉSAR AUGUSTO DNI: 16681280 ORCID: 0000-0003-2052-6707	Firmado electrónicamente por: MARBULUCA el 17-11-2023 12:31:13

Código documento Trilce: TRI - 0654864



## DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE LOS AUTORES



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

### Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, BARBOZA HERRERA RUTH MELISSA, RUIZ CAMPOS BRANDO BILL estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Cinética de la fitorremediación de aguas residuales utilizando Lemna Minor", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

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

Nombres y Apellidos	Firma
BRANDO BILL RUIZ CAMPOS DNI: 75653633 ORCID: 0000-0001-7847-8481	Firmado electrónicamente por: BBRUIZC el 16-11-2023 07:55:52
RUTH MELISSA BARBOZA HERRERA DNI: 62359587 ORCID: 0000-0001-6799-5194	Firmado electrónicamente por: RBARBOZAHE5 el 16-11-2023 07:13:02

Código documento Trilce: TRI - 0654868

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	iii
<b>DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR</b> .....	iv
<b>DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE LOS AUTORES</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>RESUMEN</b> .....	x
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	4
<b>III. METODOLOGÍA</b> .....	11
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	11
3.2. Variable y operacionalización.....	12
3.3. Población, muestra y muestreo.....	12
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	13
3.5. Procedimientos .....	14
3.6. Método de análisis de datos.....	16
3.7. Aspectos éticos .....	16
<b>IV. RESULTADOS</b> .....	17
<b>V. DISCUSIÓN</b> .....	37
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	40
<b>VII. RECOMENDACIONES</b> .....	41
<b>REFERENCIAS</b> .....	42
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Lagunas de oxidación de Jayanca, toma de muestras de estudio.</i> .....	14
<b>Tabla 2.</b> <i>Cuadro comparativo de la macrofita Lemna minor durante el desarrollo de los análisis con 50 g de biomasa.</i> .....	17
<b>Tabla 3.</b> <i>Cuadro comparativo de la Macrofita Lemna minor durante el desarrollo de los análisis con 100 g de biomasa.</i> .....	18
<b>Tabla 4.</b> <i>Cuadro comparativo de la Macrofita Lemna minor durante el desarrollo de los análisis con 150 g de biomasa.</i> .....	18

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 01.</i> Grafica de cinética de orden cero.....	9
<i>Figura 02.</i> Grafica de cinética de primer orden .....	9
<i>Figura 03.</i> Grafica de cinética de segundo orden.....	10
<i>Figura 04.</i> Diseño de la investigación cuasi experimental .....	12
<i>Figura 05.</i> Elección y preparación del lugar de experimento.....	15
<i>Figura 06.</i> Inserción de la macrofita <i>Lemna minor</i> .....	15
<i>Figura 07.</i> Análisis de las muestras en laboratorio.....	16
<i>Figura 08.</i> Resultados de los parámetros físico-químicos de la muestra inicial. ...	19
<i>Figura 09.</i> Mediciones de pH en el G.C. ....	20
<i>Figura 10.</i> Mediciones de pH en el G.E1.....	20
<i>Figura 11.</i> Mediciones de pH en el G.E2.....	21
<i>Figura 12.</i> Mediciones de pH en el G.E3.....	22
<i>Figura 13.</i> Cotejo de mediciones de los análisis de pH.....	22
<i>Figura 14.</i> Mediciones de turbidez en el G.C .....	23
<i>Figura 15.</i> Mediciones de turbidez en el G.E1.....	24
<i>Figura 16.</i> Mediciones de turbidez en el G.E2.....	25
<i>Figura 17.</i> Mediciones de turbidez en el G.E3.....	26
<i>Figura 18.</i> Cotejo de resultados de los análisis de turbidez .....	27
<i>Figura 19.</i> Mediciones de la DBO en el G.C .....	28
<i>Figura 20.</i> Mediciones de la DBO en el G.E1 .....	29



<i>Figura 21.</i> Mediciones de la DBO en el G.E2.....	30
<i>Figura 22.</i> Mediciones de la DBO en el G.E3.....	31
<i>Figura 23.</i> Cotejo de los análisis de la DBO.....	31
<i>Figura 24.</i> Cinética en el G.C.....	32
<i>Figura 25.</i> Cinética en el G.E1.....	33
<i>Figura 26.</i> Cinética en el G.E2.....	34
<i>Figura 27.</i> Cinética en el G.E3.....	35
<i>Figura 28.</i> Cinética de evolución según los resultados obtenidos.....	36

## RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de determinar la cinética de la fitorremediación en aguas residuales utilizando *Lemna minor*, este estudio fue de tipo aplicada y experimental de enfoque cuantitativo, se aplicó tres biomásas de la macrófita *Lemna minor* (G.E1 = 50g, G.E2 = 100g, G.E3 = 150g) en recipientes que almacenaron 12 L de agua residual cada uno. Se analizaron los parámetros DBO, pH y turbidez, con el propósito de cumplir los estándares de calidad ambiental (ECA) y finalmente determinar el orden de la cinética a partir de los resultados. se tomó muestras de agua residual de las lagunas de oxidación del distrito de Jayanca, el estudio fue monitoreado y evaluado cada 3 días, durante 12 días con el propósito de analizar el desempeño de la macrófita en los parámetros de estudio. Se empezaron a percibir los cambios en las muestras a partir del día 3, En Los resultados obtenidos se demuestra que, la *Lemna minor* fue mucho más eficaz en el tratamiento G.E3, de esta manera después de analizar y procesar los resultados se confirmó que la cinética de la fitorremediación de aguas residuales es de primer orden.

**Palabras clave:** *Lemna minor*, fitorremediacion, cinética, aguas residuales.

## ABSTRACT

The present investigation was carried out with the objective of determining the kinetics of phytoremediation in wastewater using *Lemna minor*, this study is of an applied and experimental type with a quantitative approach, three biomasses of the macrophyte *Lemna minor* were applied (G. E1 = 50g, G. E2=100g, G. E3= 150g) in containers that stored 12 L of wastewater each. The parameters BOD, pH and turbidity were analyzed, with the purpose of meeting the environmental quality standards (ECA) and finally determining the order of the kinetics from the results. Wastewater samples were taken from the oxidation lagoons of the Jayanca district, the study was monitored and evaluated every 3 days, for 12 days with the purpose of analyzing the performance of the macrophyte in the study parameters. The changes began to be perceived in the samples from day 3. The results obtained show that *Lemna minor* was much more effective in the G. E3 treatment, in this way after analyzing and processing the results it was confirmed that The kinetics of wastewater phytoremediation are of the first order.

**Keywords:** *Lemna minor*, phytoremediation, kinetics, wastewater.

## I. INTRODUCCIÓN

El aprovisionamiento de agua es indispensable para vivir, ya sea para consumo directo o para actividades industriales, recreativas y manufactureras. Teniendo en cuenta eso, el uso del recurso hídrico deja como resultado una gran cantidad de aguas residuales las cuales en gran porcentaje no son tratadas de ninguna manera, terminando en lagos, ríos y mares, extendiendo la contaminación.

En el ciclo vital, el suministro de agua es esencial para la supervivencia, tanto en el consumo directo como en diversas aplicaciones industriales, recreativas y de fabricación. Con esto en mente, las acciones relacionadas con el uso del agua generan una cantidad significativa de aguas residuales, las cuales, desafortunadamente, en su mayoría no reciben ningún tipo de tratamiento adecuado. Como resultado, estas aguas residuales se descargan sin procesar en cuerpos de agua como lagos, ríos y mares, lo que contribuye a la propagación de la polución.

La exigüidad de agua es una preocupación total y significativa, ya que el suministro de agua dulce es limitado y se ve cada vez más restringido debido a diversos factores, como el aumento de la humanidad a nivel mundial y el impacto del cambio climático. En promedio, se estima que cada individuo utiliza entre 250 y 330 litros de agua diariamente. No obstante, este consumo puede variar según el país, la región y los hábitos personales de consumo de agua. Es fundamental tener presente que el agua es un recurso preciado y escaso, por lo que es esencial emplearla de manera consciente y sostenible para asegurar su disponibilidad en las generaciones futuras. (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego; 2023, p. 5)

La falta de agua para la actividad agrícola en diversas regiones constituye una preocupación constante, ya que las sequías ocasionadas por las altas temperaturas tienen un impacto directo en los aspectos sociales, ambientales y económicos.

El manejo de aguas cloacales tratadas en la irrigación de cultivos es una medida efectiva para reducir o incluso eliminar los vertidos que acarrearán impactos malos en el entorno ambiental. Este enfoque de gestión se basa en la remediación y el

uso responsable de las aguas cloacales, y se integra dentro de una estrategia eficiente para administrar los recursos hídricos en una cuenca específica. Al incorporar este tratamiento en la agricultura, se puede controlar el incremento significativo de las tarifas, considerando el costo del tratamiento, lo que garantiza una mayor sostenibilidad del servicio. Además, la aceptación de esta práctica implica la responsabilidad de la comunidad en tratar sus aguas residuales utilizando tecnología adecuada, y reconociendo los beneficios que esto conlleva en la defensa de la salud y el ecosistema. (Sistema Nacional de Información Ambiental; 2017, p. 45)

En el tratamiento de aguas residuales, es crucial emplear tecnología apropiada que se ajuste a las condiciones climáticas, económicas y sociales de cada región, lo cual permite elegir el método más adecuado. En este contexto, los métodos simples y económicos de purificación del agua contaminada son especialmente importantes, ya que brindan la oportunidad a los investigadores de llevar a cabo sus esfuerzos. Uno de estos métodos es el tratamiento biológico, el cual se destaca por su bajo costo inicial, bajo consumo de energía, facilidad de gestión y a su vez no es necesario contar con personal especializado. Debido a estas características, estos métodos resultan atractivos para los investigadores que buscan encontrar alternativas más adecuadas y económicas en comparación con los métodos convencionales complejos. (Phillips, Human y Adams 2015, p. 1)

La fitorremediación es una ciencia innovadora y sostenible que aprovecha el poder de las plantas para quitar sustancias infectadas presentes en el agua. (Delgadillo-López et al. 2011, p. 1)

Dentro de las especies vegetales empleadas en la fitorremediación, se ha comprobado que la *Lemna minor* es altamente efectiva para eliminar contaminantes presentes en aguas cloacales. (Abbasi Hassan Abadi et al. 2021, p. 12)

La *Lemna minor* ha sido reconocida por su notable capacidad de acumular contaminantes. Esta planta tiene la capacidad de reducir de manera significativa tanto la DBO como la DQO en las aguas residuales. (Abbasi Hassan Abadi et al. 2021, p. 9).

Los enfoques habituales para el tratamiento de aguas negras se centran principalmente en el descenso o eliminación de la DBO, DQO y la presencia de aceites y grasas. (Sáenz 2010, p. 9)

El objeto general de esta investigación es determinar la cinética de la fitorremediación en aguas residuales utilizando *Lemna minor*. Así mismo como objetivos específicos tenemos determinar las concentraciones iniciales de los indicadores de calidad del agua residual, aplicar diferentes biomásas de *Lemna minor* en los sistemas de tratamiento para finalmente, evaluar la concentración de los indicadores del agua residual periódicamente.

## II. MARCO TEÓRICO

La especie *Lemna minor* es una de planta acuática de tamaño pequeño que pertenece a la familia *Lemnaceae*. Estas especies de *Lemna minor* se utilizan en investigaciones sobre la calidad del agua con el fin de darle seguimiento y analizar su capacidad de absorber metales pesados (Radic et al, 2010), en la actualidad, se reconocen como una opción que más favorece en el tratamiento de aguas cloacales debido a su mayor resistencia al frío en comparación con el jacinto de agua. Además, son más fáciles de recolectar que las algas y tienen la capacidad de crecer rápidamente gracias a su método de reproducción asexual por división. (Miranda, 2013, p. 5)

Según (Saha, Banerjee y Sarkar 2015, p. 13), para que la *Lemna minor* se pueda desarrollar de manera rápida y eficaz es necesario una gran cantidad de nutrientes. Debido a eso la lenteja de agua a medrado en su capacidad de erradicar velozmente los minerales que necesitan para desarrollarse y crecer del agua en la que habitan, donde habitan las lentejas de agua son capaces de consumir muchos nutrientes orgánicos y todos estos pasan a ser parte de la sustancia de las mismas, en otras palabras, viene a ser su biomasa.

En la actualidad, la fitorremediación se considera una estrategia para reducir la contaminación ambiental y valorizar las aguas residuales. A pesar de sus beneficios, existe una escasez de datos que contribuyan a mejorar la productividad de la macrofita.

(Coughlan et al, 2022, p. 6), llevó a cabo un estudio para analizar cómo los flujos físicos impactan en el crecimiento de la *Lemna minor*, y se evaluaron los efectos de diferentes caudales (0,5; 1,5; 3,0 L/min) y profundidades medias (25 mm o 50 mm). En la investigación se consideró bioenergía o biomasa como la capacidad de la *Lemna minor* para la fitorremediación. Los resultados indican que la profundidad del agua y las tasas de flujo tienen influencia en los parámetros evaluados, se observó un mejor crecimiento de *Lemna minor* a una tasa de flujo de 1,5 L/min y una profundidad de 50 mm, lo cual equivale a una velocidad de 0,0012 m/s. Esto sugiere que la velocidad del flujo de agua debe ser moderada para evitar daños

físicos en la *Lemna minor*. Cabe destacar que estos resultados pueden variar según la cantidad de nutrientes presentes en el agua residual.

Según (Zhou et al, 2023), (Xia et al, 2021), (Zhang et al, 2010, p. 1) usaron la técnica de fitorremediación con el propósito de tratar aguas contaminadas en sus investigaciones se identifica a la macrófita acuática *Lemna minor* el cual tiene la particularidad de alimentarse de los contaminantes de las aguas cloacales, obteniendo como respuesta que el pH del agua residual incremento lo cual fue indicador de una mejora en la calidad del agua, también eliminó el 14% de SST Por lo que se concluyó que dicha macrófita acuática es de gran importancia ya que disminuye la concentración de caracteres físico-químicos: DBO, DQO Y STD de las aguas servidas. Según (Arístegui, Mazuecos y Vasquez 2005), el método winkler es el más adecuado para análisis del DBO en aguas residuales, el cual se obtiene mediante la toma de muestras y preparación de incubaciones, fijación de O<sup>2</sup> y valoración de muestras.

(Hu et al, 2020), nos indica que el aprovechamiento de *Lemna minor* para tratar aguas negras ofrece una ventaja significativa en comparación con otros métodos tradicionales, como los tratamientos biológicos o físico-químicos. Este estudio abarcó el análisis de varias especies, incluyendo *Lemna minor*, *Spirodela polyrhiza* y *polygonum hydropiper*. Se llevó a cabo en el contexto del tratamiento de aguas residuales provenientes de la ganadería, y se evaluaron las eficiencias de estas plantas acuáticas. Los resultados concluyeron que estas plantas tienen la capacidad de recuperar de manera significativa el valor de las aguas contaminadas, lo que abre la posibilidad de su reutilización.

(Zetina Córdoba et al, 2009, p. 3), realizaron la investigación de la gestión de las aguas cloacales de un reactor UASB ellos usaron un sistema integrado de lenteja de agua y también estanques de estabilización en los años de 1996 y 1997. Y obtuvieron como resultados el recuento medio de coliformes fecales en el sistema de estanques de estabilización fue de 95 - 99 % lo que nos hace pensar que este tipo de tratamiento es muy eficiente. En la misma investigación se llegó a la conclusión de que *Lemna minor* logró eliminar más del 88,91% de enterococos presentes en los efluentes de aguas residuales, incluso a bajas temperaturas.



(Bokhari et al, 2016) se menciona que en el caso del parámetro DQO, el uso de *Lemna minor* demostró mejores resultados en el tratamiento de aguas servidas industriales durante los primeros 3 a 5 días. Esta indagación fue llevada a cabo en la Universidad de Khorasgan, y se observó una absorción del 76.2% como el resultado más alto, mientras que la absorción más baja fue del 11.12%.

La fitorremediación utilizando *Lemna minor* presenta diversas ventajas destacables en comparación con otras técnicas de tratamiento de aguas servidas. Principalmente, se trata de una técnica sostenible y rentable que no requiere equipos costosos ni la disposición de grandes cantidades de lodos. En segundo lugar, *Lemna minor* tiene la capacidad de eliminar una amplia variedad de contaminantes, incluyendo nutrientes, metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes. Por último, la fitorremediación utilizando *Lemna minor* demuestra que es muy eficaz en la eliminación de nutrientes y metales pesados de las aguas residuales.

En un estudio realizado por (Saha, Banerjee y Sarkar, 2015) se investigó la capacidad de fitorremediación de la planta *Lemna minor* en aguas residuales contaminadas con cloruro y sulfato. El objetivo de esta investigación fue ver la capacidad de remediación de *Lemna minor* y evaluar la calidad del agua a través de la medición los parámetros como pH, DBO, DQO y TDS. Los resultados revelaron que el pH del agua aumentó, lo que es un indicador de una mejoría en la calidad del agua. Además, se observó que *Lemna minor* logró eliminar un 30% de cloruro, un 16% de sulfato y un 14% de los TDS en un período de 21 días. Estos hallazgos sugieren que *Lemna minor* posee la capacidad de eliminar contaminantes y es efectiva para llevar a cabo la fitorremediación.

(Bokhari et al, 2016) realizó una investigación en un entorno de invernadero utilizando el sistema de hidroponía para evaluar la capacidad de *Lemna minor* en la fitorremediación de plomo, níquel, cobre y cadmio. Este estudio se realizó durante un período de 31 días, y se realizaron análisis en los días 3, 10, 17, 24 y 31 para evaluar la eficiencia de la planta en la eliminación y absorción de metales, así como el factor de bioconcentración. Los parámetros iniciales del estudio incluyeron aspectos físicos, químicos y microbiológicos. Los resultados revelaron

que el efluente principal (ME) presentaba una mayor contaminación en términos de nutrientes y carga orgánica en comparación con el efluente industrial mixto de aguas residuales (SMIE).

De los resultados que se obtuvo del estudio, se pudo decir que la planta *Lemna minor* logró acumular metales pesados, lo que condujo a la disminución de la concentración de dichos metales en las aguas servidas. La eficiencia de remoción tuvo un resultado superior al 80% de manera general para los metales estudiados, logrando remover un total del 99% para el níquel presente en el efluente industrial mixto de aguas residuales (SMIE). Se observó una gran acumulación y también de logro la absorción de plomo en la materia orgánica seca en comparación con otros metales. Los factores de bioconcentración se mantuvieron por debajo de 1000, y se encontraron valores máximos de bioconcentración para el cobre (558) y el plomo (523.1). Como resultado, se puede concluir que la planta actúa como un acumulador moderado de metales.

En la investigación desarrollada por (Abdul Aziz et al, 2020), que el estudio titulado "Fitorremediación de SST, NH<sub>3</sub>-N y DQO de aguas residuales por *Lemna minor*. L. *Salvinia* mínima, *Ipomea. aquatica* y *Centella asiática*" tuvo como objetivo evaluar la pureza del agua previo y posterior del tratamiento utilizando el método de fitorremediación con las plantas mencionadas anteriormente. Se buscó determinar el decrecimiento de los llamados SST, NH<sub>3</sub>-N y DQO en aguas residuales, así como evaluar la eficacia de estas plantas en la fitorremediación. Los resultados que se obtuvo del estudio demostraron que luego de 8 días de tratamiento con *Lemna minor*, *Salvinia. minima*, *Ipomoea. aquatica* y *Centella asiática*, se logró una reducción del contenido de sólidos suspendidos totales (SST) en un 50.8%, 77.6%, 85.6% y 67.6%, respectivamente.

En su investigación titulada "Lentejas de agua para la fitorremediación de aguas contaminadas" (Zhou et al, 2023) se propusieron resaltar las aplicaciones recientes de las llamadas lentejas de agua en la fitorremediación de los principales contaminantes del agua, como los nutrientes minerales de nitrógeno y fósforo, productos químicos orgánicos y metales pesados. En las conclusiones obtenidas, se destacó que, tanto en las investigaciones como en el ámbito empresarial, la

lenteja de agua es considerada un instrumento prometedor para la biorremediación de aguas. Esta planta acuática posee la capacidad de reducir la contaminación causada por actividades humanas en los ecosistemas acuáticos. Esto se evidencia en la cantidad de publicaciones relacionadas con la "remediación de lenteja de agua" en la base de datos de PubMed, en comparación con otras categorías enfocadas en alimentos y biocombustibles.

En un estudio realizado por (Saha, Banerjee y Sarkar, 2015), indicaron que durante la fitorremediación, hubo aumento de pH lo cual es bastante bueno para las plantas acuáticas apoyándolas en su crecimiento. Además, se afirma que el pH 6 y el pH 8 son de ayuda para el desarrollo de la *Lemna minor* así mismo se concluyó que la lenteja de agua es capaz de sobrevivir en un pH de 5 a 9, pero el pH más adecuado para su crecimiento es de 6.5 a 7.5. Se indicó que, a consecuencia del aumento del pH, también aumento la absorción de elementos. debido a esto en un inicio la planta crece y se multiplica hasta los 21 días y a partir de allí el crecimiento disminuye a medida que el tiempo pasa.

Hemos considerado el término "Fitorremediación" como un vocablo relevante para esta investigación; (Delgadillo-López et al. 2011), menciona que la fitorremediación es una cualidad de algunas variedades de plantas para absorber, almacenar y procesar a través de su metabolismo una variedad de contaminantes que están presentes en el aire, suelo o agua, incluyendo compuestos orgánicos, metales pesados e incluso productos derivados del petróleo. Por otro lado, la contaminación del agua se le llama como tal cuando se detecta la presencia de sustancias químicas u otros elementos en una concentración superior a la que se encuentra en su estado natural, lo que impide que cumpla con los parámetros requeridos para su uso en su estado original. Esta alteración puede ser causada por la presencia de microorganismos, metales pesados u otros componentes que perjudican la salud de la población y el medio ambiente que nos rodea. (Zarza Laura, 2019)

Se cree relevante conceptualizar el término cinética, Se define como cinética química al estudio de la velocidad de una reacción química, los factores que la afectan y los mecanismos de reacción.

Al hablar del orden una reacción química es muy importante estudiar experimentalmente como se halla influenciada la velocidad de reacción por la concentración de los reaccionantes, que es lo que se llama orden de la reacción. El orden de una reacción esta dado por la suma de los exponentes de las concentraciones que figuran en la expresión de la velocidad de la reacción directa.

Cinética de orden cero son aquellas en las que la concentración no influye en la velocidad de reacción, sino otros factores tal como la absorción de luz en ciertas reacciones fotoquímicas, electroquímicas y tiene por ecuación de velocidad  $v = k$

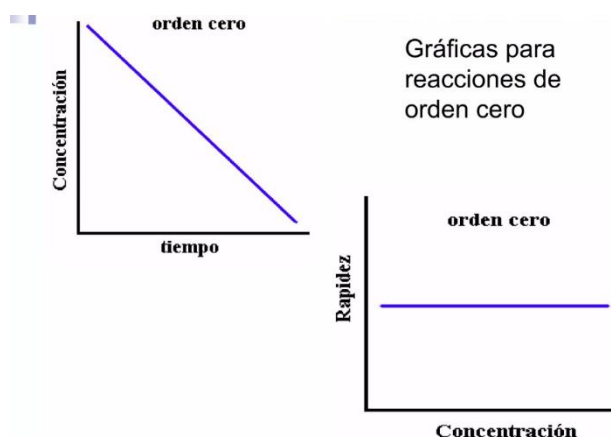


Figura 01. Gráfica de cinética de orden cero

Fuente: Scribd

La cinética de primer orden es aquella en la cual se encuentra experimentalmente que, a una temperatura dada, la velocidad de reacción es directamente proporcional a la concentración de la única sustancia reaccionante. esto puede expresarse así: para la reacción  $A \rightarrow P$ ,  $-d[A]/dt = k[A]$ ,  $V = k [A]$

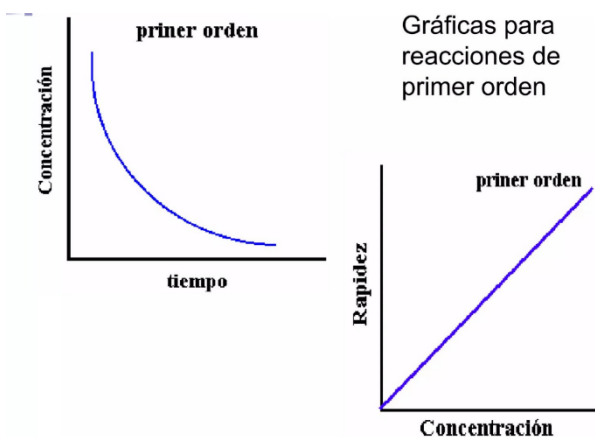


Figura 02. Gráfica de cinética de primer orden

Fuente: Scribd

La cinética de segundo orden es aquella cuya velocidad de reacción es proporcional al cuadrado de la concentración de un único reactivo o al producto de las concentraciones de dos especies de reaccionantes

en la reacción  $a \rightarrow p: v = k[a]^2$

en la reacción  $a + b \rightarrow p: v = k[a]^2$

$v = k[b]^2$

$v = k[a][b]$

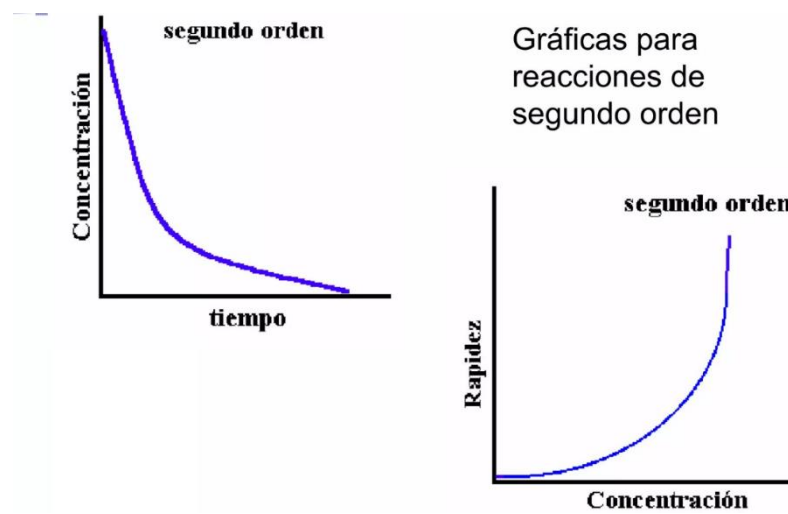


Figura 03. Gráfica de cinética de segundo orden

Fuente: Scribd

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

**3.1.1. Tipo de investigación:** La investigación fue de tipo aplicada y cuantitativa porque se obtuvieron datos reales relacionados a la calidad tanto física, química y biológica de las aguas residuales. (Neil David., et al. 2018).

**3.1.2. Diseño de investigación:** Cuasi experimental

Se denomino cuasi experimental, ya que permitió manipular las variables de manera intensional, y posteriormente se evaluó las consecuencias de las mismas sobre las variables dependientes. (Hernandez Mendoza y Duana Avila 2020)

En este contexto, la investigación se llevó a cabo mediante un diseño cuasi experimental de prueba antes de la intervención y posprueba después de la misma. Solo se evaluó un grupo de control. El proceso comenzó con el análisis del agua en el grupo de control (Día 0), y luego se procedió a la intervención con la planta acuática *Lemna minor* en muestras de 50 g, 100 g y 150 g. El objetivo fue determinar cómo esta macrofita influye en la calidad del agua y el tiempo en que logra disminuir los niveles de contaminación de las diferentes muestras en estudio.

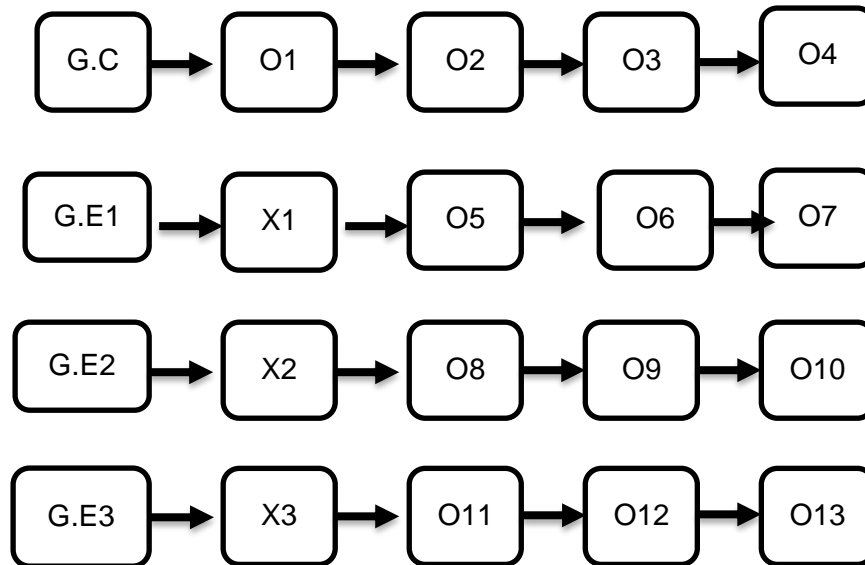


Figura 04. Diseño de la investigación cuasi experimental

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

G.C: Grupo de control

X: inserción de la macrofito *Lemna minor*

G.E1: Análisis de la muestra con 50 g de *Lemna minor*

G.E2: Análisis de la muestra con 100 g de *Lemna minor*

G.E3: Análisis de la muestra con 150 g de *Lemna minor*

### 3.2. Variable y operacionalización

Se identificaron dos variables en esta investigación:

**Variable independiente:** *Lemna minor*

**Variable dependiente:** Cinética de la Fitorremediación

### 3.3. Población, muestra y muestreo

**Población:**

Las aguas de las lagunas de oxidación del distrito de Jayanca

**Muestra:**

La muestra a trabajar fue equivalente a 50 litros de agua residual

**Muestreo:**

El muestreo fue no probabilístico por conveniencia.

**Unidad de análisis:**

La unidad de análisis fue de 500 ml de agua residual donde se analizan los efectos de la hidrófita *Lemna minor* en las propiedades microbiológicas y fisicoquímicas de las aguas servidas.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

**Técnica de recolección de datos**

Se desarrollaron diversos procesos, para recolectar información de calidad se utilizó la observación ya que esta permite elaborar datos en condiciones relativamente controladas y además puede manipular las variables de forma independiente comparando con el tema en investigación. (Ly y Siesquén, p. 8) se centró en observar situaciones y eventos existentes donde se enfocó entre las variables y la recolección de antecedentes. (Hernandez Mendoza y Duana Avila, 2020)

**Instrumento de recolección de datos:**

Se utilizaron diversos instrumentos en la recolección y tratamiento de las muestras, que se detallarán a continuación.

1. Revisión documental
2. Fichas bibliográficas ( utilizando el software Zotero)
3. Aplicación GPS (Timestamp cam).
4. Envases plásticos ámbar
5. Caja térmica de tecnopor.
6. Guantes quirúrgicos.
7. Recipientes de 500 ml



### 3.5. Procedimiento

El estudio se realizó siguiendo los siguientes pasos:

#### I ETAPA: elección del lugar para la toma de muestras

Se eligió el lugar del cual se tomó la muestra, teniendo en cuenta el fácil acceso, la distancia y las condiciones de la misma para prever el material que se iba a utilizar para la recolección de muestras.

**Tabla 1.** *Lagunas de oxidación de Jayanca, toma de muestras de estudio.*

Coordenadas UTM WGS84	Punto de control	Localización
E: 629705		
N: 9293218		
Altitud: 71 m.s.n.m		
Precisión: 3 m		

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el primer análisis del grupo de control (G.C) de las aguas servidas del distrito de Jayanca las concentraciones iniciales de la misma fueron medidos en el laboratorio de biotecnología de la Universidad César Vallejo y para los parámetros fisicoquímicos antes mencionados la muestra fue enviada a un laboratorio.

Así también, la macrófita *Lemna minor* se obtuvo en una tienda de acuarios “Galería Sarita” ubicada en el distrito de Chiclayo, adquiriendo un total de 300 g.

#### II ETAPA: elección y preparación del lugar de experimento

Se eligió el lugar del experimento teniendo en cuenta las condiciones del de lugar del que se tomó las muestras de estudio, se procedió a preparar y adecuar el sitio,

se realizaron las instalaciones de una bomba de aire para acuario con 2 salidas que posteriormente se adecuaron para 4, de tal manera que los 4 envases con las muestras se mantuvieran oxigenadas.



Figura 05. Elección y preparación del lugar de experimento

Fuente: Elaboración propia

### III ETAPA: Aplicación de la *Lemna minor*

Para este estudio de investigación, fueron utilizados 4 recipientes plásticos transparentes de una capacidad de 15 litros los cuales se llenaron a 12 litros de su capacidad con las aguas que se tomaron de las lagunas de oxidación, se procedió a titular cada uno de los cuatro recipientes con las concentraciones de la macrofita que fueron agregados en cada uno la cantidad de 50 g, 100 g, y 150 g, respectivamente de la siguiente manera: G.E1, G.E2, y G.E3; de esta manera las 13 muestras fueron analizadas en laboratorios certificados.



Figura 06. Inserción de la macrofita *Lemna minor*

Fuente: Elaboración propia.

#### **IV ETAPA: análisis en 4 tiempos de la muestra**

Se midieron las características fisicoquímicas del agua en 4 tiempos a partir de la etapa inicial siendo 0, 3, 6 y 9 los días en los que se tomó las muestras a analizar, la *Lemna minor* fue aplicada en el día inicial 0 llevando así a cabo el tratamiento de las aguas.



*Figura 07. Análisis de las muestras en laboratorio*

Fuente: Elaboración propia

#### **3.6. Método de análisis de datos**

Los datos obtenidos de la investigación fueron recopilados y procesados en la hoja de cálculo de Excel, en el cual se elaboraron cuadros y gráficos de acuerdo a las necesidades presentadas.

#### **3.7. Aspectos éticos**

Se tuvo como propósito cumplir con los estándares que amerita la investigación, teniendo en cuenta el respeto del entorno en su estado natural sin permitir ningún tipo de alteración para proteger su cuidado y preservación, las muestras obtenidas fueron trabajadas con transparencia y honestidad de manera que los análisis de los parámetros fueron medidos en un laboratorio que se encuentre de acuerdo a la exigencia de la autoridad competente.

#### IV. RESULTADOS

##### 4.1 Desarrollo de la macrófita *Lemna minor*

**Tabla 2.** Cuadro comparativo de la macrófita *Lemna minor* durante el desarrollo de los análisis con 50 g de biomasa.

Atributos	Macrófita <i>Lemna minor</i>			
	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9
Número de hojas	3	3	2	2 a 3
Tamaño de la raíz	3.5 mm	4 mm	4.5 mm	3.5 mm
Color	verde	verde	verde	verde

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2, se analizó la conducta de la planta acuática *Lemna minor* en el recipiente donde se colocó 50 g, en el proceso de depuración de las aguas servidas. Se encontró que tanto el tallo como la raíz presentaron una variación ascendente de tamaño en los días 0, 3 y 6. En el día 6, el promedio observado fue de 4.5 mm, mientras que en el día 9 se mantuvo en 4 mm. En cuanto a las hojas, se pudo observar que las macrófitas tenían entre 2 y 3 hojas. En cuanto al color, todas las hojas se mostraron verdes en todos los días.

**Tabla 3.** Cuadro comparativo de la Macrófita *Lemna minor* durante el desarrollo de los análisis con 100 g de biomasa.

Atributos	Macrófita <i>Lemna minor</i>			
	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9
Número de hojas	3	3	2	2 a 3
Tamaño de la raíz	3.5 mm	4.5 mm	4.5 mm	4 mm
Color	verde	verde	verde	Blanco y verde

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3, se analizó la conducta de la planta acuática *Lemna minor* en el recipiente donde se agregó 100 g, se evidencia que el número de hojas disminuye ligeramente a lo largo del período de observación. El tamaño de la raíz y el tallo se mantiene constante en los días 3 y 6, pero disminuye en el día 9. Además, en el día 9 se observó que un 20% del área estaba cubierta por hojas blancas aparentemente muertas.

**Tabla 4.** Cuadro comparativo de la Macrófita *Lemna minor* durante el desarrollo de los análisis con 150 g de biomasa.

Atributos	Macrófita <i>Lemna minor</i>			
	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9
Numero de hojas	3	3	2 a 3	3
Tamaño de la raíz	3.5 mm	4.5 mm	4 mm	4 mm
Color	verde	verde	Blanco y verde	Blanco y verde

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4, se analizó el comportamiento de la planta acuática *Lemna minor* en el recipiente donde se colocó 150 g. El tallo como la raíz presentaron variaciones de tamaño en los días 0, 3 y 6. En el día 6 y 9, el promedio observado fue de 4 mm, mientras que en el día 9 se mantuvo en 4mm. En cuanto a las hojas, se observó que la macrófita tenía 3 hojas durante la mayor parte del tiempo. En cuanto al color,

todas las hojas se mostraron verdes en el día 0 y 3. Sin embargo, en los días 6 y 9 se evidenció que el 30% del área estaba cubierta por hojas blancas, las cuales aparentemente están muertas.

#### 4.2. Resultados de laboratorio

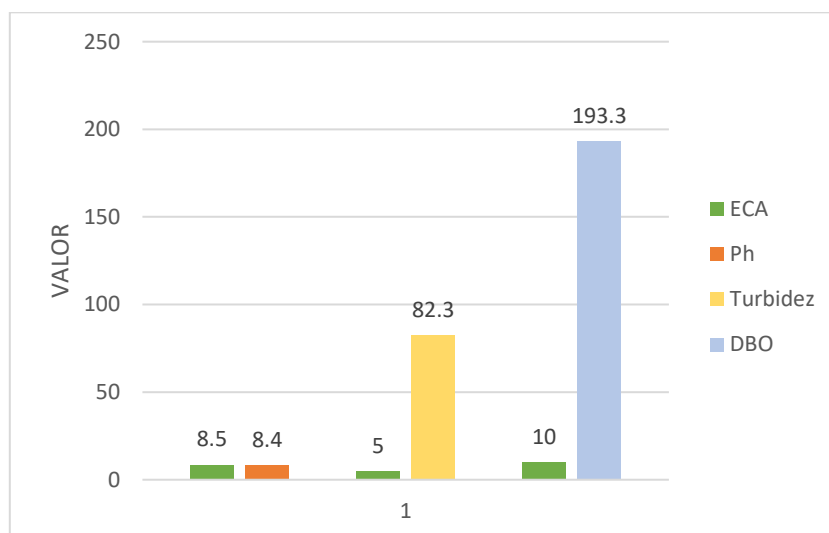


Figura 08. Resultados de los parámetros físico-químicos de la muestra inicial.

Fuente: Elaboración propia.

Según se indica en el D.S.N°004-2017-MINAN, en la figura 08, se presenta una comparativa entre los análisis iniciales y los estándares de calidad ambiental correspondientes a la categoría 4.

#### 4.2.2 Resultados de análisis de pH

En la figura 09 se puede observar la evolución del pH de grupo de control durante todo el proceso del desarrollo de la investigación.

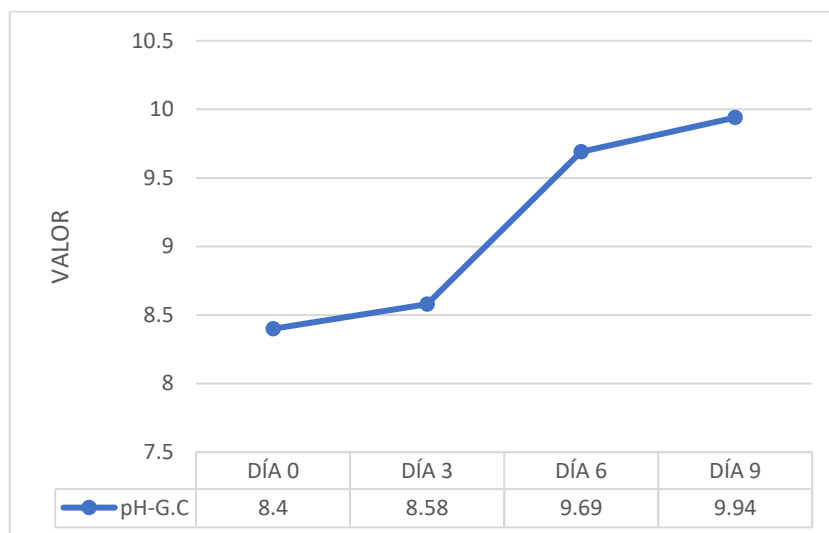


Figura 09. Mediciones de pH en el G.C.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo representado en la figura 09, se evidencia una tendencia al alza en el gráfico hasta el noveno día, indicando un ambiente más propicio para el crecimiento de las macrófitas. Esta progresión positiva sugiere condiciones favorables que contribuyen al desarrollo óptimo de las plantas acuáticas. (Saha, Banerjee y Sarkar 2015)

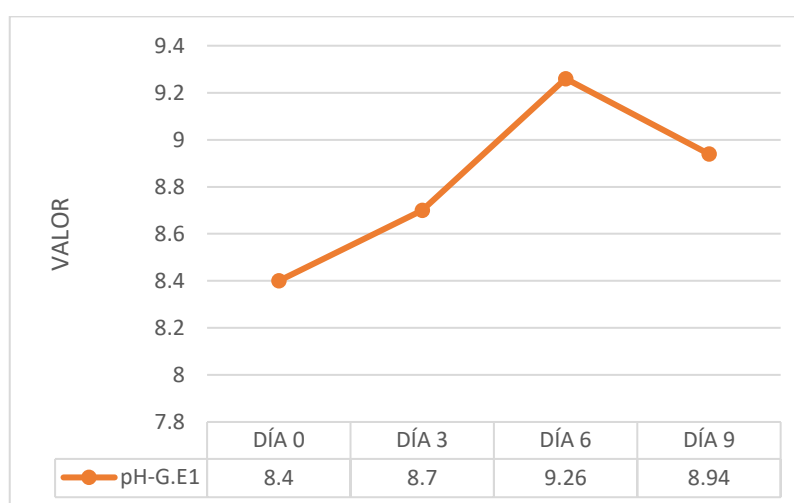


Figura 10. Mediciones de pH en el G.E1.

Fuente: Elaboración propia.

Al examinar la figura 10, se observa que los niveles de pH se mantienen consistentemente dentro del intervalo necesario para facilitar un desarrollo óptimo de la macrofita. Esta estabilidad en los valores de pH sugiere un entorno propicio que favorece las condiciones ideales para el crecimiento saludable y adecuado de la planta acuática.

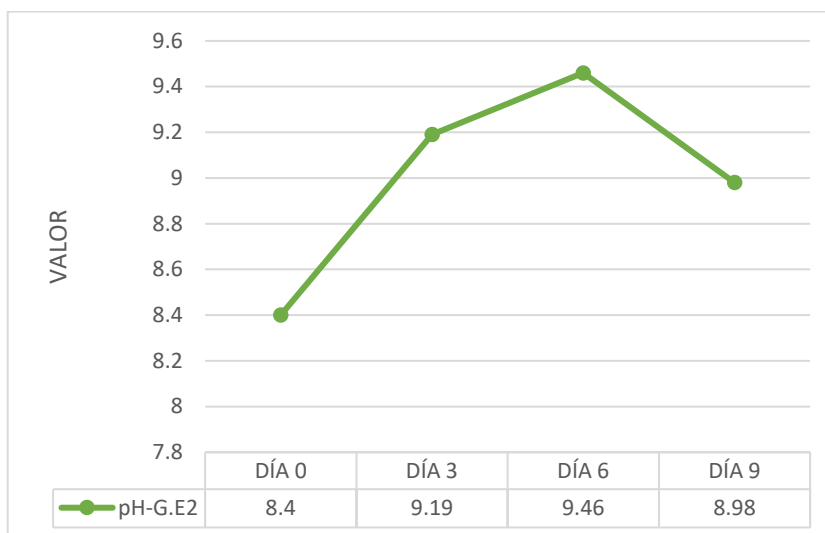


Figura 11. Mediciones de pH en el G.E2.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la observación detallada en la figura 11, se aprecia un incremento progresivo del pH hasta el sexto día, seguido de una ligera disminución hasta alcanzar 8.98 en la escala de medición de pH el día 9. A pesar de este descenso, los valores se mantienen dentro del rango óptimo requerido para el desarrollo de la macrofita *Lemna minor*, indicando condiciones ambientales favorables para su crecimiento.



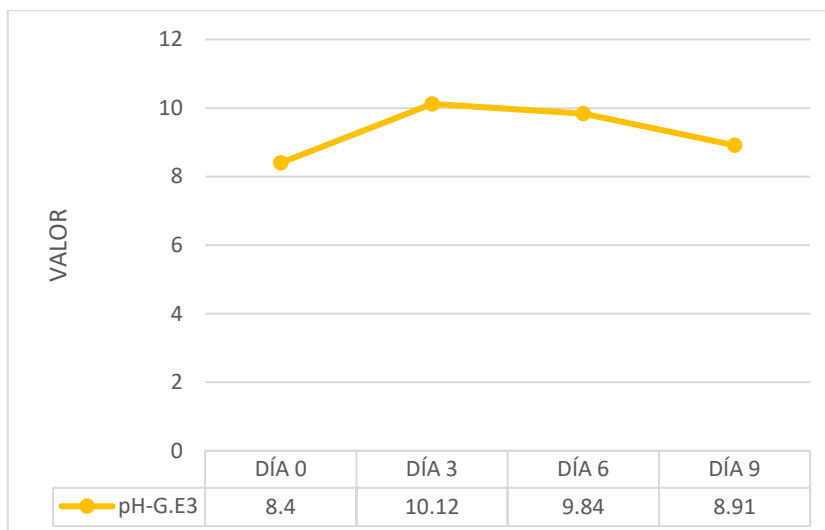


Figura 12. Mediciones de pH en el G.E3.

Fuente: Elaboración propia.

Según se observa en la figura 12 el pH se mantiene entre 8 y 10 de la unidad de medida del pH, lo cual es un buen indicador del desarrollo de la macrófita.

A continuación, se presenta la figura comparativa de todos los resultados de pH obtenidos durante todo el desarrollo de la investigación.

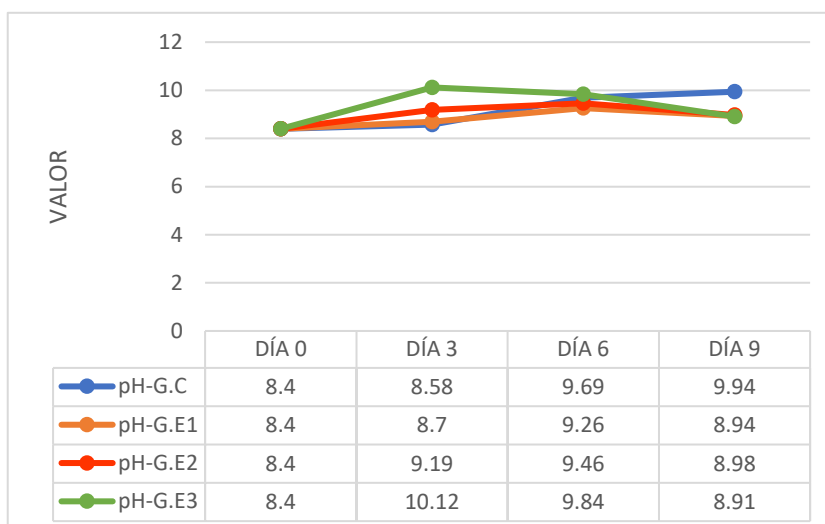


Figura 13. Cotejo de mediciones de los análisis de pH

Fuente: Elaboración propia.

La tabla de gráficos lineales presenta una evaluación detallada de los resultados obtenidos en relación con el parámetro del pH y su impacto en el desarrollo de la macrofita *Lemna minor*. En este análisis, se observó una notable similitud en los

patrones de los gráficos a lo largo del tiempo, revelando consistencia en los niveles de pH registrados. Los datos revelaron una tendencia general de pH que contribuyó positivamente al ambiente propicio para el desarrollo de la macrofitas. A medida que se avanzó, se identifica una coherencia en mantener los valores de pH dentro del rango óptimo necesario para el crecimiento saludable de la macrofitas. Esta uniformidad en los resultados sugirió estabilidad en las condiciones ambientales evaluadas, respaldando la conclusión de que los niveles de pH se mantuvieron consistentemente beneficiosos para el desarrollo de la macrofitas *Lemna minor*.

#### Resultados de las mediciones de turbidez

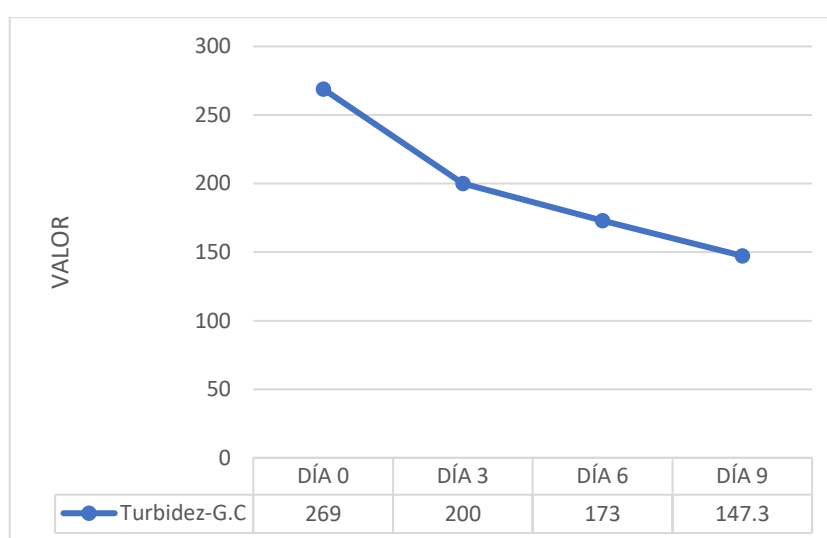


Figura 14. Mediciones de turbidez en el G.C

Fuente: Elaboración propia.

En los análisis mostrados en la figura 14, se observa una reducción significativa en la turbidez del agua residual a lo largo del período de estudio de nueve días. Inicialmente, la turbidez era de 269 unidades nefelométricas (NTU), pero al cabo del noveno día disminuyó a 147.3 NTU. Este descenso en la turbidez puede atribuirse, en parte, a la influencia de procesos como la sedimentación, donde las partículas suspendidas más pesadas tienden a asentarse debido a la gravedad.

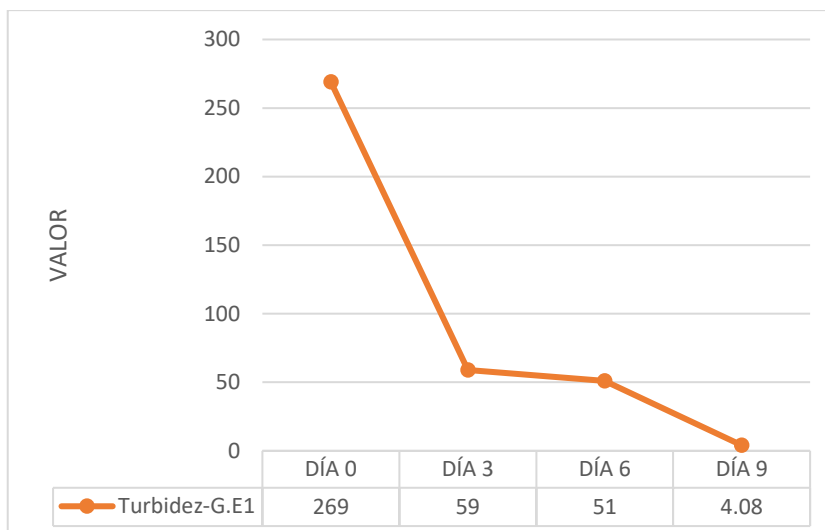
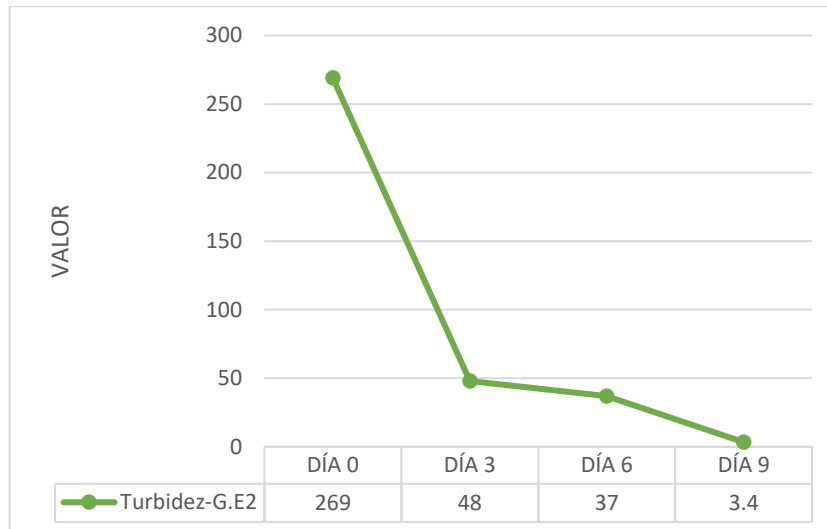


Figura 15. Mediciones de turbidez en el G.E1

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 15, se muestra un gráfico que muestra la significativa disminución de la turbidez en el G.E1, demostrando un descenso notable desde el día 0 hasta el día 3. Posteriormente, se observó una continuación del descenso, aunque a un ritmo menor. Es importante señalar que en el recipiente de donde se obtuvo esta muestra se habían añadido previamente 50 gramos de *Lemna minor* como medida de fitorremediación. Estos resultados positivos fueron obtenidos mediante la aplicación de fitorremediación con *Lemna minor*, lo que sugiere la efectividad de esta medida para reducir las partículas suspendidas y mejorar sustancialmente la calidad del agua. La representación gráfica muestra una clara tendencia descendente, destacando la mejora continua a lo largo del periodo de análisis.



*Figura 16.* Mediciones de turbidez en el G.E2

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 16, se presenta un gráfico que ilustra la notable disminución de la turbidez en el G.E2, evidenciando una marcada reducción desde el inicio hasta el tercer día. Posteriormente, se observó una continuación de la disminución, aunque a una velocidad menor. Es relevante mencionar que en el recipiente de origen de esta muestra se incorporaron previamente 100 gramos de *Lemna minor* como medida de fitorremediación. Estos resultados alentadores se lograron mediante la aplicación de fitorremediación con *Lemna minor*, indicando la eficacia de esta estrategia para reducir las partículas suspendidas y mejorar significativamente la calidad del agua. La representación gráfica exhibe una clara tendencia descendente, resaltando la mejora constante a lo largo del período de análisis.

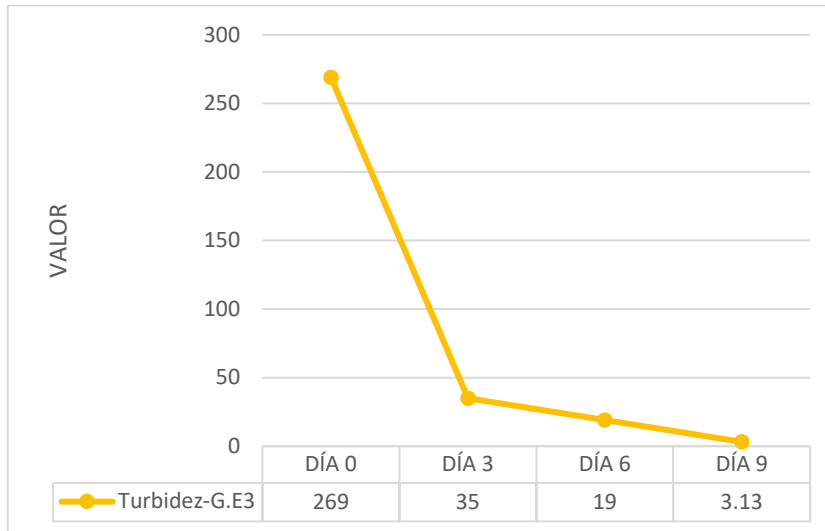


Figura 17. Mediciones de turbidez en el G.E3

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 17, se observó una mejora progresiva en la calidad del agua medida por la turbidez, aplicando fitorremediación con *Lemna minor*. Inicialmente, el agua presentaba una alta turbidez de 269 NTU en el día 0. Tras la adición de 150 gramos de *Lemna minor*, se registraron reducciones notables en la turbidez: 35 NTU en el día 3, 19 NTU en el día 6 y finalmente, un valor extremadamente bajo de 3.13 NTU en el día 9. Estos resultados indican la eficacia continua de la fitorremediación, respaldando su utilidad para reducir las partículas suspendidas y mejorar significativamente la calidad del agua a lo largo del estudio.

A continuación, se presenta la tabla 18 comparativa de todos los resultados de la turbidez obtenidos durante todo el desarrollo de la investigación.

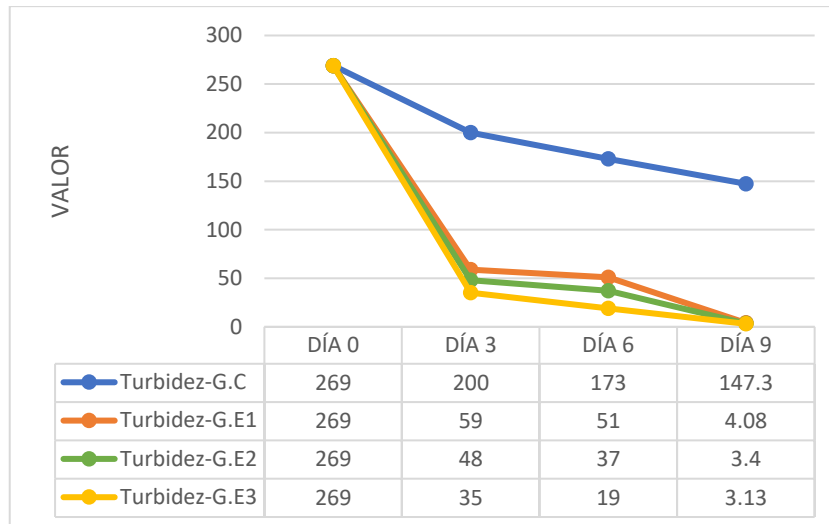


Figura 18. Cotejo de resultados de los análisis de turbidez

Fuente: Elaboración propia.

En términos generales, se observó una reducción significativa de la turbidez a lo largo del estudio, tanto en los grupos de control (G.C) como en los grupos de estudio tratados (G.E1, G.E2 y G.E3). Los grupos de estudio, G.E1, G.E2 y G.E3, sometidas a fitorremediación con la adición de *Lemna minor*, exhibieron notables reducciones en la turbidez. Específicamente, el G.E3 destacó al pasar de 269 a 3.13 NTU, resaltando la eficacia significativa de la fitorremediación. La aplicación de 150 gramos de *Lemna minor* como medida de fitorremediación resultó en mejoras sustanciales en la calidad del agua por encima de los demás grupos de estudio, evidenciadas por disminuciones significativas en la turbidez. En resumen, la fitorremediación con *Lemna minor* se mostró como una estrategia altamente efectiva para reducir la turbidez en aguas contaminadas, destacando su potencial para mejorar la calidad del agua en diferentes entornos acuáticos.

#### 4.2.3 Resultados de las mediciones de la DBO

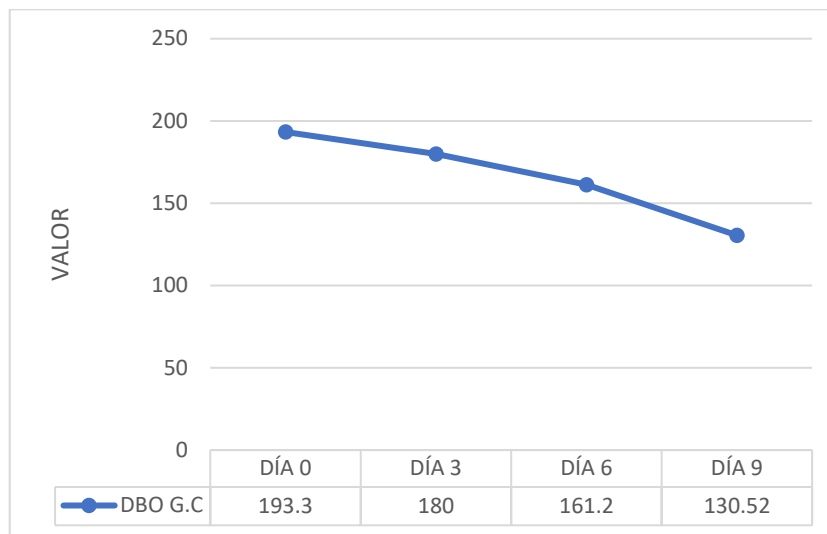


Figura 19. Mediciones de la DBO en el G.C

Fuente: Elaboración propia.

La interpretación de los resultados revela un descenso significativo en la DBO de 193.3 mg/L a 130.52 mg/L en un periodo de 9 días. Este descenso sugiere que los microorganismos presentes en las muestras están descomponiendo y consumiendo la materia orgánica, lo que conlleva a una disminución en la demanda de oxígeno. La explicación proporcionada apunta a que los microorganismos presentes en las muestras están utilizando los nutrientes disponibles como fuente de alimento durante el proceso de descomposición. Es importante destacar que en este caso no se aplicó ningún tipo de fitorremediación, lo que sugiere que la mejora en la calidad del agua se debe principalmente a los procesos biológicos naturales.

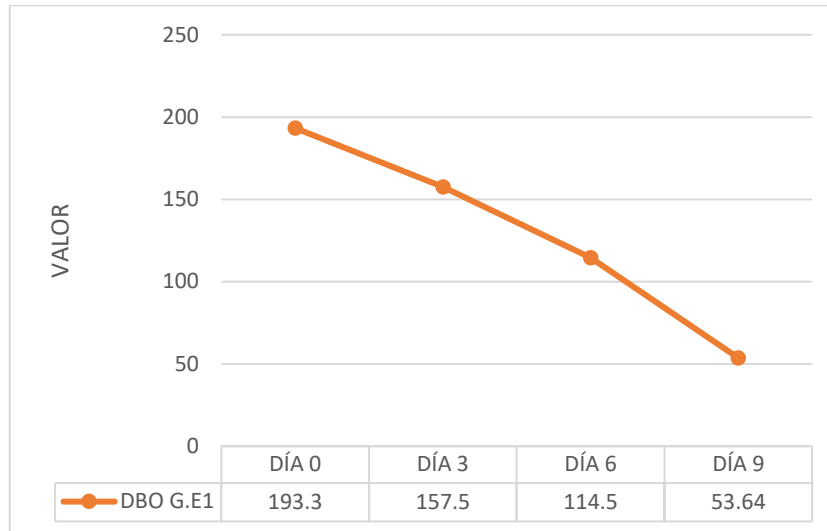


Figura 20. Mediciones de la DBO en el G.E1

Fuente: Elaboración propia.

La interpretación de los resultados del G.E1 revela un marcado descenso en la DBO desde 193.3 mg/L hasta 53.64 mg/L, en un período de 9 días. Este significativo descenso en la DBO sugiere una eficaz reducción en la carga de materia orgánica presente en las muestras analizadas.

La aplicación de 50 gramos de *Lemna minor* en este grupo tuvo un impacto positivo en la calidad del agua, ya que se observa una disminución sustancial en la DBO. La *Lemna minor*, utilizada como método de fitorremediación, contribuyó a la absorción, remoción de nutrientes y materia orgánica, mejorando así la calidad del agua.

Este resultado sugiere que la fitorremediación con *Lemna minor* fue exitosa en la reducción de la carga orgánica, demostrando su eficacia como medida para mejorar la calidad del agua en el grupo de estudio. La duración del proceso durante 9 días proporciona información valiosa sobre el tiempo necesario para lograr cambios significativos en la DBO mediante el uso de *Lemna minor*.



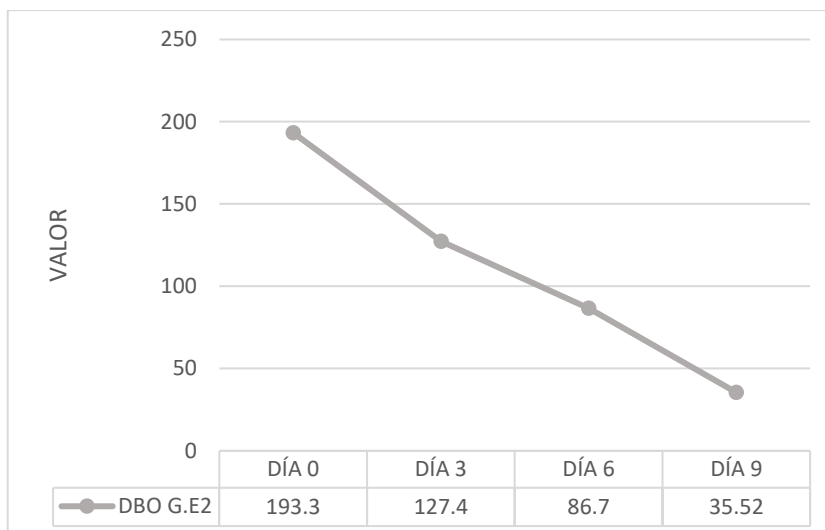


Figura 21. Mediciones de la DBO en el G.E2

Fuente: Elaboración propia.

La aplicación de 100 gramos de *Lemna minor* en este grupo de estudio tuvo un impacto positivo en la calidad del agua, ya que se observa una disminución sustancial en la DBO. La *Lemna minor*, utilizada como método de fitorremediación, contribuyó a la absorción, remoción de nutrientes y materia orgánica, mejorando así la calidad del agua comparando con grupos de estudio anteriores.

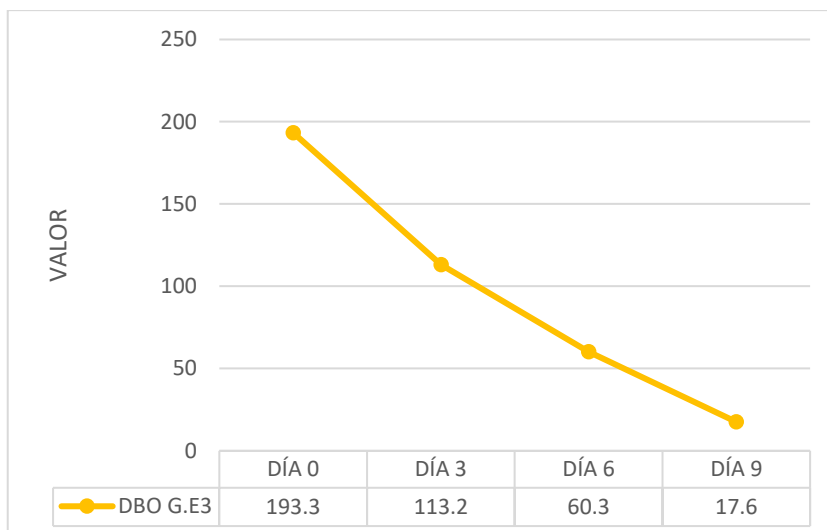


Figura 22. Mediciones de la DBO en el G.E3

Fuente: Elaboración propia.

La introducción de 150 gramos de *Lemna minor* en este grupo de estudio generó un efecto positivo en la calidad del agua, evidenciado por una notable reducción en la DBO. La *Lemna minor*, empleada como estrategia de fitorremediación, participó activamente en la absorción, eliminación de nutrientes y materia orgánica, resultando en una mejora significativa en la calidad del agua en comparación con los conjuntos de estudio previos.

A continuación, se presenta la tabla comparativa de todos los resultados de DBO obtenidos durante todo el desarrollo de la investigación.

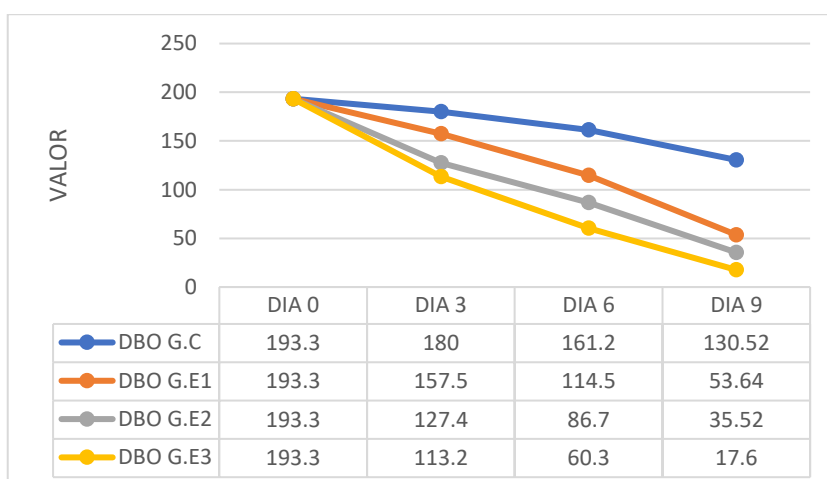


Figura 23. Cotejo de los análisis de la DBO

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la tabla muestran la evolución de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en agua residual durante 9 días con la aplicación de *Lemna minor* para fitorremediación. En el grupo de control (G.C), se observa una disminución moderada en la DBO, atribuible a procesos naturales. En contraste, con los grupos estudiados (G.E1, G.E2 y G.E3) experimentan reducciones significativas, siendo el G.E3 especialmente destacada con una pronunciada reducción de 193.3 mg/L a 17.6 mg/L en el día 9. En general, la aplicación de *Lemna minor* demuestra ser una estrategia efectiva para reducir la carga orgánica en agua residual, evidenciando mejoras sustanciales en la calidad del agua.

#### 4.2.1. Cinética de la *Lemna minor*

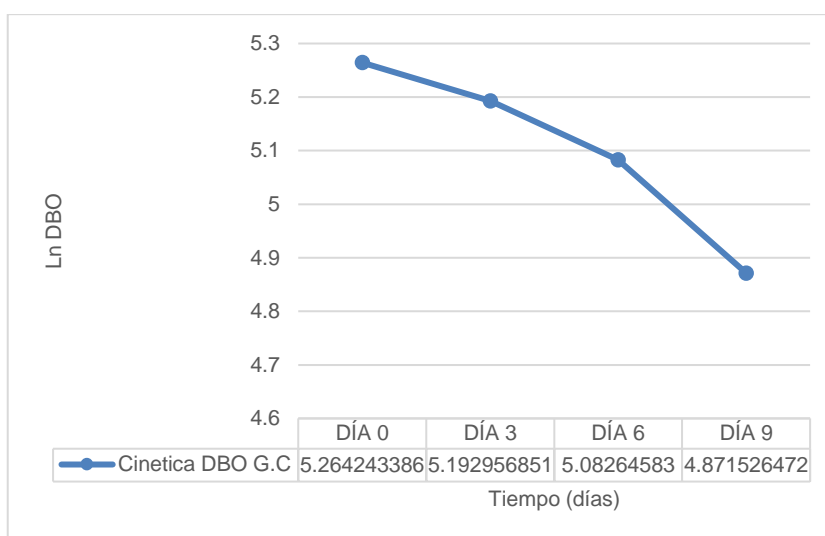


Figura 24. Cinética en el G.C

Fuente: Elaboración propia.

En el G.C no se llevó a cabo ningún tipo de tratamiento, donde se observó que la cinética de la fitorremediación también se aplica, pero de una forma menor comparada con muestras donde sí se aplicó la macrofitas. En el G.C, donde no se añadió *Lemna minor*, las concentraciones entre diferentes momentos indican una tendencia decreciente, consistente con una cinética química de primer orden. La leve disminución en las razones sugiere una velocidad de reacción constante en los primeros días, seguida de una disminución gradual en la velocidad a medida que progresa el tiempo. Esto podría indicar que la reacción está alcanzando su estado final o que la velocidad de reacción está disminuyendo.

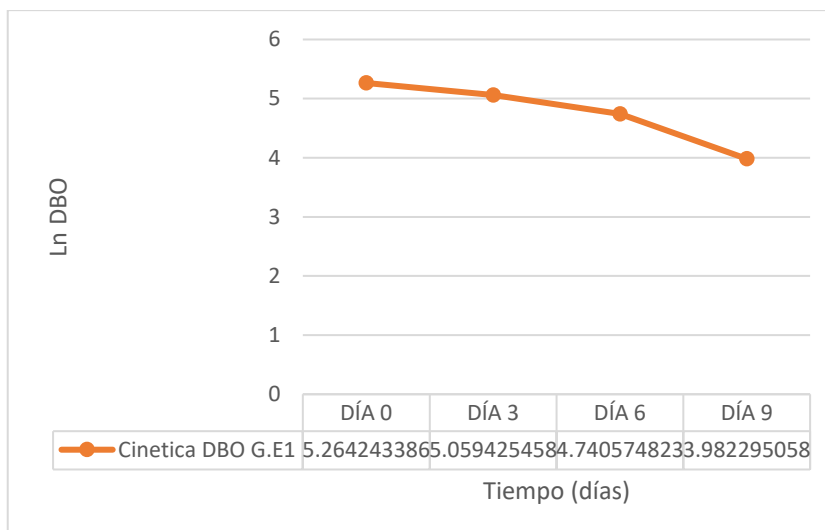


Figura 25. Cinética en el G.E1

Fuente: Elaboración propia.

En el G.E1, donde se añadieron 50 gramos de *Lemna minor* como fitorremediadora, las razones de concentración también indican una cinética química de primer orden. La disminución constante en las razones sugiere una velocidad de reacción constante en los primeros días, seguida de una disminución en la velocidad a medida que avanza el tiempo. La adición de *Lemna minor* parece influir en la cinética, y la velocidad de reacción podría estar relacionada con la capacidad de fitorremediación de esta planta acuática.

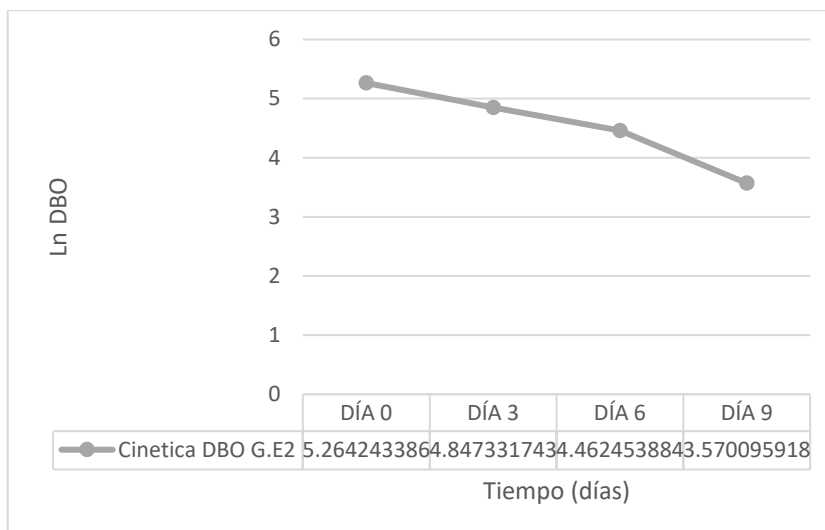


Figura 26. Cinética en el G.E2

Fuente: Elaboración propia.

En el G.E2, donde se incorporaron 100 gramos de *Lemna minor* como agente fitorremediadora, las razones de concentración también señalan una cinética química de primer orden. La disminución constante en estas razones sugiere una velocidad de reacción constante en los primeros días, seguida de una reducción en la velocidad a medida que transcurre el tiempo. La inclusión de *Lemna minor* parece ejercer influencia sobre la cinética, y la velocidad de reacción está vinculada a la eficacia de esta planta acuática en procesos de fitorremediación.

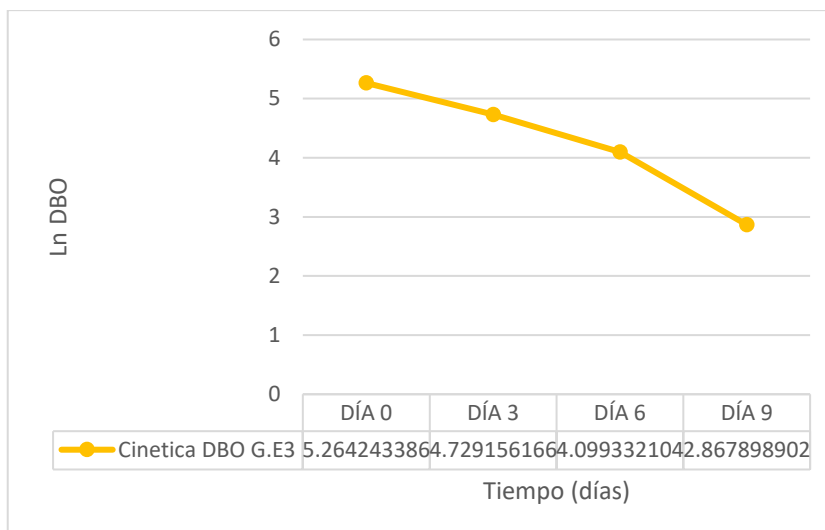


Figura 27. Cinética en el G.E3

Fuente: Elaboración propia.

En el G.E3, donde se introdujeron 150 gramos de *Lemna minor* como fitorremediadora, las razones de concentración también indican una cinética química de primer orden. La disminución constante en estas razones sugiere una velocidad de reacción constante durante los primeros días, seguida de una reducción en la velocidad a medida que avanza el tiempo. La incorporación de *Lemna minor* parece tener un impacto en la cinética, y la velocidad de reacción podría estar ligada a la eficacia de esta planta acuática en los procesos de fitorremediación.

A continuación, en la figura 28 se muestra el cotejo de los resultados de la cinética de la *Lemna minor* en el G.C, G.E1, G.E2 y G.E3, en los días 0 al 9.

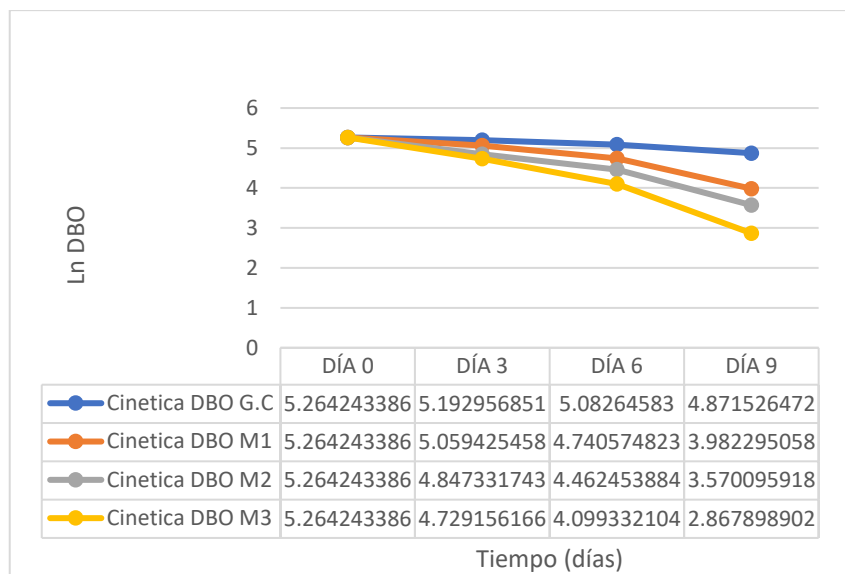


Figura 28. Cinética de evolución según los resultados obtenidos

Fuente: Elaboración propia.

Tras representar gráficamente la evolución de la concentración en función del tiempo utilizando la ecuación del primer orden, se evidencia una notable consistencia en las tendencias de todas las curvas. Este patrón uniforme respalda la conclusión de que la cinética de la reacción en estudio sigue un modelo de primer orden. Además, cabe destacar que la presencia y cantidad de *Lemna minor* emergen como factores determinantes que inciden directamente en la cinética de la DBO. Este hallazgo sugiere que la influencia de *Lemna minor* no solo es apreciable, sino que desencadena cambios significativos en la dinámica de la reacción, añadiendo una dimensión importante al entendimiento de su comportamiento cinético.

## V. DISCUSIÓN

De acuerdo con el objetivo general de la investigación, los resultados cinéticos indicaron una tendencia descendente. Se observó que el grupo de control experimentó una disminución leve en comparación con los grupos G.E1, G.E2 y G.E3. Esto se debió a la ausencia de tratamiento en el grupo de control. Por otro lado, los grupos G.E1, G.E2 y G.E3 mostraron un descenso más marcado y significativo con tendencias similares. En este contexto, se destacó que el grupo G.E3, en particular, exhibió resultados superiores en términos de DBO y turbidez en comparación con los demás grupos. En consecuencia, las mediciones de pH registraron variaciones entre 8.4 y 10.12 en los grupos G.E1, G.E2 y G.E3, lo cual contribuyó positivamente al desarrollo adecuado de la macrofitas.

Según (Saha, Banerjee y Sarkar 2015), estos a su vez demuestran un cambio significativo en la calidad del agua residual dejando un cambio notable en los grupos de estudio comparando el antes y después de ser aplicada el tratamiento a las aguas residuales de las lagunas de oxidación del distrito de Jayanca; de acuerdo a la tabulación de datos se evidenciaron diferencias significativas en varios de los parámetros físico entre el grupo de control con el G.E1, G.E2 y G.E3 respectivamente en este sentido la DBO, pH y turbidez.

Además, en los análisis iniciales del día 0, se determinó que los niveles de contaminación para los parámetros DBO y turbidez superaban los Estándares de Calidad Ambiental (categoría 4), excepto el pH, que se encontraba dentro de los ECA con una medida de 8.4. Sin embargo, a lo largo de la duración del estudio, todos los parámetros se mantuvieron en rangos normales. En la G.E3, se observó una reducción significativa de los niveles de concentración en los parámetros estudiados, lo cual indica una mayor efectividad respecto a la biomasa la *Lemna minor*.

Resultados que tienen sustento en el estudio de (El-kheir, et al; 2007); se sostiene que el crecimiento óptimo y eficiente de la *Lemna minor* requiere de un entorno acuático enriquecido con nutrientes. En este contexto, las aguas residuales se identifican como condiciones propicias para el desarrollo vigoroso de esta planta acuática, al mismo tiempo que desempeña un papel significativo como agente



remediador en su hábitat. En consecuencia, se destaca la capacidad de las aguas residuales para proporcionar los elementos nutricionales esenciales que favorecen el rápido y eficaz desarrollo de la *Lemna minor*, contribuyendo así a la mejora de la calidad ambiental en su entorno natural.

(Zhou et al. 2023), (Xia et al. 2021), (Zhang et al. 2010), se empleó la *Lemna minor* como agente fitorremediadora para tratar las aguas contaminadas, observándose un rápido aumento en el pH. Este incremento, a su vez, fue interpretado como un indicador de mejora en la calidad del agua, proporcionando un entorno propicio para el florecimiento de la macrofita. Posteriormente, con base en los resultados de los análisis de la DBO, DQO y STD, se constató una reducción significativa en sus concentraciones. En consecuencia, se concluyó que la *Lemna minor* desempeñó un papel de gran relevancia en el proceso de fitorremediación.

Asimismo, estas pruebas son respaldadas por la investigación realizada por (Gualán Medina, 2016) quien llega a la conclusión de que la lenteja de agua (*Lemna minor*) presenta efectos significativos de descontaminación de hasta el 81% después de 21 días de tratamiento de aguas residuales. En una línea similar, (García Rojas; 2021); Indica que en el pasado, la *Lemna minor* demostró una mayor eficacia en la eliminación de metales pesados, tales como el mercurio, así como en la reducción de la DBO. En virtud de estos resultados, se recomendó su aplicación en la restauración de aguas afectadas por componentes físicos, químicos y biológicos.

Respecto al primer objetivo específico, se procedió a examinar el agua residual en el día 0, obteniendo los resultados correspondientes a la muestra inicial para todos los parámetros estudiados. En dicha evaluación, se observó un exceso significativo de concentración en los parámetros de DBO y turbidez, superando los ECA. Sin embargo, cabe destacar que el pH se situó dentro de los límites establecidos por los ECA, con una mínima diferencia de 0.1.

Así pues, en el segundo objetivo, se detalló el comportamiento de la macrofita *Lemna minor* mediante la tabulación de los resultados en una tabla. En dicha tabla, se evidencia que en los grupos G.E, G.E2 y G.E3, donde se aplicaron cantidades de 50 g, 100 g y 150 g respectivamente, la velocidad más alta en el proceso de

fitorremediación se registró en la G.E3. En este caso, se agregaron 150 g de la macrofita, lo que resalta la influencia directa de la biomasa aplicada en los resultados observados.

En relación al tercer objetivo específico, se llevaron a cabo análisis a lo largo de un intervalo de tiempo que comprendió los días 0, 3, 6 y 9. En estos días, se recopilaron muestras que posteriormente fueron sometidas a análisis de laboratorio. Como resultado, se observó una disminución notable en las muestras tratadas con *Lemna minor* en comparación con el grupo de control (G.C), que no recibió ningún tratamiento. Los intervalos de tiempo seleccionados fueron determinados por los investigadores tomando como referencia un estudio previo (Bokhari et al. 2016), el cual abarcó un periodo de 31 días con intervalos de 3, 10, 17, 24 y 31 días. Este estudio previo permitió determinar la eficacia de la macrofita en la absorción de metales pesados, así como en aspectos físicos y químicos.

Por consecuencia, se logró determinar que la macrofita presenta una respuesta eficaz al tratamiento desde el día 3, ya que la misma se comportó de manera favorable según los resultados obtenidos hasta el día 9 donde el DBO aún seguía disminuyendo lo cual demuestra que sus propiedades fitorremediadoras se mantenían activas, por lo mismo que se puede hablar que la macrofita puede disminuir más los niveles de concentración de la DBO y turbidez.

Los resultados contrastantes se encuentran en el estudio de (Pérez, 2017), quien identificó en los efluentes industriales Cotexsur de Lurín una relación inversa entre los parámetros DBO, DQO y SST, y el tiempo de tratamiento. Este hallazgo indica que, al prolongar el tiempo de contacto, se reduce la concentración de estos parámetros. A diferencia de este proceso, los autores aplicaron tres dosis de la planta acuática *Lemna minor* (100gr, 200gr y 300gr) con un tiempo de retención constante de 10 días. En cuanto al DBO, se observa una mayor eliminación a los 10 días con la dosis de 100gr y a los 6 días con la dosis de 200gr, a diferencia de lo observado en el proceso convencional.

## VI. CONCLUSIONES

1. De acuerdo con los resultados obtenidos, al representar gráficamente los datos mediante el uso de la ecuación de primer orden, se observó que todas las gráficas siguen una tendencia descendente similar. A partir de esta observación, se concluye que la cinética de la reacción asociada a la fitorremediación utilizando *Lemna minor* es de primer orden.
2. Se concluye que una mayor concentración de la planta acuática *Lemna minor* tiene un impacto más notable en el tratamiento de aguas residuales en las lagunas de oxidación del distrito de Jayanca. Específicamente, se observa que las muestras de 150 gramos muestran efectos más positivos en los parámetros físico-químicos en comparación con las muestras de menor concentración.
3. Durante la investigación, se encontró que las concentraciones iniciales de los parámetros estudiados estaban por encima de los ECA. Al aplicar diferentes cantidades de la macrofitas, se determinó que la biomasa influye directamente en el proceso de fitorremediación, reduciendo el tiempo necesario para completarlo.

## VII. RECOMENDACIONES

1. Se propone la utilización de la planta acuática *Lemna minor* para llevar a cabo la purificación de las aguas residuales en las lagunas de oxidación del distrito de Jayanca, respaldándose en evidencia recopilada. Esta recomendación tiene como objetivo principal fomentar la sostenibilidad, aprovechando la facilidad de manipulación y acceso que ofrece esta macrofita.
2. Se recomienda que antes de aplicar la macrofita en cualquier tratamiento de aguas, realizar un análisis a pequeña escala para poder calcular el tiempo de fitorremediación y la cantidad de macrofita adecuada para aplicar.
3. Realizar un programa de concientización en los locales que generan mayores efluentes con el fin de mostrar las consecuencias de desechar productos nocivos en las aguas residuales.
4. Se sugiere que en los próximos estudios se tomen las muestras a analizar con mayor intervalo de tiempo dando lugar a resultados más notables a la hora de tabular.

## REFERENCIAS

ABBASI HASSAN ABADI, S., NAJAFI, P., BAHARLOUEI, J. y MOHAMMADI GHAHSAREH, A., 2021. Evaluation of Lemna minor and cyanobacteria effect in aerated and non-aerated conditions on biological oxygen demand (BOD), dissolved chemical oxygen (COD), total coliform and faecal coliform of municipal and industrial wastewater. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, ISSN 0306-7319, 1029-0397. DOI 10.1080/03067319.2021.1933463. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/352436694\\_Evaluation\\_of\\_lemna\\_minor\\_and\\_cyanobacteria\\_effect\\_in\\_aerated\\_and\\_non-aerated\\_conditions\\_on\\_biological\\_oxygen\\_demand\\_BODdissolved\\_chemical\\_oxygen\\_CODtotal\\_coliform\\_and\\_faecal\\_coliform\\_of\\_municipal\\_and](https://www.researchgate.net/publication/352436694_Evaluation_of_lemna_minor_and_cyanobacteria_effect_in_aerated_and_non-aerated_conditions_on_biological_oxygen_demand_BODdissolved_chemical_oxygen_CODtotal_coliform_and_faecal_coliform_of_municipal_and)

ABDUL AZIZ, N.I.H., MOHD HANAFIAH, M., HALIM, N.H. y FIDRI, P.A.S., 2020. Phytoremediation of TSS, NH<sub>3</sub>-N and COD from Sewage Wastewater by Lemna minor L., Salvinia minima, Ipomea aquatica and Centella asiatica. Applied Sciences, vol. 10, no. 16, ISSN 2076-3417. DOI 10.3390/app10165397. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/16/5397>

ARÍSTEGUI, P., MAZUECOS y VASQUEZ, 2012. Medida de la respiración mediante cambios in vitro de la concentración de O<sub>2</sub>. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10261/90505>

Assessment of the Efficiency of Duckweed (Lemna gibba) in Wastewater Treatment | Request PDF. ResearchGate [en línea], [sin fecha]. [consulta: 25 noviembre 2023]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/251973008\\_Assessment\\_of\\_the\\_Efficiency\\_of\\_Duckweed\\_Lemna\\_gibba\\_in\\_Wastewater\\_Treatment](https://www.researchgate.net/publication/251973008_Assessment_of_the_Efficiency_of_Duckweed_Lemna_gibba_in_Wastewater_Treatment)

BOKHARI, S.H., AHMAD, I., MAHMOOD-UL-HASSAN, M. y MOHAMMAD, A., 2016. Phytoremediation potential of Lemna minor L. for heavy metals. International Journal of Phytoremediation, vol. 18, no. 1, ISSN 1522-6514, 1549-7879. DOI 10.1080/15226514.2015.1058331. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/289534032\\_Phytoremediation\\_potential\\_of\\_Lemna\\_minor\\_L\\_for\\_heavy\\_metals](https://www.researchgate.net/publication/289534032_Phytoremediation_potential_of_Lemna_minor_L_for_heavy_metals)

COUGHLAN, N.E., WALSH, É., AHERN, R., BURNELL, G., O'MAHONEY, R., KUEHNHOLD, H. y JANSEN, M.A.K., 2022. Flow Rate and Water Depth Alters Biomass Production and Phytoremediation Capacity of *Lemna minor*. *Plants*, vol. 11, no. 16, ISSN 2223-7747. DOI 10.3390/plants11162170. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/plants11162170>

DELGADILLO-LÓPEZ, A.E., GONZÁLEZ-RAMÍREZ, C.A., PRIETO-GARCÍA, F., VILLAGÓMEZ-IBARRA, J.R. y ACEVEDO-SANDOVAL, O., 2011. FITORREMEDIACIÓN: UNA ALTERNATIVA PARA ELIMINAR LA CONTAMINACIÓN. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93918231023>

GARCIA ROJAS, B.F., 2021. Evaluación de la eficiencia de *Phragmites australis* (Carrizo común) y *Lemna minor* (Lenteja de agua) en la disminución de dureza total del agua, distrito de Chocope – Ascope, 2021. En: Accepted: 2022-06-16T16:22:40Z, Repositorio - UNSM [en línea], [consulta: 25 noviembre 2023]. Disponible en: <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/4393>

GUALÁN MEDINA, S.D., 2016. Evaluación del pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) y lenteja de agua (*Lemna minor*) como especies fitorremediadoras para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Chicaña, provincia de Zamora Chinchipe [en línea]. bachelorThesis. S.l.: s.n. [consulta: 25 noviembre 2023]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/14140>

HERNANDEZ MENDOZA, S. y DUANA AVILA, D., 2020. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. *Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA*, vol. 9, no. 17, ISSN 2007-4913. DOI 10.29057/icea.v9i17.6019. Disponible en: <https://doi.org/10.29057/icea.v9i17.6019>

HU, H., LI, X., WU, S. y YANG, C., 2020. Sustainable livestock wastewater treatment via phytoremediation: Current status and future perspectives. *Bioresource Technology*, vol. 315, ISSN 09608524. DOI 10.1016/j.biortech.2020.123809. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32682262/>

LY, L.C.T. y SIESQUÉN, L.I.S., [sin fecha]. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS. Disponible en: <https://orbita.bo/books/tecnicas-e-instrumentos-de-recoleccion-de-datos/>

MIDAGRI, 2023. Uso y manejo de agua. [en línea]. [consulta: 12 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.midagri.gob.pe/portal/42-sector-agrario/recurso-agua/329-uso-y-manejo-deagua>.

Miranda - 2013 - EFECTO DEL FOTOPERIODO EN LA REMOCIÓN DE PLOMO POR.pdf, [sin fecha]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/621/62127866010.pdf>

PÉREZ, K.M.A., [sin fecha]. "INFLUENCIA DEL USO DE LEMNA MINOR EN EL TRATAMIENTO DE LA CONTAMINACION ORGANICA DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES DE COTEXSUR, LURIN, 2017". Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3029915>

PHILLIPS, D.P., HUMAN, L.R.D. y ADAMS, J.B., 2015. Wetland plants as indicators of heavy metal contamination. Marine Pollution Bulletin, vol. 92, no. 1-2, ISSN 0025326X. DOI 10.1016/j.marpolbul.2014.12.038. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.038>

procesos y fundamentos NEIL Y CORTEZ.pdf, [sin fecha]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12498>

SÁENZ, P.B., [sin fecha]. Protocolo de Monitoreo de Agua. , no. 01, Disponible en: [https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user\\_upload/p\\_biorem/education/research/protocols/Protocolo\\_Agua.pdf](https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/Protocolo_Agua.pdf)

SAHA, P., BANERJEE, A. y SARKAR, S., 2015. Phytoremediation Potential of Duckweed ( Lemna minor L.) On Steel Wastewater. International Journal of Phytoremediation, vol. 17, no. 6, ISSN 1522-6514, 1549-7879. DOI 10.1080/15226514.2014.950410. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15226514.2014.950410>

Tratamiento y reuso de las aguas residuales, [sin fecha]. S.I.: s.n. Disponible en:  
<https://pubdocs.worldbank.org/en/150461494428481264/Booklet-Conferencia-FINAL.pdf>

XIA, J., HUA, T., XUE, Y., ZHAO, L., SUN, H. y LIU, C., 2021. Myriophyllum elatinoides: A potential candidate for the phytoremediation of water with low level boron contamination. Journal of Hazardous Materials, vol. 401, ISSN 03043894. DOI 10.1016/j.jhazmat.2020.123333. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123333>

ZARZA LAURA, redaccion, 2019. ¿Qué es la contaminación del agua? iAgua [en línea]. [consulta: 20 junio 2023]. Disponible en:  
<https://www.iagua.es/respuestas/que-es-contaminacion-agua>.

ZETINA CÓRDOBA, P., RETA MENDIOLA, J.L., ORTEGA CERRILLA, M.E., ORTEGA JIMÉNEZ, E., SÁNCHEZ-TORRES, M.T.E., HERRERA HARO, J.G. y BECERRIL HERRERA, M., 2009. Utilización de la lenteja agua (Lemnaceae) en la producción de Tilapia (Oreochromis spp.). Archivos de Zootecnia, vol. 59, no. 232, ISSN 1885-4494. DOI 10.21071/az.v59i232.4911. Disponible en:  
<https://www.uco.es/ucopress/az/index.php/az/article/view/4911>

ZHANG, Y., HU, Y., YANG, B., MA, F., LU, P., LI, L., WAN, C., RAYNER, S. y CHEN, S., 2010. Duckweed (Lemna minor) as a Model Plant System for the Study of Human Microbial Pathogenesis. PLOS ONE, vol. 5, no. 10, DOI 10.1371/journal.pone.0013527. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013527>

ZHOU, Y., STEPANENKO, A., KISHCHENKO, O., XU, J. y BORISJUK, N., 2023. Duckweeds for Phytoremediation of Polluted Water. Plants, vol. 12, no. 3, ISSN 2223-7747. DOI 10.3390/plants12030589. Disponible en:  
<https://doi.org/10.3390/plants12030589>



## ANEXOS

### Anexo 1. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de niveles de medición
<i>Lemna Minor</i>	<p>Tiene forma Taloides lo que significa que no se diferencian el tallo y las hojas. Su estructura es plana y verde y tiene una sola raíz delgada de color blanco. Esta planta sirve para fitorremediación ya que se alimenta de residuos orgánicos y por lo tanto absorbe sustancias disueltas, Según Cook y Gut (1974)</p>	<p>En el género <i>Lemna minor</i> se evaluó su capacidad para reducir compuestos orgánicos en aguas residuales la cual se quiere caracterizar de manera fisiológica y morfológica para la fitorremediación de aguas residuales</p>	Características de la <i>Lemna minor</i>	Biomasa	intervalo
				Dosis	intervalo
			Edad	Estadios o ciclos	intervalo
Cinética de la Fitorremediación	<p>La cinética es un aspecto de la física que estudia la velocidad o la rapidez con la que ocurre algún suceso que anteriormente estaba en estado de reposo. La fitorremediación utiliza las plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes, según (Kelley et al., 2000; Miretzky et al., 2004; Cherian y Oliveira, 2005; Eapen et al., 2007; Cho et al., 2008)</p> <p>La lenteja de agua crece rápidamente en aguas ricas en nutrientes, además puede eliminar el fósforo y almacenarlo en su Biomasa. (Alejandro C. Richarte, p.35, 2018)</p>	<p>Esta variable se divide en cuatro dimensiones las cuales se medirán cada cierto intervalo de tiempo para determinar los cambios en la calidad del agua residual.</p>	Calidad bioquímica	DBO	razón
			Calidad física	pH	intervalo
				Turbidez	intervalo

## Anexo 2. Instrumento de recolección de datos

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC: 20605355189



### INFORME DE ANÁLISIS FQAPERU SAC

SOLICITANTE	: BRANDO BILL RUIZ CAMPOS
PROYECTO	: CINÉTICA DE LA FITORREMEDIACION USANDO LEMNA MINOR
MUESTRA	: AGUA - Grupo de control
PROCEDENCIA	: LAGUNA DE OXIDACIÓN DE JAYANCA (RECOLECTAMOS EL AGUA Y LO TENEMOS EN UN AMBIENTE CONTROLADO)
FECHA DE INGRESO	: 16 DE OCTUBRE DEL 2023
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

#### 1. MUESTRA: AGUA - Grupo de control

Nº DE MUESTRAS	CANTIDAD DE MUESTRA ENSAYADA	PROCEDENCIA
01	100ml.	TRATADA EN LABORATORIO

#### 2. MÉTODOS DE ENSAYO

PARÁMETRO	NORMA - METODO
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	APHA/AWWA/WEF 5220 D para rango alto adaptado a micro-escala

#### 3. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA	ARI	
	UNIDADES	RESULTADO
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	193.3

TRUJILLO 21 DE OCTUBRE DEL 2023



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

# LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC: 20605355189



## INFORME DE ANÁLISIS FQAPERU SAC

SOLICITANTE	: BRANDO BILL RUIZ CAMPOS
PROYECTO	: CINÉTICA DE LA FITORREMEDIAACION USANDO LEMNAMINOR
MUESTRA	: AGUA - Grupo de control
PROCEDENCIA	: LAGUNA DE OXIDACIÓN DE JAYANCA (RECOLECTAMOS EL AGUA Y LO TENEMOS EN UN AMBIENTE CONTROLADO)
FECHA DE INGRESO	: 20 DE OCTUBRE DEL 2023
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

### 1. MUESTRA: AGUA - Grupo de control

Nº DE MUESTRAS	CANTIDAD DE MUESTRA ENSAYADA	PROCEDENCIA
04	100ml.	TRATADA EN LABORATORIO

### 2. MÉTODOS DE ENSAYO

PARÁMETRO	NORMA - MÉTODO
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	APHA/AWWA/WEF 5220 D para rango alto adaptado a micro-escala

### 3. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA	Control	
	UNIDADES	RESULTADO
PARÁMETRO		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	180.4

CÓDIGO DE MUESTRA	M1	
	UNIDADES	RESULTADO
PARÁMETRO		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	157.5

CÓDIGO DE MUESTRA	M2	
	UNIDADES	RESULTADO
PARÁMETRO		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	127.4

CÓDIGO DE MUESTRA	M3	
	UNIDADES	RESULTADO
PARÁMETRO		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	113.2

TRUJILLO 30 DE OCTUBRE DEL 2023



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com





**INFORME DE ANÁLISIS  
FQAPERU SAC**

SOLICITANTE	: BRANDO BILL RUIZ CAMPOS
PROYECTO	: CINÉTICA DE LA FITORREMEDIAACION USANDO LEMNAMINOR
MUESTRA	: AGUA - Grupo de control
PROCEDENCIA	: LAGUNA DE OXIDACIÓN DE JAYANCA (RECOLECTAMOS EL AGUA Y LO TENEMOS EN UN AMBIENTE CONTROLADO)
FECHA DE INGRESO	: 25 DE OCTUBRE DEL 2023
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

1. MUESTRA: AGUA - Grupo de control

Nº DE MUESTRAS	CANTIDAD DE MUESTRA ENSAYADA	PROCEDENCIA
04	100ml.	TRATADA EN LABORATORIO

2. MÉTODOS DE ENSAYO

PARÁMETRO	NORMA - MÉTODO
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	APHA/AWWA/WEF 5220 D para rango alto adaptado a micro-escala

3. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA	Control	
	UNIDADES	RESULTADO
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	161.2

CÓDIGO DE MUESTRA	M1	
	UNIDADES	RESULTADO
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	114.2

CÓDIGO DE MUESTRA	M2	
	UNIDADES	RESULTADO
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	86.7

CÓDIGO DE MUESTRA	M3	
	UNIDADES	RESULTADO
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	60.3

TRUJILLO 03 DE NOVIEMBRE DEL 2023



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com



**INFORME DE ANÁLISIS  
FQAPERUSAC**

SOLICITANTE	: BRANDO BILL RUIZ CAMPOS
PROYECTO	: CINÉTICA DE LA FITORREMEDIACION USANDO LEMNAMINOR
MUESTRA	: AGUA - Grupo de control
PROCEDENCIA	: LAGUNA DE OXIDACIÓN DE JAYANCA (RECOLECTAMOS EL AGUA Y LO TENEMOS EN UN AMBIENTE CONTROLADO)
FECHA DE INGRESO	: 28 DE OCTUBRE DEL 2023
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

**1. MUESTRA: AGUA - Grupo de control**

Nº DE MUESTRAS	CANTIDAD DE MUESTRA ENSAYADA	PROCEDENCIA
04	100ml.	TRATADA EN LABORATORIO

**2. MÉTODOS DE ENSAYO**

PARÁMETRO	NORMA - MÉTODO
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	APHA/AWWA/WEF 5220 D para rango alto adaptado a micro-escala

**3. RESULTADOS**

CÓDIGO DE MUESTRA	Control	
	UNIDADES	RESULTADO
PARÁMETRO		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	130.52

CÓDIGO DE MUESTRA	M1	
	UNIDADES	RESULTADO
PARÁMETRO		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	53.64

CÓDIGO DE MUESTRA	M2	
	UNIDADES	RESULTADO
PARÁMETRO		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	35.52

CÓDIGO DE MUESTRA	M3	
	UNIDADES	RESULTADO
PARÁMETRO		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	17.6

TRUJILLO 15 DE NOVIEMBRE DEL 2023



**AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEÍTES - CARBÓN CAL**


CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

**LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA**

**TIPO DE ANÁLISIS** : Análisis físico  
**USUARIO** : Ruiz Campos Brando Bill y Barboza Herrera Ruth Melissa  
**N° DE MUESTRA** : 13  
**TIPO DE MUESTRA** : Agua Residual de Laguna de Oxidación - Jayanca  
**FECHA DE EMISIÓN** : 23/11/2023  
**RESULTADOS** : Análisis de Turbidez

DÍA	N° DE MUESTRA	PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	EQUIPO
0	G.C	Turbidez	269	ppm	Turbidimeter HI 98703 (MEDIDOR DE TURBIDEZ)
3	G.C	Turbidez	200		
3	M1	Turbidez	59		
3	M2	Turbidez	48		
3	M3	Turbidez	35		
6	G.C	Turbidez	173		
6	M1	Turbidez	51		
6	M2	Turbidez	37		
6	M3	Turbidez	19		
9	G.C	Turbidez	147.3		
9	M1	Turbidez	4.08		
9	M2	Turbidez	3.40		
9	M3	Turbidez	3.13		

Nota: La muestra fue tomada por el usuario, el laboratorio no se responsabiliza.



**ING. CRISTIAN MICHEL GÓMEZ CORNEJO**  
 INGENIERO AMBIENTAL  
 REG. CIP 255514

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA

ING. CRISTIAN MICHEL GÓMEZ CORNEJO


CIP: 255514

**LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA**

**TIPO DE ANÁLISIS** : Análisis físico  
**USUARIO** : Rulz Campos Brando Bill y Barboza Herrera Ruth Melissa  
**N° DE MUESTRA** : 13  
**TIPO DE MUESTRA** : Agua Residual de Laguna de Oxidación - Jayanca  
**FECHA DE EMISIÓN** : 23/11/2023  
**RESULTADOS** : Análisis de pH

DÍA	N° DE MUESTRA	PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	EQUIPO
0	G.C	pH	8.4	Unidad de pH	Ph meter HI 8424 (MEDIDOR DE PH)
3	G.C	pH	8.58		
3	M1	pH	8.70		
3	M2	pH	9.19		
3	M3	pH	10.12		
6	G.C	PH	9.69		
6	M1	pH	9.26		
6	M2	pH	9.46		
6	M3	pH	9.84		
9	G.C	pH	9.94		
9	M1	pH	8.94		
9	M2	pH	8.98		
9	M3	pH	8.91		

Nota: La muestra fue tomada por el usuario, el laboratorio no se responsabiliza.

  
**CRISTIAN MICHEL GÓMEZ CORNEJO**  
 INGENIERO AMBIENTAL  
 REG. CIP 255514

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA

ING. CRISTIAN MICHEL GÓMEZ CORNEJO

CIP: 255514



#### Anexo 4. Registro fotográfico



Recolección del agua residual estudiada





Lugar donde se desarrolló la *Lemna minor*



Inserción de la macrofita



Instrumento usado para la medicion de la Turbidez



pH-metro utilizado para analizar las muestras



Análisis de pH en laboratorio