

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**REMOCIÓN DE DQO EN UNA SOLUCIÓN ACUOSA DE AMOXICILINA
MEDIANTE SORCIÓN CON BIOMASA SECA DE *Eichhornia crassipes* A ESCALA
DE LABORATORIO**

Tesis

para optar el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

MERCEDES REYNAFARJE RUDHER MARLOY

Asesor

Dr. PAREDES SALAZAR JOSÉ LUIS

Tingo María – Perú

2025



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°113-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 03 de octubre de 2025, a horas 09:00 a.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“REMOCIÓN DE DQO EN UNA SOLUCIÓN ACUOSA DE AMOXICILINA MEDIANTE SORCIÓN CON BIOMASA SECA DE *Eichhornia crassipes* A ESCALA DE LABORATORIO”


Presentado por el Bachiller: **MERCEDES REYNAFARJE, RUDHER MARLOY** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 20 de octubre de 2025


Dr. JOSE ANTONIO BLAS MATIENZO
PRESIDENTE


Mclgo. MSc. LUIS A. SANCHEZ ROMERO
MIEMBRO


Ing. MSc. PATRICIA P. ROMERO USHUÑAHUA
MIEMBRO




Dr. JOSE LUIS PAREDES SALAZAR
ASESOR



UNAS

VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE
INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE
CIENTÍFICO
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 402 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

Tesis

X

Trabajo de Suficiencia Profesional

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
REMOCIÓN DE DQO EN UNA SOLUCIÓN ACUOSA DE AMOXICILINA MEDIANTE SORCIÓN CON BIOMASA SECA DE <i>Eichhornia crassipes</i> A ESCALA DE LABORATORIO	MERCEDES REYNAFARJE RUDHER MARLOY	07% Siete	0% Cero

Tingo María, 02 de diciembre de 2025.


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO

ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

C.C. Archivo

DEDICATORIA

A Dios, por su infinito amor por darme la fuerza y salud en toda esta etapa universitaria. Su guía en este camino ha sido mi fortaleza siempre.

A mis padres que con su abnegado esfuerzo hicieron posible que este sueño se haga realidad. Mi madre la mujer que me ha enseñado la fortaleza mas grande de este mundo, dedicado con mucho amor para ella y para que siempre se sienta orgulloso de mi.

A mis amigos, con los que compartí esta bonita etapa de la vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por escuchar todos mis sueños y ayudarme a cumplirlos, quien me ha brindado la fuerza para terminar este camino .

A mi alma mater, La Universidad Agraria de la Selva, por las enseñanzas impartidas en sus aulas y brindarme las mejores experiencias cognitivas y desarrollo personal que me acompañaran durante toda la vida.

A mis asesores, por la disposición de tiempo que me han brindado durante el desarrollo de esta investigación.

A mis compañeros que aportaron anécdotas y aprendizaje para lograr culminar muy satisfactoriamente esta hermosa etapa de mi vida .

Y a mis padres los pilares fundamentales de este servidor .

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Marco teórico.....	3
2.1.1. El fármaco.....	3
2.1.2. La amoxicilina y sus características.....	3
2.1.3. Descripción de la especie <i>E. crassipes</i>	4
2.1.4. Mecanismo de sorción de <i>E. crassipes</i>	6
2.1.5. Caracterización de biomasa de <i>E. crassipes</i>	7
2.2. Estado del arte.....	8
III. MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1. Lugar de ejecución.....	10
3.2. Material y métodos	11
3.2.1. Materiales y equipos	11
3.2.2. Metodología.....	11
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
4.1. Determinación de la remoción de DQO en una solución acuosa de amoxicilina a dos concentraciones diferentes mediante sorción con biomasa seca de <i>E. crassipes</i> a escala de laboratorio	16
4.2. Determinación de la remoción de DQO en una solución acuosa de amoxicilina mediante sorción con dos concentraciones diferentes de biomasa seca de <i>E. crassipes</i> a escala de laboratorio.....	17
4.3. Determinación de la remoción de DQO en una solución acuosa de amoxicilina mediante sorción con biomasa seca de <i>E. crassipes</i> a dos tiempos diferentes a escala de laboratorio	20
4.4. Evaluación de la remoción de DQO en soluciones con diferentes concentraciones de amoxicilina, biomasa seca de <i>E. crassipes</i> y tiempo de contacto.....	22

4.5. Resultados del análisis estadístico	24
4.5.1. Análisis de varianza	25
4.5.2. Pruebas tukey	25
4.5.3. Graficas de Pareto estandarizada – Remocion de DQO.	26
4.5.4. Grafica de Pareto no estandarizado – remocion de DQO.....	27
V. CONCLUSIONES	30
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	31
VII. REFERENCIAS.....	32
ANEXO.....	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Variables de investigación.....	14
2. Niveles para los factores de la investigación.....	14
3. Matriz de diseño de la investigación.	15
4. Remoción de DQO con biomasa seca de E. crassipes en una solución a dos concentraciones de amoxicilina.....	16
5. Remoción de DQO en una solución de amoxicilina a dos concentraciones de biomasa seca de E. crassipes.....	18
6. Remoción de DQO en una solución de amoxicilina con biomasa seca de E. crassipes a dos tiempos de contacto diferentes.....	20
7. Remoción de DQO en una solución de amoxicilina con diferentes concentraciones de amoxicilina, biomasa seca de E. crassipes y tiempo de contacto.....	22
8. Resultado del análisis de varianza factorial.....	25
9. Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey	26
10. Remoción de DQO con biomasa seca de E. crassipes a dos concentraciones diferentes de amoxicilina.	37
11. Remoción de DQO dos concentraciones diferentes de biomasa de E. crassipes.	37
12. Remoción de DQO con biomasa de E. crassipes a dos tiempos de contacto diferentes.	37
13. Remoción de DQO en soluciones con diferentes concentraciones de amoxicilina, biomasa seca de E. crassipes y tiempo de contacto.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. La composición de un medicamento (Grupo Bruluart, 2017).....	3
2. Estructura química de la amoxicilina.	4
3. Planta con flor de <i>E. crassipes</i>	5
4. Mecanismos involucrados en la biosorción.....	6
5. Estructura macroporosa de <i>E. crassipes</i>	7
6. Ubicación Geográfica de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.	10
7. Remoción de DQO con biomasa de <i>E. crassipes</i> variando la concentración de amoxicilina.	17
8. Variación del porcentaje de remoción de DQO a diferentes tiempos de biomasa seca de <i>E. crassipes</i>	19
9. Variación del porcentaje de remoción a diferentes tiempos de contacto.	21
10. Porcentaje de remoción a diferentes tratamientos aplicados.	23
11. Resumen estadístico básico de los resultados de los tratamientos.	24
12. Gráfico de barras de los tratamientos aplicados a diferentes concentraciones de amoxicilina.	28
13. Gráfico de barras de los tratamientos aplicados a diferentes concentraciones de biomasa seca de <i>E. crassipes</i>	28
14. Gráfico de barras de los tratamientos aplicados a diferentes tiempos de contacto.	29
15. Resultados del análisis de varianza de los datos experimentales.	40
16. Estufa utilizada en la investigación para el secado de la <i>E. crassipes</i>	41
17. Acondicionamiento de la <i>E. crassipes</i> antes de ingresar a la estufa.	41
18. Colocación de la <i>E. crassipes</i> en la investigación.	42
19. Aspecto de la <i>E. crassipes</i> después del secado en la estufa.	42
20. Revisión de la biomasa seca antes de su acondicionamiento.	43
21. Pesado de la amoxicilina para preparación de las soluciones.	43
22. Molienda de la biomasa seca de <i>E. crassipes</i>	44
23. Revisión de la biomasa seca de <i>E. crassipes</i> molida.....	44
24. Aspecto de las plantas de <i>E. crassipes</i> deshidratadas.	45
25. Aplicación de los tratamientos de la investigación.	45
26. Aspectos del agua después de tratamiento a diferentes condiciones.....	46

27.	Lugar de extracción de la <i>E. crassipes</i> (agua estancada).	46
28.	Presencia de flores que caracteriza a la especie <i>E. crassipes</i>	47
29.	Procesamiento de muestras para el análisis de DQO.	47
30.	Digestión de las muestras para el análisis de DQO.	48
31.	Fotómetro multiparamétrico para la medición de la DQO	48
32.	Medición de la DQO a las muestras digeridas.	49
33.	Reactivos químicos para la determinación de la DQO.	49

RESUMEN

La investigación que se presenta se realizó con el fin de conocer la capacidad de la biomasa deshidratada de la especie *Eichhornia crassipes* para la remoción de DQO en una solución acuosa contaminada con amoxicilina. Las pruebas se realizaron a nivel de laboratorio, utilizando como unidades experimentales soluciones acuosas de preparadas con amoxicilina de 500 mg en concentraciones de 75 ppm y 150 ppm, a las cuales se le determinó la DQO inicial, se procesó la biomasa de *Eichhornia crassipes*, mediante deshidratación y molienda, aplicándose en polvo a concentraciones de 400 mg /L y 800 mg/L y se sometieron a tiempos de contacto de 12 horas y 24 horas. Las unidades experimentales fueron periódicamente agitadas. Al termino de los tiempos de contacto las soluciones fueron finalmente filtradas y se les determinó la DQO final en cada tratamiento. Los resultados indicaron que, a mayor concentración inicial de amoxicilina, mayor peso de biomasa seca y menor tiempo de contacto, mayor es la remoción de DQO. La investigación se realizó con un diseño factorial 2^3 , con ocho tratamientos, de los cuales 91.27% y 57.90% fueron los porcentajes máximo y mínimo de remoción de DQO respectivamente. El análisis estadístico realizado con un intervalo de confianza de 95%, demuestra que la remoción de DQO obtenida en los tratamientos de la investigación son significativamente diferentes.

Palabras clave: Amoxicilina, remoción de DQO, Biomasa, *Eichhornia crassipes*, Tiempo de contacto.

ABSTRACT

Removal of cod in an aqueous solution of amoxicillin through sorption with dry biomass of *Eichhornia crassipes* on a laboratory scale

The research presented was carried out in order to know the capacity of the dehydrated biomass of the species *Eichhornia crassipes* for the removal of COD in an aqueous solution contaminated with amoxicillin. The tests were carried out at the laboratory level, using as experimental units aqueous solutions prepared with amoxicillin of 500 mg in concentrations of 75 ppm and 150 ppm, at which the initial COD was determined, the biomass of *Eichhornia crassipes* was processed, using dehydration and grinding, applying powder at concentrations of 400 mg/L and 800 mg/L and subjected to contact times of 12 hours and 24 hours. The experimental units were periodically shaken. At the end of the contact times, the solutions were finally filtered and the final COD in each treatment was determined. The results indicated that the higher the initial concentration of amoxicillin, the greater the weight of dry biomass and the shorter the contact time, the greater the COD removal. The research was carried out with a 2³ factorial design, with eight treatments, of which 91.27% and 57.90% were the maximum and minimum percentages of COD removal respectively. The statistical analysis carried out with a 95% confidence interval demonstrates that the COD removal obtained in the research treatments are significantly different.

Keywords: Amoxicillin, COD removal, Biomass, *Eichhornia crassipes*, Contact time.

I. INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico con el que cuenta el planeta tierra se encuentra en un constante riesgo de escasez y de disminución de disponibilidad, ya que, a pesar de contar con grandes fuentes de agua, sus condiciones naturales no permiten su consumo humano, como el caso del agua de mar. Por otro, lado la baja disponibilidad de agua de las fuentes de agua dulce, se debe principalmente a la contaminación diversa que sufren, debido al vertimiento de efluentes sin tratamiento o con escaso o inapropiado tratamiento que le permitan alcanzar una calidad que no afecten los ecosistemas acuáticos y su consumo.

Los contaminantes convencionales de las aguas residuales, los cuales se centran en compuestos orgánicos e inorgánicos, han sido estudiados progresivamente por su impacto en la calidad del recurso, sin embargo debemos considerar que conforme avanza la tecnología, se va modificando el estilo de vida del hombre, el cual sufre por la aparición de nuevas enfermedades, que podrían ser originadas por nuevos compuestos en el agua de consumo y que, aunque estén presentes en muy bajas concentraciones, condición que favorece a la falta de atención de estos compuestos, pueden ejercer un gran daño en los ecosistemas acuáticos.

Los fármacos son algunos de estos contaminantes, entre ellos podemos mencionar a los antibióticos como la amoxicilina que es un producto, de alto consumo, tanto en centros de atención médica, como en los hogares, ante la aparición de algún tipo de infección, de este modo, es muy probable el consumo de este medicamento, sin prescripción médica, lo cual finalmente, los residuos directos o indirectos de este medicamento llegan a parar a las aguas residuales y no son analizados y mucho menos van a ser removidos con las tecnologías convencionales existentes.

Eichhornia crassipes, conocida comúnmente como jacinto de agua, es una especie considerada invasora que destaca por su gran capacidad de fitorremediación de ambientes acuáticos, contaminados con diversos compuestos inorgánicos, como los metales pesados. Recientes investigaciones se han enfocado a evaluar la capacidad de la biomasa seca de la especie mencionada, para la sorción de metales, de lo cual ha resultado que en esas condiciones aun ejerce su capacidad de sorción.

El estudio que se plantea en este proyecto se enfoca en evaluar la capacidad de la biomasa seca de *E. crassipes*, para la remoción de fármacos como la amoxicilina en un medio acuoso. Por tal razón se plantea la siguiente interrogante: ¿Es posible reducir más del 50% de la DQO en una solución acuosa de amoxicilina, mediante sorción con la biomasa seca de la

especie *Eichhornia crassipes*?, planteándose la siguiente hipótesis: Si es posible reducir más del 50% de la DQO en una solución acuosa de amoxicilina, mediante sorción con la biomasa seca de la especie *E. crassipes*.

1.1. Objetivos

Objetivo general

Evaluar la remoción de DQO en una solución acuosa de amoxicilina mediante sorción con biomasa seca de *Eichhornia crassipes* a escala de laboratorio.

Objetivos específicos

- Determinar la remoción de DQO en una solución acuosa de amoxicilina a dos concentraciones diferentes, mediante sorción con biomasa seca de *Eichhornia crassipes* a escala de laboratorio.
- Determinar la remoción de DQO en una solución acuosa de amoxicilina mediante sorción con dos concentraciones diferentes de biomasa seca de *Eichhornia crassipes* a escala de laboratorio.
- Determinar la remoción de DQO en una solución acuosa de amoxicilina mediante sorción con biomasa seca de *Eichhornia crassipes* a dos tiempos diferentes a escala de laboratorio.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. El fármaco

Es una sustancia química de composición conocida que produce efectos sobre uno en el estado fisiológico de quien lo consume; cuando es dosificado, sus efectos sean benéficos o perjudiciales, son perfectamente identificados, mediante efectos en un grupo numeroso de personas. Cuando se hace mención a un medicamento, en realidad se hace referencia a la combinación de uno o varios fármacos con otros compuestos de una categoría similar pero inactivas denominadas excipientes, cuya fin es proporcionar volumen al producto terminado y adicionalmente contribuyen al manejo de su producción, transporte, almacenamiento, dispensación y la administración de estos productos; la denominación común internacional (DCI) o nombre genérico del fármaco permiten su identificación o mediante un nombre comercial de cada fabricante. Entonces el medicamento es un producto farmacéutico que previene o permite el tratamiento de una enfermedad con el fin de mejorar los sistemas fisiológicos de quien lo consume (Cantafio, 2017).



Figura 1. La composición de un medicamento (Grupo Bruluart, 2017).

2.1.2. La amoxicilina y sus características

La amoxicilina es una penicilina semi-sintética similar a la ampicilina, pero de mayor biodisponibilidad. Durante su ingestión, tiene la propiedad de alcanzar mayores niveles de antibiótico en sangre y unos menores efectos gastrointestinales en comparación con

la ampicilina. Respecto a su espectro de actividad antibacteriana supera a la penicilina, sin embargo, no es estable frente a las beta-lactamasas.

Es un antibiótico betalactámico perteneciente al grupo de las amino penicilinas que poseen acción bactericida. Su acción consiste en inhibir la formación de la barrera de peptidoglicano de las células bacterianas, así como la inactivación de enzimas involucradas en el proceso, efecto que desestabiliza y provoca la muerte del microorganismo a través de autolisinas endógenas.

La amoxicilina se reacciona uniéndose a proteínas plasmáticas y el ácido clavulánico. Llega a los tejidos y fluidos corporales, mientras que su acción es parcial sobre el sistema nervioso central y llega a distribuirse en la leche materna y atravesar la placenta. Se metaboliza parcialmente por hidrólisis a ácido penicilóico que se excreta, con un 50-75% de fármaco que no reacciona, por la orina y en escasa proporción por las heces. La vida media para eliminar la amoxicilina es una hora, a excepción de pacientes con insuficiencia renal (Saglimbeni y Salazar de Plaza, 2002).

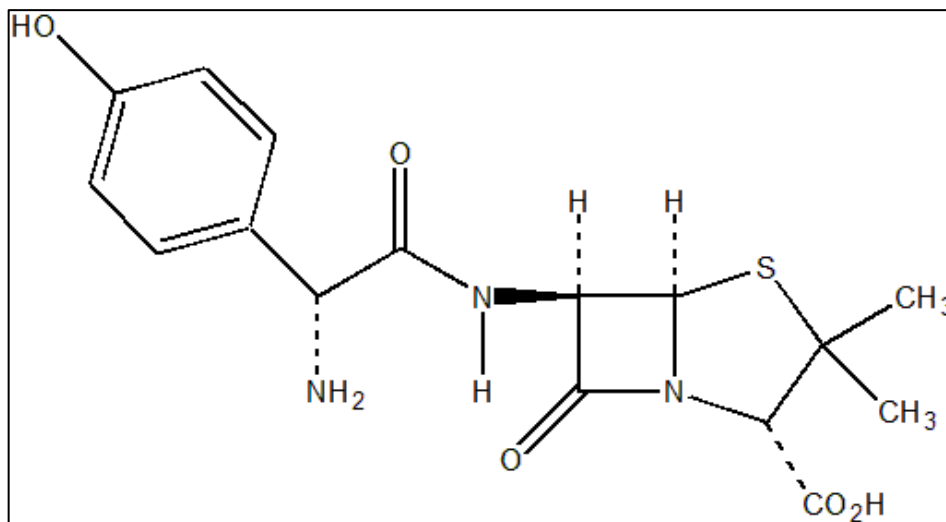


Figura 2. Estructura química de la amoxicilina.

Fuente: Wikipedia, GNU Free Documentation License. (2005).

2.1.3. Descripción de la especie *E. crassipes*

E. crassipes, es una monocotiledónea que pertenece a la familia Pontederiaceae (Patel, 2012) de agua dulce, procede de la cuenca del Amazonas y su ambiente natural está en los países tropicales y subtropicales de América del Sur y otros continentes. Es considerada una especie invasora cuya presencia implica peligros, tanto ecológicos como económicos, y puede alcanzar las barreras sociales (Patel, 2012). Se reproduce rápidamente

(Havel et al., 2015), lo que puede impactar el flujo de agua, la interrupción del paso de la luz solar y afectando a las plantas nativas, lo cual resulta en una disminución del oxígeno, alteración de estructura y funciones ecosistémicas así como la alteración en la secuencia de la cadena alimentaria y el ciclo de nutrientes (Havel et al., 2015).

Se considera una especie con buena adaptación y altamente reproductiva, tal es así que está considerada dentro de las cien malezas más invasoras a nivel mundial (Nesslage et al., 2016). Su crecimiento desarrollo y muerte genera el fenómeno de eutrofización de los cuerpos de agua, afectando negativamente la calidad del agua debido a los procesos que implica la descomposición de la materia orgánica que inserta al agua (Gaertner et al., 2016).



Figura 3. Planta con flor de *E. crassipes*.

Fuente: <https://aquaplantasmx.com/products/eichhornia-crassipes-1> (2023).

Es una especie que tolera variaciones en la concentración de nutrientes, en la temperatura y diversos rangos de pH. Sin embargo, sus condiciones más favorables para su desarrollo son pH entre 6 y 8; temperatura que va de 1 hasta 40 °C, con sensibilidad a temperaturas menores de 1 °C. Su crecimiento óptimo está entre 25 y 27,5 °C (Malik, 2007) y a temperaturas superiores a 33 °C reduce su tasa de reproducción (Gakwavu et al., 2012). El nitrógeno favorece su crecimiento (Heard & Winterton, 2000). Su crecimiento se ve inhibido por altas concentraciones de sal, lo cual tiene efecto letal e inhibitorio (Malik, 2007). Si el

ambiente de desarrollo es de baja humedad relativa es una limitante para su crecimiento (Gakwavu et al., 2012). El lirio se considera una maleza nociva, que impacta fuertemente al ambiente, a la salud y al desarrollo económico (Malik, 2007). Tiene presencia en los cinco continentes, hecho que puede significar un mayor riesgo de expansión de esta especie, si consideramos que se ve favorecida por los efectos de cambio climático (Hellmann et al., 2008). Por otro lado, es considerada un recurso de inmenso potencial, debido a su gran biomasa que le permite ser utilizada en tratamiento de aguas residuales, efluentes con metales pesados, para eliminar de tintes en efluentes industriales, para generación de biocombustible, de electricidad, las industrias, entre otros (Patel, 2012).

2.1.4. Mecanismo de sorción de *E. crassipes*

Los sistemas de tratamientos con plantas son utilizados en la remoción de metales pesados, pero son cuestionados por la sensibilidad de algunas especies y por el tiempo que demanda en los tratamientos muchas veces no compensa con las eficiencias alcanzadas y por la gestión de la biomasa que fija los contaminantes. Lo descrito ha generado la utilización de material seco y molido de *E. crassipes* para utilizarlo como filtros biológicos; el intercambio catiónico debido a los grupos funcionales de la planta (Carreño-Sayago & Rodríguez-Parra, 2019).

Se ha realizado investigación de adsorción de uranio (VI) por lotes, con biomasa seca y triturada de *E. crassipes*. Los resultados mostraron un proceso con gran dependencia del pH, con un óptimo de 5.5. El tiempo de equilibrio fue de 30 min y se describió una cinética de segundo orden (Yi et al., 2016).

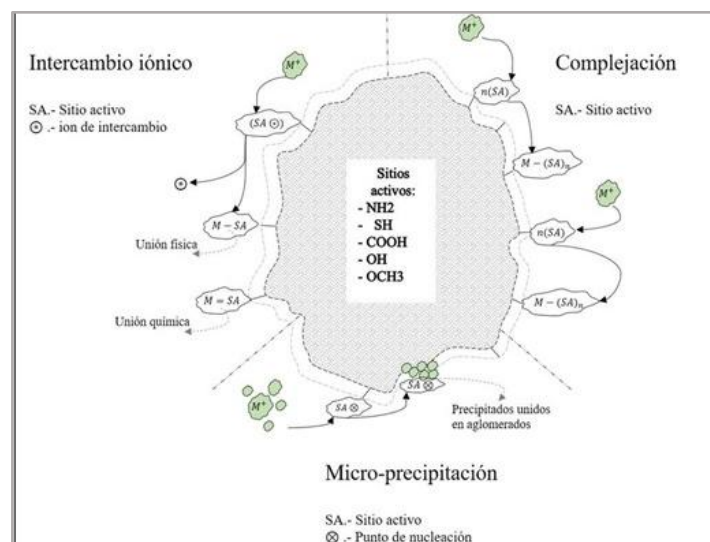


Figura 4. Mecanismos involucrados en la biosorción.

Fuente: Sánchez et al. (2020).

Para optimizar los procesos, se puede utilizar la biomasa de *E. crassipes* con una modificación química o física de a fin de obtener una durabilidad estructural y mayor afinidad en la adsorción de iones de metales pesados. Se utilizó celulosa de *E. crassipes*, quitosano y óxido de titanio (TiO_2), para tratamiento de efluentes textiles alcanzando remociones superiores de 90 % en función del pH. Este efecto se explica por interacción electrostática entre los grupos hidroxilos OH^- cargados negativamente de fibras de celulosa de *E. crassipes* con el anión NH^+ (III) del quitosano; el TiO_2 forma una red quelante, incrementando la capacidad de intercambio catiónico contaminantes (Carreño-Sayago & Rodríguez-Parra, 2019).

2.1.5. Caracterización de biomasa de *E. crassipes*

Tiene una estructura esponjosa y bulbosa, que le permite flotar. La superficie inflada y con compartimentos interiores le sirve a la planta para acumulación de agua y aire en su interior. Los tallos de la planta pueden tener una humedad superior al 90%; hasta 95%. Su alta retención de agua se debe a la presencia de los grupos hidroxilo los cuales hacen posible la formación de enlaces de hidrógeno. Cuando el material es secado y triturado presenta un promedio de 5.9% de humedad (Atehortua y Gartner, 2013).

Su densidad es aproximadamente 0,0665 g/mL. Mediante un análisis por BET se determinó la presencia de meso y microporosidad, encontrando un material de una baja área superficial, con un valor de 1,4128 m^2/g . No presenta microporosidad, al contrario tiene poros con cavidades superiores a 12,3 nm en el rango de la mesoporosidad, por tanto es un material básicamente macroporoso (Atehortua y Gartner, 2013).

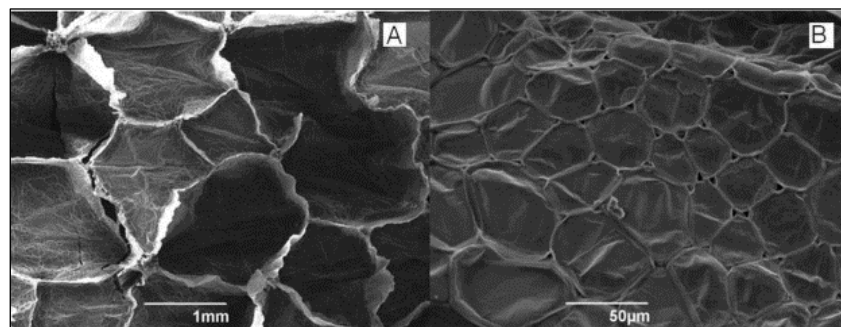


Figura 5. Estructura macroporosa de *E. crassipes*.

Fuente: Atehortua y Gartner (2013).

Mediante un análisis por fluorescencia de rayos X del material molido se pudo conocer su estructura química, la cual presenta una gran variedad de elementos, entre los de mayor presencia resaltan el potasio, calcio, cloro, manganeso y aluminio. Estos elementos

son la necesarios para la planta como nutrientes en su metabolismo. La acumulación de metales en la planta es posible por reacciones de complejación con los aminoácidos (Chigbo et al., 1982).

Con un análisis infrarrojo del material deshidratado, se identificaron estructuras de celulosa, hemicelulosa y lignina como estiramientos de C=O ,de C-O , de C-O-C . Además los grupos OH ,y moléculas de agua enlazada (Zhou et al., 2009).

2.2. Estado del arte

Atehortua y Gartner (2013) investigaron la capacidad de la planta *E. crassipes* en la adsorción metales pesados en medios acuosos, trabajaron con la biomasa seca. La parte experimental inició con un proceso de secado al aire libre por 48 horas. Luego se completó el secado a 80 °C por 2 horas en estufa, finalmente se procedió a la molienda del material y se tamizó en malla 80. El material seco y tamizado se aplicó en soluciones de plomo y cromo agitando a 50 rpm durante 15, 30 y 45 minutos. El material adsorbente adicionado por litro de solución fue de 0,4, 1 y 2 g. Luego se filtraron las soluciones y se analizó el contenido de metales en el líquido sobrenadante. Se encontró la biomasa de *E. crassipes* seca y molida, es altamente hidrofílica, y capaz de actuar como adsorbente de Pb y Cr en solución, de manera sencilla y sin la necesidad de sistemas sofisticados.

Gutierrez et al. (2021) trabajaron en una investigación para evaluar la remoción de Cadmio (II) en solución acuosa con *E. crassipes*, estos investigadores experimentaron manipulando el pH, tiempo de incubación, temperatura, concentración del metal y de biomasa. La planta utilizada se acondicionó lavándola por 24 horas con EDTA al 10% (p/v), y luego se sumergió en agua tridesionizada en un medio agitado, se sometió a ebullición para remover el polvo. Luego se deshidrató a 80°C, por 24 horas y se molió utilizando una licuadora. En matraces Erlenmeyer de 250 mL se adicionó 5 g de biomasa, se 95 mL de agua contaminada con 100 mg/L de Cd (II), de una laguna de desechos industriales ubicada en la ciudad de San Luís Potosí, México. Se procedieron a incubar las unidades experimentales a 28°C agitadas a 100 rpm, a intervalos de tiempo distintos y se le determinó la concentración de Cd (II) en el sobrenadante. Los resultados indicaron que la biomasa de lirio acuático es capaz de eliminar 66% del metal en solución, a un pH de 6,0, en 32 horas de incubación, 1 g de biomasa a una temperatura de 28°C.

Sevcan et al. (2022) estudiaron el impacto del uso de la biomasa de la raíz de *E. crassipes* para tratar efluentes de la industria de los fármacos, en un biorreactor aeróbico de membrana de fibra hueca. La evaluación de rendimiento del biorreactor tuvo lugar en función a la variación de la DQO, remoción de antibióticos y la bioincrustación de la membrana.

También se analizaron los microorganismos presentes en las capas de lodo y biopelícula. La biomasa de la raíz de jacinto de agua fue adicionada al biorreactor, lo que produjo un incremento de la DQO en 6 %, pero también favoreció la eficiencia de remoción de antibióticos y productos de transformación. De manera general se obtuvieron eficiencias de remoción de 97%, 98% y 84% de eritromicina, sulfametoxazol y tetraciclina respectivamente. También hacen mención que la biomasa de la raíz del jacinto de agua, puede modificar la red de biodegradación y aumenta la abundancia relativa de Chloroflexi, Proteobacteria y Nitrospirae pero disminuyó el Firmicutes, en comparación con el testigo.

Silva et al. (2018) trabajaron con desechos de hojas de té de manzanilla, té verde y menta, previas modificaciones químicas de carboxilación, tiolación y sulfonación para probarlas en la adsorción de Penicilina G. Para caracterizar los adsorbentes y sus modificaciones se utilizaron técnicas instrumentales, determinándose estabilidad térmica constante en los adsorbentes y algunos cambios morfológicos de superficie. Los resultados demostraron que existe una gran influencia de la acidez para la remoción del antibiótico, mediante las interacciones dipolo-dipolo. Siendo la tiolación y sulfonación las modificaciones químicas de mayor efectividad, resaltando el adsorbente de té de manzanilla, con 27 %, en un rango de pH 7-8.

Pacheco (2021) estudió la adsorción de Plomo (II) de aguas contaminadas mediante *Scirpus californicus*, este investigador trabajó con hojas del biomaterial obtenidas de la laguna de Chinchaycocha de la provincia de Junín, las cuales se acondicionaron mediante lavados, secados, molidos y tamizados. Luego de los experimentos, se obtuvieron porcentajes de remoción de 50,39%, 62,35% y 60,86% con dosis del adsorbente de 0,1; 0,3 y 0,5 g, respectivamente, con relación al tamaño de las partículas se determinó que el mayor porcentaje se logra con el N° 200 alcanzando un valor de 63,87%. Finalmente se comprobó que las hojas de Totorá se pueden aprovechar como un adsorbente para el tratamiento de los efluentes industriales con iones de plomo (II) disueltos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Esta investigación fue realizada en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), la cual ubicamos en las coordenadas UTM: zona 18L, 390256 Este y 8970849 Norte en la gradiente altitudinal de 662 m.s.n.m, perteneciente a la ciudad de Tingo María que es la capital del distrito Rupa Rupa. Políticamente la casa superior de estudios se encuentra en el distrito Rupa Rupa de la provincia de Leoncio Prado en la región Huánuco.

La zona presenta condiciones climáticas caracterizada con una temperatura máxima de 29,4°C, y una mínima de 19,2°C, registrando un valor de 24,3°C como la temperatura promedio; tiene una precipitación anual de 3300 mm y una humedad relativa de 87,0%; respecto a la zona de vida, se ubica en la formación vegetal de bosque muy húmedo Pre montano Tropical (bmh - PT). De acuerdo con las regiones naturales del Perú en base a la clasificación realizada por Pulgar (1938) la zona donde se realizó el estudio corresponde a la selva alta o Rupa Rupa.

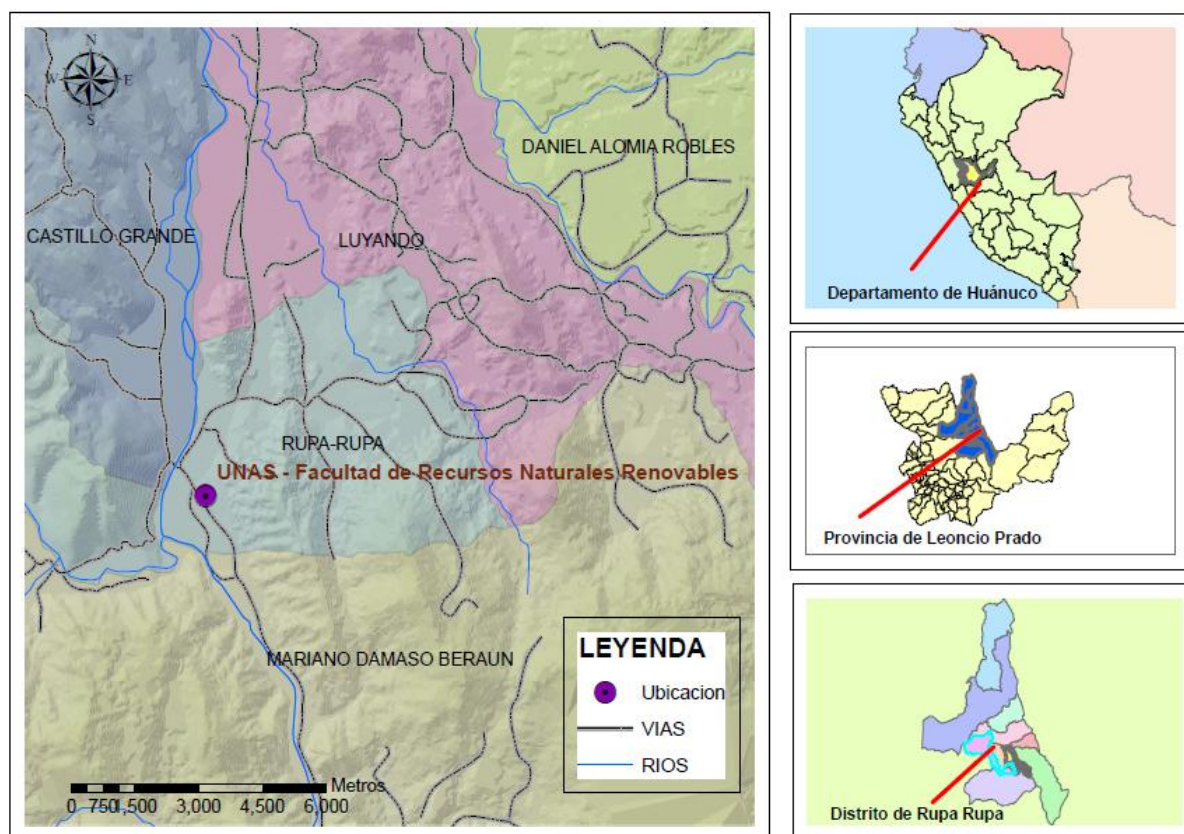


Figura 6. Ubicación Geográfica de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

3.2. Material y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

Los materiales de vidrio de laboratorio fueron materiales de vidrio de uso común, balanza de precisión marca ohaus, cámara de secado, estufa digital marca memmert, fotómetro multiparamétrico marca Hanna, HI83399, molino mecánico tamiz n°80, mortero y pilón de porcelana, agua de mesa, 28 recipientes de vidrio con capacidad de 1 L y Papel filtro.

Entre los reactivos utilizados se consideró al agua destilada, Amoxicilina de 500 mg, Ácido clorhídrico al 37%, sulfato ferroso amoniacal, ácido sulfúrico, dicromato de potasio y sulfato de plata.

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Determinación de la remoción de DQO en una solución acuosa de amoxicilina a dos concentraciones diferentes mediante sorción con biomasa seca de *E. crassipes* a escala de laboratorio

Preparación de las disoluciones de amoxicilina

Para la preparación de las disoluciones modelo se empleó amoxicilina de 500 mg, adquirida en una Empresa Farmacéutica y agua ultrapura, partiendo de concentraciones iniciales de 75 mg/L y de 150 mg/L. Estos valores están dentro del intervalo de 20 a 150 mg/L empleado por otros autores (Bonet et al., 2019). A las soluciones preparadas se le determinó la DQO, como valor referencial inicial.

Preparación de la biomasa seca de *E. crassipes*

Se colectaron las plantas de *E. crassipes* en un sitio de gran reproducción, que fue en un cuerpo de agua estancada como se ve en la figura de los anexos. Las plantas de mayor volumen fueron colectadas y drenadas en forma estática, luego secadas al aire libre (temperatura ambiente) por 48 horas. Para completar el secado se colocaron en la estufa por dos horas a 80°C, posteriormente este material seco fue molido con un molino de cuchillas y tamizado en malla 80 obteniéndose partículas con tamaños variables (Atehortua y Gartner, 2013).

Posteriormente en dos recipientes de 1 L de capacidad, se vertió 0,5 L de las soluciones de amoxicilina a las concentraciones de 75 mg/L y 150 mg/L y se le adicionaron a cada recipiente la concentración de 800mg/L de biomasa seca de *E. crassipes*. El tiempo de contacto de la solución de amoxicilina y la biomasa seca, fue de 12 horas con agitación periódica (Sevcán et al., 2022). Finalmente, las muestras fueron filtradas y se le determinó la DQO, en esta marcha experimental se consideró un testigo (Bonet et al., 2019). Cada tratamiento se realizó con tres réplicas.

Determinación de la Demanda Química de Oxígeno

El método utilizado es el normalizado de oxidación al dicromato (reflujo cerrado) El cual en resumen se realiza calentando en condiciones de reflujo total (abierto), un volumen de muestra determinado con un exceso conocido de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en presencia de ácido sulfúrico (H_2SO_4), por un periodo mínimo de dos horas. En esta etapa se oxida la materia orgánica en la muestra. Se evidencia el consumo de dicromato por variación de color amarillo a color verdoso, efecto de reemplazo por el ión crómico. Se utiliza como catalizador el sulfato de plata (Ag_2SO_4); se mide por valoración titulométrica del dicromato restante utilizando una solución valorada de sulfato ferroso amoniacal [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$] (Ramalho,2003).

3.2.2.2. Determinación de la remoción de DQO en una solución acuosa de amoxicilina mediante sorción con dos concentraciones diferentes de biomasa seca de *E. crassipes* a escala de laboratorio.

Preparación de la solución de amoxicilina

Para la preparación de la disolución se empleó amoxicilina de 500mg, adquirida en una Empresa Farmacéutica y agua ultrapura para obtener una concentración de 150 mg/L. (Bonet et al., 2019). A esta solución preparada se le determinó la DQO, como valor referencial inicial.

Adición de la biomasa seca de *E. crassipes*

Posteriormente en dos recipientes de 1 L de capacidad, se vertió 0.5 L de la solución de amoxicilina de 150 mg/L y se le adicionó a cada recipiente las concentraciones de 400 mg/L y 800 mg/L de biomasa seca de *E. crassipes*. El tiempo de contacto de la solución de amoxicilina y la biomasa seca, será de 12 horas con agitación periódica (Sevcan et al., 2022). Finalmente, las muestras fueron filtradas y se le determinó la DQO según la metodología detallada en el objetivo anterior, en esta marcha experimental se consideró un testigo (Bonet et al., 2019). Cada tratamiento se realizó con tres réplicas.

3.2.2.3. Determinación de la remoción de DQO en una solución acuosa de amoxicilina mediante sorción con biomasa seca de *E. crassipes* a dos tiempos diferentes a escala de laboratorio.

Preparación de la disolución de amoxicilina

Para la preparación de la disolución se empleó amoxicilina de 500mg, adquirida en una Empresa Farmacéutica y agua ultrapura para obtener una concentración de 150 mg/L. (Bonet et al.,2019). A esta solución preparada se le determinó la DQO, como valor referencial inicial.

Especificación la biomasa seca de *E. crassipes* y de los tiempos de contacto

Posteriormente en dos recipientes de 1 L de capacidad, se vertió 0,5 L de la solución de amoxicilina de 150 mg/L y se le adicionó a cada recipiente la concentración de 800mg/L de biomasa seca de *E. crassipes*. Los tiempos de contacto de las soluciones de amoxicilina y la biomasa seca, fueron de 12 y 24 horas con agitación periódica. (Sevcan et al., 2022). Finalmente, las muestras fueron filtradas y se le determinó la DQO según la metodología detallada en el objetivo inicial, en esta marcha experimental se consideró un testigo (Bonet et al., 2019). Cada tratamiento se realizó con tres réplicas.

Determinación de la remoción de DQO en la solución de amoxicilina.

El porcentaje de remoción de DQO de la solución de amoxicilina fue medido después de cada tratamiento, según la ecuación:

$$\text{Remoción de DQO en la solución (\%)} = \frac{\text{DQO inicial} - (\text{DQO final} - \text{DQO testigo})}{\text{DQO inicial}} \times 100$$

3.2.2.4. Criterios de estudio

Nivel de investigación

Se desarrolló una investigación con nivel explicativo, en cual se tuvo que recolectar datos de las variables estudiadas, que sirvieron para probar una hipótesis con base en la medición numérica (Hernández et al., 2010).

Tipo de investigación

Hernández et al. (2010) mencionan que, si la investigación busca la aplicar de los conocimientos adquiridos para adquirir otros, situación que se ajusta al presente estudio entonces se trata de un tipo de investigación aplicada.

Método de investigación

Debido a que fue necesario el razonamiento para poder concluir a partir de los hechos demostrados, el método de investigación fue inductivo, y debido a que se estudió y se conocieron los resultados obtenidos el método analítico fue utilizado.

Diseño de investigación

Se produjo la manipulación de las variables independientes, por tanto, el diseño fue experimental y factorial 2^3 , ya que se trabajó con dos niveles y tres factores (Hernández et al., 2014).

Tabla 1. Variables de investigación.

Tipos de variable	Descripción de la variable	Dimensiones	Indicadores
Independientes	La sorción con biomasa seca de <i>E. crassipes</i>	1.La concentración de amoxicilina en la solución	Valores de 75 mg/L y 150 mg/L de amoxicilina.
		2.La concentración de <i>E. crassipes</i> .	Valores de 400 mg/L y 800 mg/L de biomasa seca de <i>E. crassipes</i> .
		3. Tiempo de contacto entre la solución de amoxicilina y la biomasa seca de <i>E. crassipes</i>	Valores de 12 horas y 24 horas.
Dependiente	Remoción de DQO en una solución acuosa de amoxicilina	La variación del valor de DQO en cada tratamiento	Variación de la concentración de DQO en el agua contaminada.

Tabla 2. Niveles para los factores de la investigación.

Variable de investigación	Factor A	Factor B	Factor C
	Concentración de la solución de amoxicilina	Concentración de biomasa seca de <i>E. crassipes</i>	El tiempo de contacto de solución de amoxicilina y biomasa
	Niveles	Niveles	Niveles
La sorción con biomasa seca de <i>E. crassipes</i>	75 mg/L	400 mg/L	12 horas
	150 mg/L	800 mg/L	24 horas

Tabla 3. Matriz de diseño de la investigación.

Nº	A	B	C	Remoción de DQO
	(mg /L amoxicilina)	(mg /L biomasa seca <i>E. crassipes</i>)	Tiempo de contacto: horas	(%)
1	-1	-1	+1	-
2	-1	-1	-1	-
3	-1	+1	+1	-
4	-1	+1	-1	-
5	+1	-1	+1	-
6	+1	-1	-1	-
7	+1	+1	+1	-
8	+1	+1	-1	-

A cada tratamiento se le realizará tres réplicas.

Donde:

A: Valores de la concentración de amoxicilina.

B: Valores de concentración de biomasa seca de *E. crassipes*

C: Tiempo de contacto en horas

3.2.2.5. Análisis estadístico

Se utilizó el programa InfoStat para realizar un análisis de varianza y establecer la significancia de los resultados obtenidos de los tratamientos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de la remoción de DQO en una solución acuosa de amoxicilina a dos concentraciones diferentes mediante sorción con biomasa seca de *E. crassipes* a escala de laboratorio

Tabla 4. Remoción de DQO con biomasa seca de *E. crassipes* en una solución a dos concentraciones de amoxicilina.

Concentración Amoxicilina en solución (mg/L)	DQO inicial (mg/L)	Biomasa seca <i>E. crassipes</i> (mg)	Tiempo de contacto (h)	DQO final promedio (mg/L)	Remoción promedio de DQO (%)
75	9 324	800	12	2 473	73,5
150	15 437	800	12	1 464	90,5

En la **Tabla 4**, se puede observar que el porcentaje de remoción de DQO es mayor en la solución que tiene mayor DQO inicial procedente de la disolución de la mayor concentración de amoxicilina, bajo condiciones de igual peso de biomasa de *E. crassipes* y el mismo tiempo de contacto. Esto indica que la cantidad de biomasa seca de *E. crassipes* utilizada desarrolla mayor capacidad de adsorción cuanto más saturada del fármaco se encuentra la solución acuosa, esto podría deberse al incremento de las posibilidades de contacto entre las partículas de *E. crassipes* y las moléculas hidrolizadas de amoxicilina, a esto podemos agregar que este fenómeno, demuestra que la biomasa seca utilizada tiene la capacidad de capturar moléculas ionizadas, lo cual se asocia a la presencia de grupos funcionales presentes en la superficie de la biomasa o a otras fuerzas de atracción por diferencias de cargas eléctricas en los iones que intervienen en este proceso.

Aydin et al. (2022) investigaron el efecto del uso de la biomasa seca de las raíces de *E. crassipes*, como complemento en el tratamiento de aguas residuales de la industria farmacéutica en reactores aeróbico de membrana con fibra hueca, de vidrio de 5 litros de volumen a escala de laboratorio, el agua residual fue preparada utilizando diversos antibióticos con una DQO de 1200 ppm y las pruebas fueron realizadas con 200 ppm, 400 ppm y 800 ppm de la raíz de *E. crassipes*, acondicionada con deshidratación y pulverizado, los resultados que obtuvieron fueron 97% de remoción de eritromicina como el máximo valor de remoción, sin embargo estos investigadores determinaron que la utilización de la biomasa seca de raíces de

jacinto de agua, solo incrementaron un 6% de la remoción de DQO, con respecto al testigo y debido a la tecnología de tratamiento utilizada, es decir reactores con acción de microorganismos, en lo cuales los resultados obtenidos se atribuyen más a la transformación biológica de los antibióticos y no a la sorción de antibióticos por efecto de la biomasa seca de jacinto de agua. Un aspecto que resaltar es que la remoción de DQO del agua se incrementó hasta los 8 días, luego, disminuyó, debido al efecto de los antibióticos sobre los microorganismos. Este resultado tiene similitud con la presente investigación, desde el punto de vista de la concentración de biomasa seca utilizada 800 mg/L, aunque la mayor eficiencia alcanzada es 90.5, debemos considerar que se trabajó con una DQO que 10 veces mal alta, proveniente de un antibiótico, que aparentemente fue adsorbido en forma significativa, resultado que lo aleja de asociarlo a algún efecto de transformación biológica, ya que la alta concentración del fármaco utilizada hubiese evitado la acción de microorganismos.

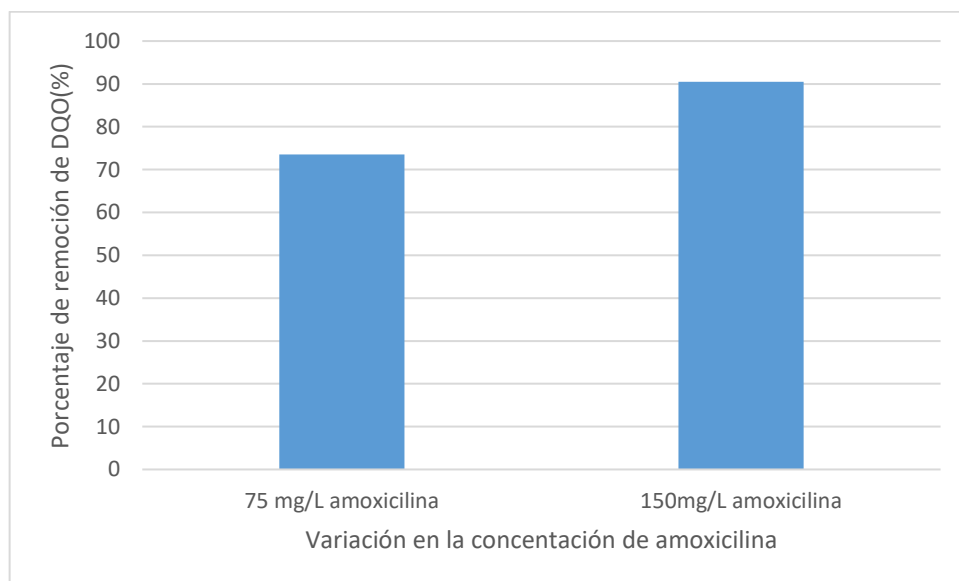


Figura 7. Remoción de DQO con biomasa de *E. crassipes* variando la concentración de amoxicilina.

4.2. Determinación de la remoción de DQO en una solución acuosa de amoxicilina mediante sorción con dos concentraciones diferentes de biomasa seca de *E. crassipes* a escala de laboratorio

En la **Tabla 5**, se observa que los resultados de las pruebas de remoción de DQO con diferentes concentraciones de biomasa seca de *E. crassipes*, en una solución con la misma concentración de amoxicilina y el mismo tiempo de contacto, es mayor cuando la concentración biomasa seca utilizada es mayor. Esto demuestra que a mayor concentración de biomasa seca

de *E. crassipes*, mayor remoción de DQO se logra. Esto podría explicarse por la mayor capacidad de adsorción que puede desarrollar la biomasa seca, por la mayor área superficial que se genera y que puede reaccionar con las moléculas hidrolizadas de amoxicilina. La dispersión de partículas de biomasa seca es mayor y su desplazamiento en el seno acuoso incrementa el contacto entre el fármaco y la biomasa seca.

Tabla 5. Remoción de DQO en una solución de amoxicilina a dos concentraciones de biomasa seca de *E. crassipes*.

Concentración Biomasa seca <i>E. crassipes</i> (mg/L)	Concentración Amoxicilina en solución (mg/L)	DQO inicial (mg/L)	Tiempo de contacto (h)	DQO final promedio (mg/L)	Remoción promedio de DQO (%)
400	150	15437	12	3239	79,0
800	150	15437	12	1573	89,8

La biomasa ha mostrado una fuerte afinidad por moléculas orgánicas complejas como los productos farmacéuticos. Esta afinidad está influenciada por un espectro de factores que gobiernan intrincadamente el proceso de adsorción, como la estructura química de la molécula contaminante, las condiciones predominantes del medio, la fuerza de interacción intra e intermolecular y las formas de contacto, entre otros. Además, estos factores que influyen están interconectados con la conformación química de la biomasa, la disposición de sus sitios activos y otras características morfológicas (Samarghandi et al., 2019).

La utilización de biomasa, para remoción de contaminantes en un medio acuoso, como en el caso de la presente investigación, donde se utilizó el fármaco amoxicilina, es una técnica que se encuentra en investigación, y se aplica con cierta frecuencia en las investigaciones, ya que como se ha puede observar en el presente estudio, la eficiencia que se obtiene es significativa, por tanto se trata de determinar las condiciones óptimas para su aplicación como adsorbente, en cuanto al tiempo de contacto y la concentración de adsorbato.

Pita et al. (2023) realizaron una revisión de las investigaciones respecto a adsorción de contaminantes en el agua, utilizando biomasas y afirmaron que las plantas terrestres representaron el 77 % de la biomasa utilizada para eliminar productos farmacéuticos debido a su amplia disponibilidad, abundancia y bajo costo. Este grupo incluye diferentes partes de las plantas, ricas en celulosa, hemicelulosa y lignina, incluyendo tallos, cáscaras, semillas y hojas, entre otros. Las plantas acuáticas presentan características similares a las terrestres y, por

tanto, son adecuadas para adsorber productos farmacéuticos. Por otro lado, las investigaciones con amoxicilina destacaron la utilización de carbón activado derivado de diversas biomásas, incluidos residuos agrícolas y desechos de madera.

La presente investigación tuvo como resultado una mayor remoción de amoxicilina en función a la reducción de la DQO, cuando se utilizó mayor concentración de biomasa de *E. crassipes*, la cual fue aplicada en como biomasa en polvo, lo cual favorece la adsorción del fármaco.

Daza-López et al. (2021) mencionan que cuanto menor sea el tamaño de las partículas de los materiales adsorbentes, mejor será la capacidad de adsorción observada. Esto se explica porque los tamaños de partículas más pequeños promueven el contacto entre el material y el medio. Por el contrario, las partículas grandes adsorben las moléculas de sorbato sólo en la superficie, mientras que los surcos internos permanecen desocupados. Cuando las partículas son pequeñas, el adsorbato puede llegar fácilmente a los surcos internos del adsorbente y, por tanto, mejorar su capacidad de adsorción. Bajo este criterio, los microorganismos han ganado relevancia en los sistemas de eliminación de contaminantes en medios acuosos. Aun así, sólo cinco de los artículos incluidos en este documento incluían microorganismos empleados para la adsorción de fármacos.

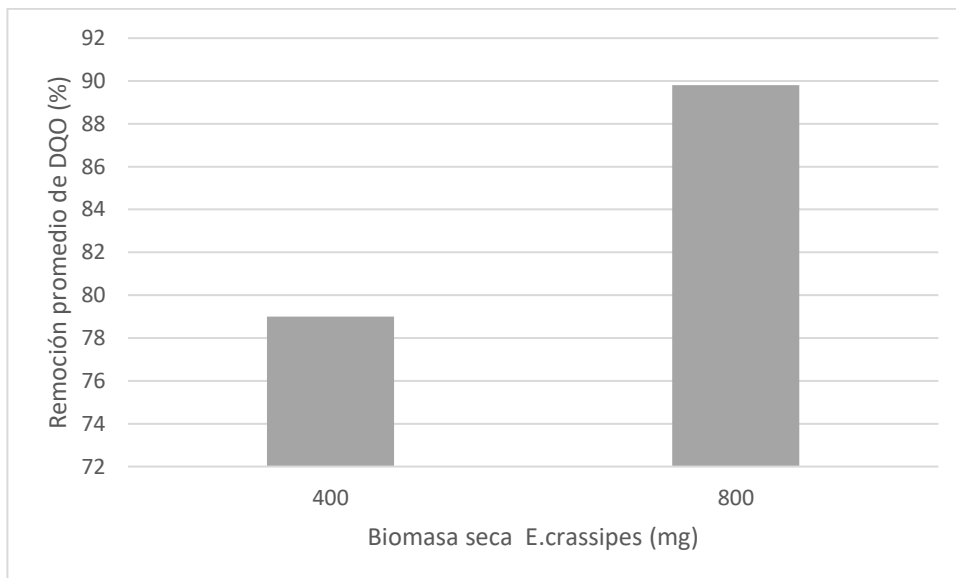


Figura 8. Variación del porcentaje de remoción de DQO a diferentes tiempos de biomasa seca de *E. crassipes*.

En la **Figura 8**, puede apreciarse la diferencia entre los valores de remoción de DQO por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de biomasa seca de la especie

E. crassipes, cuando se trabaja con iguales concentraciones de amoxicilina y de tiempo de contacto.

4.3. Determinación de la remoción de DQO en una solución acuosa de amoxicilina mediante sorción con biomasa seca de *E. crassipes* a dos tiempos diferentes a escala de laboratorio

Tabla 6. Remoción de DQO en una solución de amoxicilina con biomasa seca de *E. crassipes* a dos tiempos de contacto diferentes.

Tiempo de contacto (h)	Concentración Amoxicilina en solución (mg/L)	DQO inicial (mg/L)	Biomasa seca <i>E. crassipes</i> (mg)	DQO final promedio (mg/L)	Remoción promedio de DQO (%)
12	150	15 437	800	1 330	91,4
24	150	15 437	800	2 326	84,9

En la **Tabla 6**, se observa que el tiempo de contacto entre la biomasa seca de ña especie *E. crassipes* y el fármaco de amoxicilina en la solución, es una variable que influye en la concentración de DQO de la solución, ya que se comprobó que, al transcurrir el menor tiempo de contacto, se observó una mayor remoción de la DQO en la solución del ensayo, cuando se trabajó con iguales concentraciones de amoxicilina y de biomasa seca de *E. crassipes*. Este resultado podría ser un indicio que existe una adsorción de amoxicilina hasta cierto límite, que se relaciona a la capacidad de adsorción de la biomasa seca, luego al llegar a un punto de saturación del área superficial, las moléculas de amoxicilina de la capa superior, se van desprendiendo terminando en la solución conforme avanza el tiempo. En resumen, la cinética de remoción de DQO por efecto de la biomasa se ve afectada cuando el periodo de contacto se incrementa.

Yang et al. (2019) mencionan que el tiempo de contacto es otro factor fundamental, que varía según la afinidad entre el adsorbente y el adsorbato. Haciendo referencia que en una investigación los carbones porosos de las ramas de sauce, por ejemplo, exhibieron capacidades de hasta 1300 mg/g en 120 minutos. Por el contrario, los materiales carbonosos de los residuos de maíz y cáscara alcanzaron una capacidad de adsorción de sólo 7 mg/g incluso después de 15 días de contacto. Estos resultados subrayan la importancia de considerar el pretratamiento del material, el tiempo de contacto y otras condiciones iniciales como factores interconectados, en lugar de parámetros aislados. Lo mencionado en este párrafo, en cierta forma desestima la influencia del tiempo de contacto y describe una relación directa entre

ambos factores, sin embargo, en la investigación desarrollada los resultados evidencian influencia del tiempo de contacto, el cual fue de proporción inversa a la eficiencia de remoción del fármaco.

N'diaye et al. (2022) realizaron una investigación para determinar los factores que afectan la capacidad de adsorción del tinte azul de metileno utilizando diferentes especies de typha, entre los factores, consideraron el tiempo de contacto, estos autores hacen mención que el impacto del tiempo de contacto en la adsorción del tinte se llevó a cabo preparando una solución adsorbente-adsorbato con una cantidad fija de adsorbente y una concentración inicial de colorante para varios intervalos de tiempo antes de mezclarlo hasta obtener equilibrio. En cierta medida, hubo un aumento de la tasa de eliminación del tinte con un aumento en el tiempo de contacto. Más los aumentos en términos del tiempo de contacto no tuvieron impacto en el aumento de la absorción debido al proceso de deposición de colorantes en el sitio de adsorción disponible en el material adsorbente. El tiempo de contacto entre adsorbente y adsorbato disminuye significativamente y determinó el rendimiento de la eliminación del tinte azul de metileno. Los resultados mostraron que la capacidad de biosorción del azul de metileno aumentó con el aumento del tiempo de contacto alcanzando un pico a los 60 minutos. La biosorción fue rápida durante los primeros 10 minutos, seguida de una mayor duración con tendencia a la saturación hasta los 60 minutos. Estos resultados se asemejan a los obtenidos con la adsorción de amoxicilina utilizando biomasa de *E. crassipes*, ya que podría haberse producido una saturación del adsorbente, después de un periodo de tiempo, razón por la cual disminuye la adsorción en un tiempo de contacto mayor.

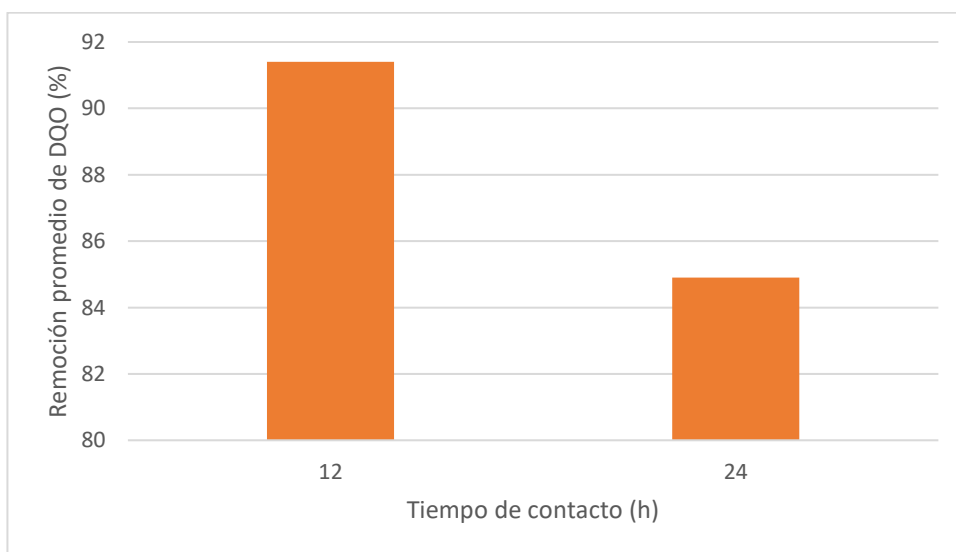


Figura 9. Variación del porcentaje de remoción a diferentes tiempos de contacto.

4.4. Evaluación de la remoción de DQO en soluciones con diferentes concentraciones de amoxicilina, biomasa seca de *E. crassipes* y tiempo de contacto

Tabla 7. Remoción de DQO en una solución de amoxicilina con diferentes concentraciones de amoxicilina, biomasa seca de *E. crassipes* y tiempo de contacto.

Tratamiento	Conc. Amoxicilina en solución (mg/L)	DQO inicial (mg/L)	Biomasa seca <i>E. crassipes</i> (mg)	Tiempo de contacto (h)	DQO final promedio (mg/L)	Remoción de DQO promedio (%)	Desviación estandar
1	75	9324	400	12	3549	61,93	1.46
2	75	9324	400	24	3925	57,90	1.66
3	75	9324	800	12	2319	75,13	1.19
4	75	9324	800	24	2766	70,33	1.46
5	150	15437	400	12	3201	79,27	0.95
6	150	15437	400	24	4194	72,83	0.61
7	150	15437	800	12	1348	91,27	1.4
8	150	15437	800	24	2274	85,27	1.15

En la **Tabla 7**, se presentan los resultados del diseño factorial 2^3 , donde se evaluó la influencia de tres factores: concentración de amoxicilina (A), dosis de biomasa seca de *E. crassipes* (B) y tiempo de contacto (C), cada uno en dos niveles. El análisis estadístico permitió identificar los efectos principales y las posibles interacciones.

En primer lugar, el factor A (concentración de amoxicilina) fue el más influyente. Al pasar de 75 mg/L a 150 mg/L, la remoción promedio aumentó en más de 15 puntos porcentuales (de 66,3 % a 82,2 %). Esto confirma que la biomasa responde de manera más eficiente cuando la solución está más saturada de moléculas del fármaco, lo que favorece la probabilidad de contacto entre adsorbente y adsorbato y explica por qué los tratamientos con 150 mg/L obtuvieron los valores más altos de remoción, alcanzando hasta 91,27 %.

El factor B (biomasa) también tuvo un efecto significativo y positivo. Con 400 mg de biomasa la remoción promedio fue de 68,0 %, mientras que con 800 mg se elevó a 80,5 %. Este aumento de casi 12 puntos porcentuales confirma que una mayor cantidad de biomasa incrementa la superficie activa y la disponibilidad de grupos funcionales, potenciando el proceso de adsorción.

En contraste, el factor C (tiempo de contacto) mostró un efecto negativo. Aunque en teoría más tiempo podría favorecer la adsorción, en este caso ocurrió lo contrario: a las 12 horas la remoción promedio fue de 76,9 %, mientras que a las 24 horas descendió a 71,6 %.

Esto demuestra que el sistema alcanza un punto de saturación en torno a las 12 horas, y que periodos más prolongados no incrementan la eficiencia, sino que generan una ligera desorción.

Respecto a las interacciones entre factores (AB, AC, BC y ABC), el análisis estadístico mostró que fueron mínimas en comparación con los efectos principales. El comportamiento de la adsorción está dominado casi en su totalidad por los factores individuales, en particular la concentración de amoxicilina y la dosis de biomasa. En conjunto, el tratamiento 7 (150 mg/L, 800 mg de biomasa, 12 h) fue el más eficiente con 91,27 % de remoción, confirmando que la mejor condición se da con alta concentración de fármaco, alta dosis de biomasa y tiempo de contacto moderado.

En general, la capacidad de adsorción no sigue un patrón predefinido que permita predecir su valor en función del tipo de biomasa. La capacidad de adsorción puede ser notablemente alta o excepcionalmente bajo para un adsorbente determinado. Una de las razones de capacidades de adsorción tan variadas es la diferencia en las condiciones de estudio (es decir, dosis de adsorbente, pH, tiempo de contacto, temperatura y concentración inicial). Sin embargo, algunos estudios han evaluado consistentemente la influencia de estas condiciones mediante pruebas de pH y temperatura, cambios, ampliando los tiempos de proceso y variando la dosis de adsorbente, con bajas capacidades de adsorción casi sin cambios. Por lo tanto, más allá de las condiciones del sistema, el proceso general de adsorción se rige principalmente por la afinidad adsorbente-adsorbato. Esta afinidad está estrechamente relacionada con las características morfológicas y la composición de la superficie del adsorbente. Para mejorar el proceso de adsorción, es necesario modificar las propiedades del adsorbente y las interacciones con el adsorbato (Pita et al., 2023).

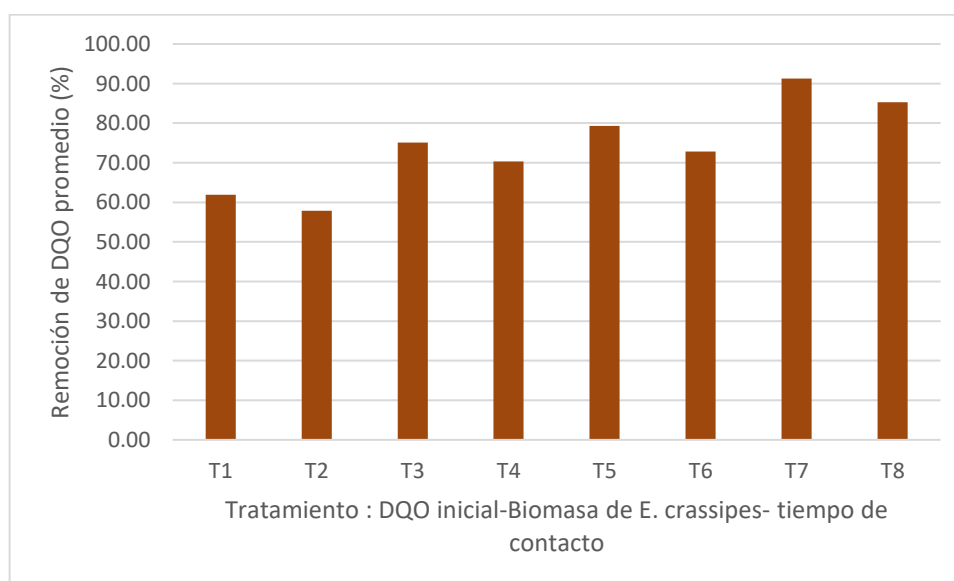


Figura 10. Porcentaje de remoción a diferentes tratamientos aplicados.

N'diaye et al. (2022) realizan un análisis de resultados en su investigación en adsorción, cruzando información de los resultados obtenidos, estos investigadores afirman que la relación entre la concentración de colorante y los sitios de unión disponibles en una superficie adsorbente, determinaron los efectos del factor de concentración inicial de tinte. Tal efecto se hizo agitando la solución adsorbente-adsorbato usando una dosis fija de adsorbente con diferentes concentraciones iniciales de colorante para diferentes intervalos de tiempo de procesamiento hasta alcanzar equilibrio. El equilibrio de biosorción aumentó de 32,054 a 119,08 mg/g con un aumento en la concentración inicial. Por el contrario, el porcentaje de azul de metileno absorbido disminuyó del 96,2 al 89,30% con el supuesto de que el bajo porcentaje en la eliminación de azul de metileno a alta concentraciones procedían de sitios de adsorción saturados que requerían más tiempo para alcanzar el equilibrio. Este análisis guarda relación con los resultados obtenidos en la investigación desarrollada, donde las pruebas con mayor concentración del fármaco amoxicilina, mayor concentración de biomasa de *E. crassipes* y el menor tiempo de contacto, tuvo mayor eficiencia.

4.5. Resultados del análisis estadístico

Del análisis estadístico aplicado con el software Info Stat, se puede afirmar que la remoción de DQO en las soluciones acuosas de todos los tratamientos aplicados con diferentes concentraciones de amoxicilina, diferentes concentraciones de biomasa seca de *E. crassipes* y diferentes tiempos de contacto, presentan diferencia significativa, según la prueba de Tukey realizada con un intervalo de confianza de 95% (ver anexo 8.2).

Medidas resumen									
Conc. Amoxicilina (mg/L)	Biomasa <i>E.crassipes</i> (mg)	Tiempo (h)	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	
75.00	400.00	12.00	Remoción de DQO (%)	3	61.93	1.46	60.40	63.30	
75.00	400.00	24.00	Remoción de DQO (%)	3	57.90	1.66	56.70	59.80	
75.00	800.00	12.00	Remoción de DQO (%)	3	75.13	1.19	74.30	76.50	
75.00	800.00	24.00	Remoción de DQO (%)	3	70.33	1.46	68.70	71.50	
150.00	400.00	12.00	Remoción de DQO (%)	3	79.27	0.95	78.30	80.20	
150.00	400.00	24.00	Remoción de DQO (%)	3	72.83	0.61	72.30	73.50	
150.00	800.00	12.00	Remoción de DQO (%)	3	91.27	1.40	89.70	92.40	
150.00	800.00	24.00	Remoción de DQO (%)	3	85.27	1.15	84.10	86.40	

Figura 11. Resumen estadístico básico de los resultados de los tratamientos.

4.5.1. Análisis de varianza

El análisis de varianza mostro que los factores concentración de amoxicilina, biomasa seca y tiempo de contacto presentan efectos altamente significativos ($p < 0.0001$) sobre la remoción de DQO. El valor elevado de F en cada factor indica que las diferencias observadas entre los niveles de los tratamientos no son productos del azar. El modelo general explica 99 % de la variabilidad total ($R^2 = 0.99$), lo que demuestra un excelente ajuste estadístico y una baja dispersión experimental ($CV = 1.70\%$). La varianza residual es mínima, lo que confirma la homogeneidad y precisión del experimento

Resultado del análisis de varianza factorial.

Tabla 8. Resultado del análisis de varianza factorial.

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2613.77	3	871.26	544.73	<0.0001
Conc. Amoxicilina en solución	1504.17	1	1504.17	940.45	<0.0001
Biomasa seca E. crassipes.	940	1	940	587.72	<0.0001
Tiempo de contacto (h)	169.6	1	169.6	106.04	<0.0001
Error	31.99	20	1.6		
Total	2645.76				
$R^2 = 0.99$ $R^2(aj) = 0.99$ $CV = 1.70\%$					

Fuente : Elaboración propia.

4.5.2. Pruebas tukey

La prueba de comparación múltiples de Tukey ($\alpha = 0.05$) evidencio diferencias altamente significativas entre los niveles de cada factor. En todos los casos los niveles superiores de los factores (150 mg/L de amoxicilina, 800 mg/L de biomasa y 12 h de tiempo de contacto) se agrupan en la categoría B, indicando una mayor media de remocion de DQO.

Los niveles inferiores (75 mg/L de amoxicilina, 400 mg/L de biomasa y 24 h de tiempo de contacto) pertenecen al grupo A, confirmando diferencias estadísticas entre ambos niveles. Estos resultados corroboran los hallazgos del ANOVA, donde los tres factores presentaron efectos significativos y consistentes.

Tabla 9. Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey

Factor	Nivel	Media (%)	E.E	Grupo
Amoxicilina (mg/L)	75	66.33	0.37	A
Amoxicilina (mg/L)	150	82.16	0.37	B
Biomasa (mg/L)	400	67.98	0.37	A
Biomasa (mg/L)	800	80.5	0.37	B
Tiempo (h)	24	71.58	0.37	A
Tiempo (h)	12	76.9	0.37	B

Fuente : Elaboracion propia

4.5.3. Graficas de Pareto estandarizada – Remoción de DQO.

El analisis de efectos estandarizados en la **Figura 12** evidencia que los afactores A (concentracion de amoxicilina) y B (biomasa seca de *E. Crassipies*) presentan los mayores valores t, superando el umbral de significancia ($p < 0.05$). El factor C (tiempo de contacto) mostro un efecto significativo de menor magnitud, mientras que las interacciones (AB, AC, BC Y ABC) no resultaron significativas. Este comportamiento confirma los resultados del ANOVA, indicando un modelo aditivo con predominancia de los efectos principales.

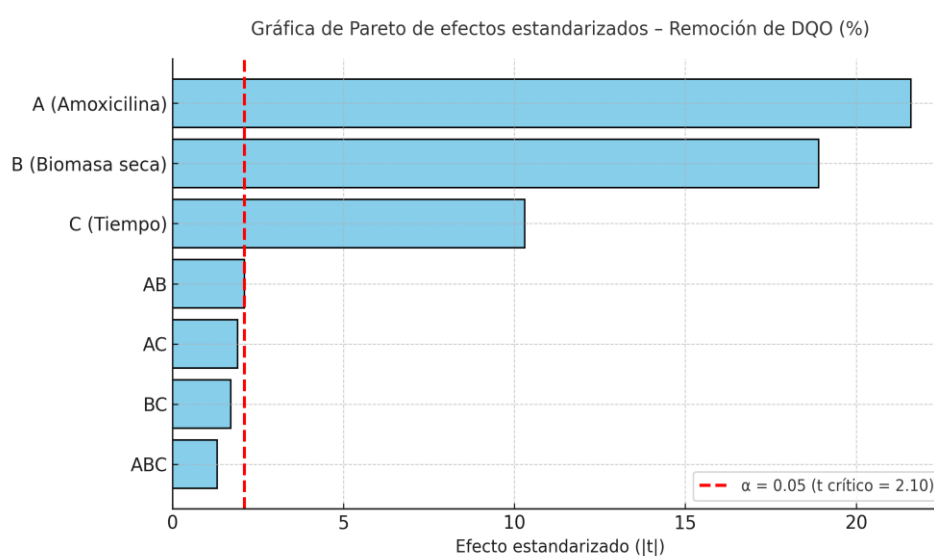


Figura 12 Grafico de pareto con los resultados estandarizados correspondientes al diseño factorial.

4.5.4. Grafica de Pareto no estandarizado – Remoción de DQO.

La gráfica de Pareto no estandarizada de la **Figura 13**, muestra la magnitud real de los efectos de cada factor sobre la remoción de DQO (%). Los factores A (concentración de amoxicilina) y B (biomasa seca) presentan los mayores incrementos, con variaciones de +15.83 % y +12.52 %, respectivamente, mientras que el factor C (tiempo de contacto) ejerce un efecto negativo de -5.32 %, indicando que un mayor tiempo reduce levemente la eficiencia de remoción. Las interacciones (AB, AC, BC y ABC) exhiben efectos menores a ± 2 %, lo que sugiere que su contribución práctica es poco relevante. Esta gráfica complementa el análisis estandarizado, aportando una perspectiva directa sobre la magnitud física de los efectos observados.

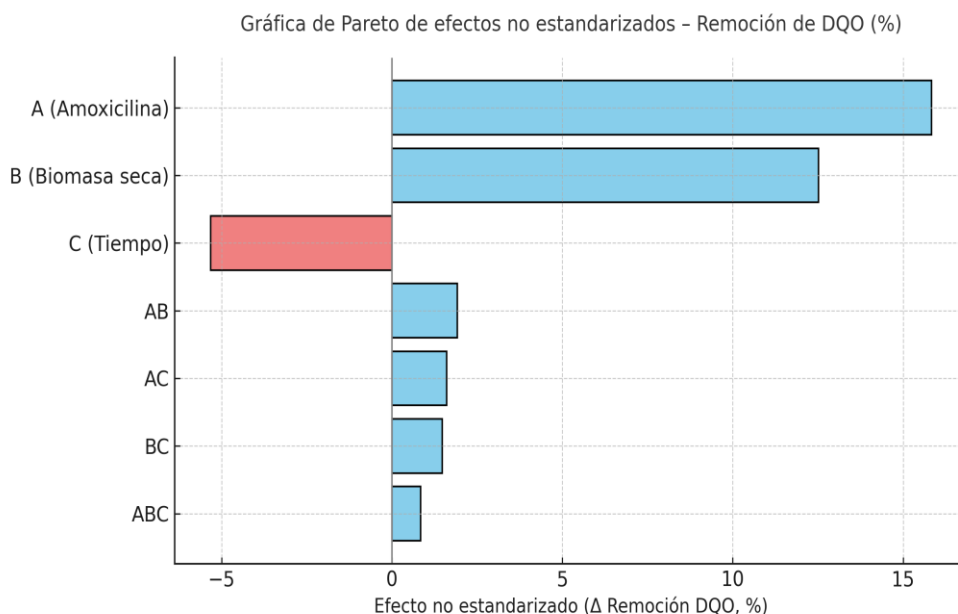


Figura 13 Grafica de pareto de efectos no estandarizados correspondientes al análisis factorial.

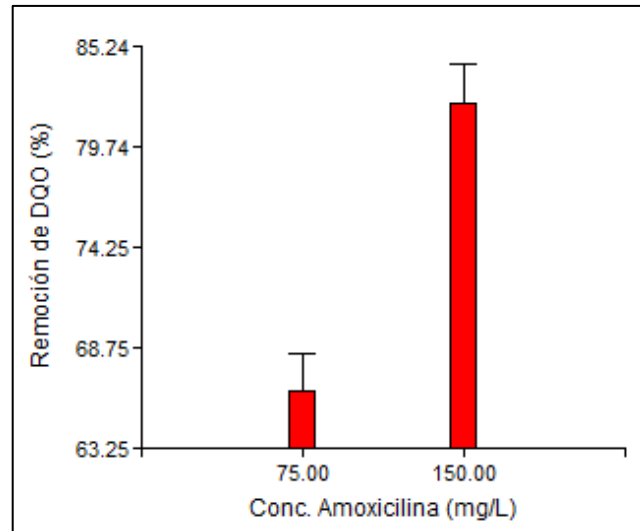


Figura.14. Gráfico de barras de los tratamientos aplicados a diferentes concentraciones de amoxicilina.

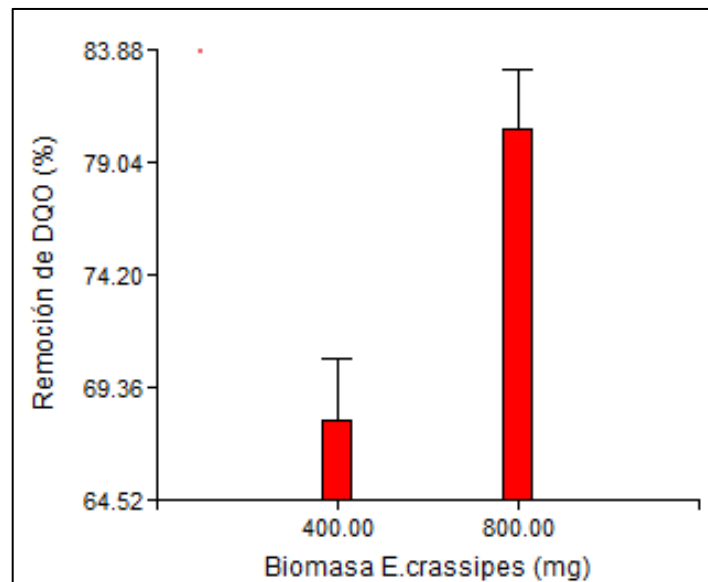


Figura 15. Gráfico de barras de los tratamientos aplicados a diferentes concentraciones de biomasa seca de *E. crassipes*.

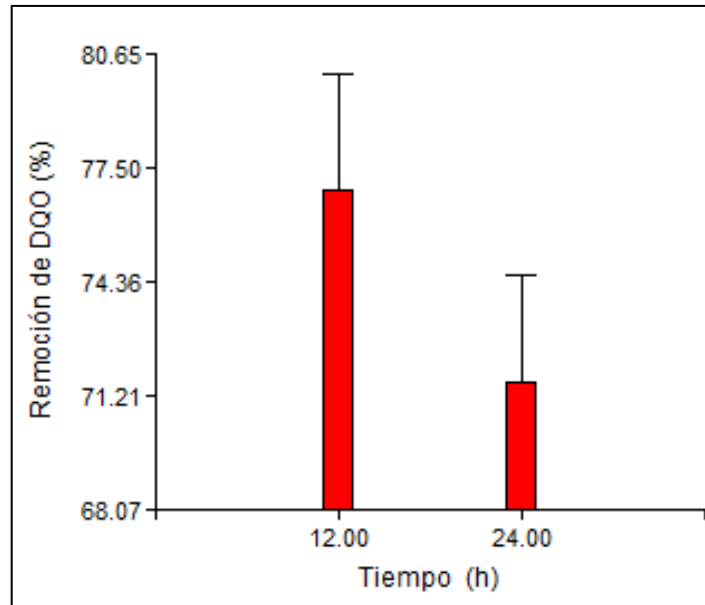


Figura 16. Gráfico de barras de los tratamientos aplicados a diferentes tiempos de contacto.

En las **Figuras 14, 15 y 16**, se observa que en los tratamientos aplicados los resultados presentan una dispersión similar en los valores medidos a 75 mg/l y 150 mg/l de amoxicilina , a 400 mg y 800 mg de biomasa seca de *E. crassipes* y a 12 horas y 24 horas de tiempo de contacto, por lo tanto son confiables. Así lo indican la similitud de la prolongacion encima de las barras.

V. CONCLUSIONES

1. La remoción de DQO en una solución acuosa con amoxicilina, utilizando biomasa seca de *E. crassipes* es mayor, cuando la concentración inicial de amoxicilina es mayor.
2. La remoción de DQO en una solución acuosa con amoxicilina utilizando biomasa seca de *E. crassipes* es mayor, cuando se aplica mayor peso de biomasa seca.
3. La remoción de DQO en una solución acuosa de amoxicilina utilizando biomasa seca de *E. crassipes* es mayor, cuando menor es el tiempo de contacto.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Realizar investigaciones para ampliar la información de la capacidad de la *E. crassipes* para remoción de otros fármacos que forman parte de la gama de contaminantes emergentes en el agua, tales como analgésicos, antidepresivos, etc.
2. Realizar investigaciones para ampliar la información de la capacidad de adsorción de otras biomásas secas de especies que se utilizan en la fitorremediación de medios acuosos para remoción de otros fármacos.
3. Realizar investigaciones donde se realicen pruebas con otros parámetros fisicoquímicos para determinar su influencia en la eficiencia de este tipo de procesos y optimizar la remoción de este tipo de contaminantes presentes en medios acuosos.

VII. REFERENCIAS

- Atehortua, E., y Gartner, C. (2013). Estudios preliminares de la biomasa seca de *Eichhornia crassipes* como adsorbente de plomo y cromo en aguas. *Revista Colombiana de Materiales*, 1(4), 81-92.
- Aydin, S., Arabacı, D. N., Shahi, A., Fakhri, H., & Ovez, S. (2022). Enhanced removal of antibiotics using *Eichhornia crassipes* root biomass in an aerobic hollow-fiber membrane bioreactor. *Biofouling*, 38(3), 223–234. <https://doi.org/10.1080/08927014.2022.2045484>
- Bonet, M., Bataller, M., Veliz, E., Piloto, J., Fernández, L. A., y Ledea, O. (2019). Tratamiento con ozono de disoluciones acuosas de amoxicilina *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 50(1), 80-102. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181262827011>
- Cantafio, F. (2017). *Medicamentos*. Ministerio de Salud de la Presidencia de la Nación, Argentina, <https://salud.gob.ar/dels/printpdf/132#:~:text=En%20una%20acepci%C3%B3n%2C%20el%20medicamento,ordenado%2C%201993%E2%80%93%2C%20art.>
- Carreño-Sayago, U. F., & Rodríguez-Parra, C. (2019). *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms: un sistema integral de fitorremediación y bioenergía. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 25(3), 399-411. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.06.051>
- Chigbo, F.E., Smith, R.W., & Shore, F. L. (1982). Uptake of arsenic, cadmium, lead and mercury from polluted waters by the water hyacinth *Eichornia crassipes*. *Environ. Pollut. A*, 27: 31-36.
- Daza-Lopez, E., Fernández-Andrade, K., De Q. Nobrega, R., Zambrano, L., Villanueva, G., Quiroz-Fernández, L., Montenegro, M, & Rodríguez-Díaz, J. (2021). Modified or functionalized natural bioadsorbents: new perspectives as regards the elimination of environmental pollutants, in: N. R. Maddela, L.C. García Cruzatty, S. Chakraborty (Eds.), *Advances in the Domain of Environmental Biotechnology: Microbiological Developments in Industries, Wastewater Treatment and Agriculture*, Springer, Singapore, pp. 195–225, https://doi.org/10.1007/978-981-15-8999-7_8.
- Gaertner, M., Larson, B. M. H., Irlich, U. M., Holmes, P. M., Stafford, L., Van Wilgen, B., & Richardson, D. (2016). Managing invasive species in cities: A framework from Cape Town, South Africa. *Landscape and Urban Planning*, 151, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.03.010>
- Gakwavu, R. J., Sekemo, B. C., & Nhapi, I. (2012). Zinc and chromium removal mechanisms from industrial wastewater by using water hyacinth, *Eichhornia crassipes* (Mart.)

- Solms. *Applied Ecology and Environmental Research*, 10(4), 493–502.
https://doi.org/10.15666/aeer/1004_493502
- Gutiérrez, P., Aradillas, D., y Acosta, I. (2021). Aplicación de la biomasa de *Eichhornia crassipes* en la remoción de Cd^{+2} en aguas contaminadas por desechos industriales. *Av. cien. ing.*, 12(3), 17-29.
- Havel, J. E., Kovalenko, K. E., Thomaz, S. M., Amalfitano, S., & Kats, L. B. (2015). Aquatic invasive species: challenges for the future. *Hydrobiologia*, 750, 147–170.
<https://doi.org/10.1007/s10750-014-2166-0>
- Heard, T. A., & Winterton, S. L. (2000). Interactions between nutrient status and weevil herbivory in the biological control of water hyacinth. *Journal of Applied Ecology*, 37, 117-127. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2000.00480.x>
- Hellmann, J. J., Byers, J. E., Bierwagen, B. G., & Dukes, J. S. (2008). Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology*, 22(3), 534–543. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00951.x>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación* (5ª ed.). McGraw-Hill / Interamericana editores, S.A. de C.V..
- Malik, A. (2007). Environmental challenge vis a vis opportunity: the case of water hyacinth. *Environment International*, 33(1), 122-138.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.08.004>
- N'diaye, A. D., Kankou, M. S. A., Hammouti, B., Nandiyanto, A. B. D., & Al Husaeni, D. F. (2022). A review of biomaterial as an adsorbent: From the bibliometric literature review, the definition of dyes and adsorbent, the adsorption phenomena and isotherm models, factors affecting the adsorption process, to the use of typha species waste as adsorbent. *Communications in Science and Technology*, 7, 140-153. doi: 10.21924/cst.7.2.2022.977.
- Nesslage, G. M., Wainger, L. A., Harms, N. E., & Cofrancesco, A. F. (2016). Quantifying the population response of invasive water hyacinth, *Eichhornia crassipes*, to biological control and winter weather in Louisiana, USA. *Biological Invasions*, 18(7), 2107–2115.
<https://doi.org/10.1007/s10530-016-1155-9>
- Pacheco, L. (2021). *Capacidad de Adsorción de plomo (II) mediante el uso de totora (Scirpus californicus), en las aguas contaminadas* [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional UNCP.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7726>

- Patel, S. (2012). Threats, management and envisaged utilizations of aquatic weed *Eichhornia crassipes*: an overview. *Reviews Environment Science of Biotechnology*, 11, 249–259. <https://doi.org/10.1007/s11157-012-9289-4>
- Pita, M., Fernández-Andrade, K., Quiroz-Fernández, S., Rodríguez-Díaz, J., & Andrade, C. (2023). Assessment of biomass as an effective adsorbent for the removal of pharmaceutical compounds: A literature review, *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100596. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100596>.
- Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial Reverté, S.A.
- Saglimbeni, M. (2002). Uso terapéutico de la Amoxicilina-Ácido Clavulánico en la enfermedad periodontal. *Acta Odontológica Venezolana*, 40(3), 320-328. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-63652002000300015&lng=es&tlng=es.
- Samarghandi, M., Asgari, G., Shokoohi, R., Dargahi, A., & Arabkouhsar A. (2019). Removing amoxicillin antibiotic from aqueous solutions by *Saccharomyces cerevisiae* bioadsorbent: kinetic, thermodynamic and isotherm studies. *Desalination and Water Treatment*, 152, 306–315. doi: 10.5004/dwt.2019.23941.
- Sánchez, J., González, R., Blancas, F., y Fonseca-Cantabrana, Á. (2020). Utilización de subproductos agroindustriales para la bioadsorción de metales pesados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23, 1-18. 10.22201/fesz.23958723e.2020.0.261.
- Sevcan, A., Arabacı, D. N., Shahi, A., Fakhri, H., & Ovez, S. (2022). Enhanced removal of antibiotics using *Eichhornia crassipes* root biomass in an aerobic hollow-fiber membrane bioreactor. *Biofouling*, 38(3), 223-234. <https://doi.org/10.1080/08927014.2022.2045484>
- Silva, J., Morantea, L., Morenoa, C., Cuizanoa, N., Navarro, A., y Llanos, B. (2018). Mejora de las propiedades adsorptivas de biomateriales mediante modificaciones químicas en la eliminación de antibióticos. *Rev Soc Quím Perú*, 84(2), 183-196.
- Wikipedia. (2005). *Archivo Amoxicilina.png*. <https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Amoxicilina.png>
- Yang, J., Dai, J., Wang, L., Ge, W., Xie, A., He J., & Yan Y. (2019). Ultrahigh adsorption of tetracycline on willow branche-derived porous carbons with tunable pore structure: isotherm, kinetics, thermodynamic and new mechanism study. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, 96, 473-482. 10.1016/j.jtice.2018.12.017

- Yi, Z. J., Yao, J., Chen, H. L., Wang, F., Yuan, Z. M., & Liu, X. (2016). Uranium biosorption from aqueous solution onto *Eichhornia crassipes*. *Journal of Environmental Radioactivity*, *154*, 43–51. doi: 10.1016/j.jenvrad.2016.01.012
- Zhou, W., Zhu, D., Langdon, A., Li, L., Liao, S., & Tan, L. (2009). The structure characterization of cellulose xanthogenate derived from the straw of *Eichhornia crassipes*. *Bioresource Technol.*, *100*, 5366-5369.

ANEXO

Anexo A. Datos experimentales de la investigación

Tabla 10. Remoción de DQO con biomasa seca de *E. crassipes* a dos concentraciones diferentes de amoxicilina.

Trat.	Réplica	Conc. Amoxicilina en solución (mg/L)	DQO inicial (mg/L)	Biomasa seca <i>E. crassipes</i> (mg)	Tiempo de contacto (h)	DQO final (mg/L)	Remoción de DQO (%)
TA1	1R	75	9324	800	12	2643	71,7
	2R	75	9324	800	12	2536	72,8
	3R	75	9324	800	12	2241	76,0
TA2	1R	150	15437	800	12	1620	89,5
	2R	150	15437	800	12	1345	91,3
	3R	150	15437	800	12	1428	90,7

Tabla 11. Remoción de DQO dos concentraciones diferentes de biomasa de *E. crassipes*.

Trat.	Réplica	Conc. Amoxicilina en solución (mg/L)	DQO inicial (mg/L)	Biomasa seca <i>E. crassipes</i> (mg)	Tiempo de contacto (h)	DQO final (mg/L)	Remoción de DQO (%)
TB1	1R	150	15437	400	12	3125	79,8
	2R	150	15437	400	12	3226	79,1
	3R	150	15437	400	12	3365	78,2
TB2	1R	150	15437	800	12	1718	88,9
	2R	150	15437	800	12	1537	90,0
	3R	150	15437	800	12	1463	90,5

Tabla 12. Remoción de DQO con biomasa de *E. crassipes* a dos tiempos de contacto diferentes.

Trat.	Réplica	Conc. Amoxicilina en solución (mg/L)	DQO inicial (mg/L)	Biomasa seca <i>E. crassipes</i> (mg)	Tiempo de contacto (h)	DQO final (mg/L)	Remoción de DQO (%)
Tt1	1R	150	15437	800		1389	91,0
	2R	150	15437	800	12	1254	91,9
	3R	150	15437	800		1346	91,3
Tt2	1R	150	15437	800		2351	84,8
	2R	150	15437	800	24	2157	86,0
	3R	150	15437	800		2469	84,0

Tabla 13. Remoción de DQO en soluciones con diferentes concentraciones de amoxicilina, biomasa seca de *E. crassipes* y tiempo de contacto.

Trat.	Réplica	Conc. Amoxicilina en solución (mg/L)	DQO inicial (mg/L)	Biomasa seca <i>E.</i> <i>crassipes</i> (mg)	Tiempo de contacto (h)	DQO final (mg/L)	Remoción de DQO (%)
1	1R	75	9324	400	12	3422	63,3
	2R	75	9324	400	12	3692	60,4
	3R	75	9324	400	12	3534	62,1
2	1R	75	9324	400	24	3748	59,8
	2R	75	9324	400	24	4037	56,7
	3R	75	9324	400	24	3991	57,2
3	1R	75	9324	800	12	2368	74,6
	2R	75	9324	800	12	2396	74,3
	3R	75	9324	800	12	2191	76,5
4	1R	75	9324	800	24	2657	71,5
	2R	75	9324	800	24	2918	68,7
	3R	75	9324	800	24	2723	70,8
5	1R	150	15437	400	12	3350	78,3
	2R	150	15437	400	12	3195	79,3
	3R	150	15437	400	12	3057	80,2
6	1R	150	15437	400	24	4214	72,7
	2R	150	15437	400	24	4276	72,3
	3R	150	15437	400	24	4091	73,5
7	1R	150	15437	800	12	1590	89,7
	2R	150	15437	800	12	1173	92,4
	3R	150	15437	800	12	1281	91,7
8	1R	150	15437	800	24	2099	86,4
	2R	150	15437	800	24	2454	84,1
	3R	150	15437	800	24	2269	85,3

Resultados del análisis estadístico con el software estadístico InfoStat (Versión libre)

Análisis de la varianza

Remoción de DQO (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Remoción de DQO (%)	24	0.99	0.99	1.70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2613.77	3	871.26	544.73	<0.0001
Conc. Amoxicilina en soluc..	1504.17	1	1504.17	940.45	<0.0001
Biomasa seca E.crassipes ..	940.00	1	940.00	587.72	<0.0001
Tiempo de contacto (h)	169.60	1	169.60	106.04	<0.0001
Error	31.99	20	1.60		
Total	2645.76	23			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.07699

Error: 1.5994 gl: 20

Conc. Amoxicilina en soluc.. Medias n E.E.

75.00 66.33 12 0.37 A

150.00 82.16 12 0.37 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.07699

Error: 1.5994 gl: 20

Biomasa seca E.crassipes .. Medias n E.E.

400.00 67.98 12 0.37 A

800.00 80.50 12 0.37 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.07699

Error: 1.5994 gl: 20

Tiempo de contacto (h) Medias n E.E.

24.00 71.58 12 0.37 A

12.00 76.90 12 0.37 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

DQO final (mg/L)					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
DQO final (mg/L)	24	0.92	0.91	9.41	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	17955188.00	3	5985062.67	77.86	<0.0001
Conc. Amoxicilina en soluc..	892432.67	1	892432.67	11.61	0.0028
Biomasa seca E.crassipes ..	14241922.67	1	14241922.67	185.28	<0.0001
Tiempo de contacto (h)	2820832.67	1	2820832.67	36.70	<0.0001
Error	1537359.83	20	76867.99		
Total	19492547.83	23			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=236.10425
 Error: 76867.9917 gl: 20

Conc. Amoxicilina en soluc..	Medias	n	E.E.	
150.00	2754.08	12	80.04	A
75.00	3139.75	12	80.04	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=236.10425
 Error: 76867.9917 gl: 20

Biomasa seca E.crassipes ..	Medias	n	E.E.	
800.00	2176.58	12	80.04	A
400.00	3717.25	12	80.04	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=236.10425
 Error: 76867.9917 gl: 20

Tiempo de contacto (h)	Medias	n	E.E.	
12.00	2604.08	12	80.04	A
24.00	3289.75	12	80.04	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Figura 17. Resultados del análisis de varianza de los datos experimentales.

Panel de fotografías



Figura 18. Estufa utilizada en la investigación para el secado de la *E. crassipes*.



Figura 19. Acondicionamiento de la *E. crassipes* antes de ingresar a la estufa.

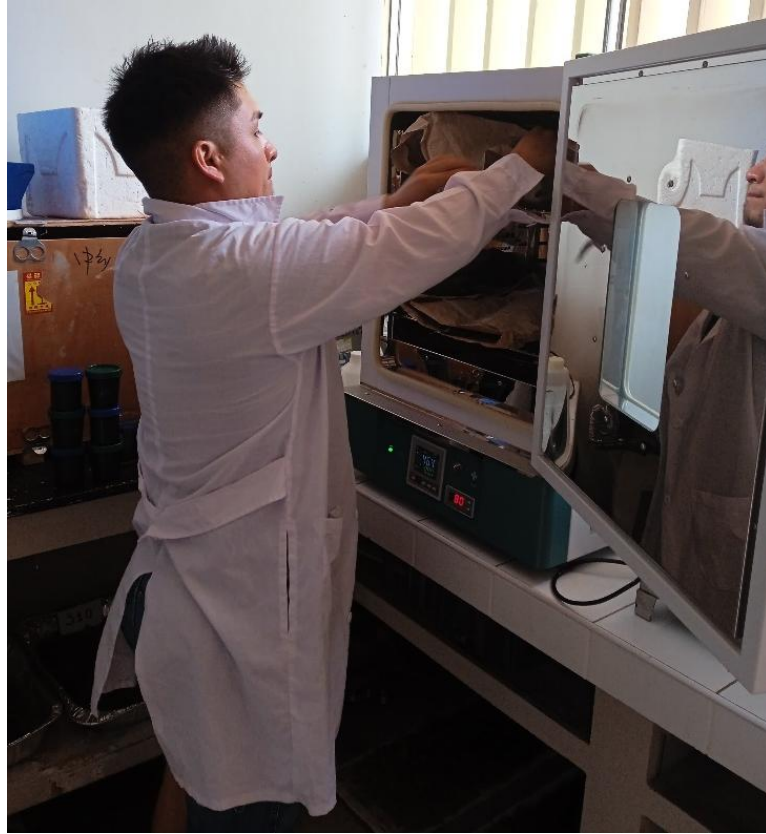


Figura 20. Colocación de la *E. crassipes* en la investigación.



Figura 21. Aspecto de la *E. crassipes* después del secado en la estufa.



Figura 22. Revisión de la biomasa seca antes de su acondicionamiento.



Figura23. Pesado de la amoxicilina para preparación de las soluciones.



Figura.24 Molienda de la biomasa seca de *E. crassipes*.



Figura 25. Revisión de la biomasa seca de *E. crassipes* molida.



Figura 26. Aspecto de las plantas de *E. crassipes* deshidratadas.



Figura 27. Aplicación de los tratamientos de la investigación.



Figura.28. Aspectos del agua después de tratamiento a diferentes condiciones.



Figura.29. Lugar de extracción de la *E. crassipes* (agua estancada).



Figura.30. Presencia de flores que caracteriza a la especie *E. crassipes*.



Figura.31. Procesamiento de muestras para el análisis de DQO.

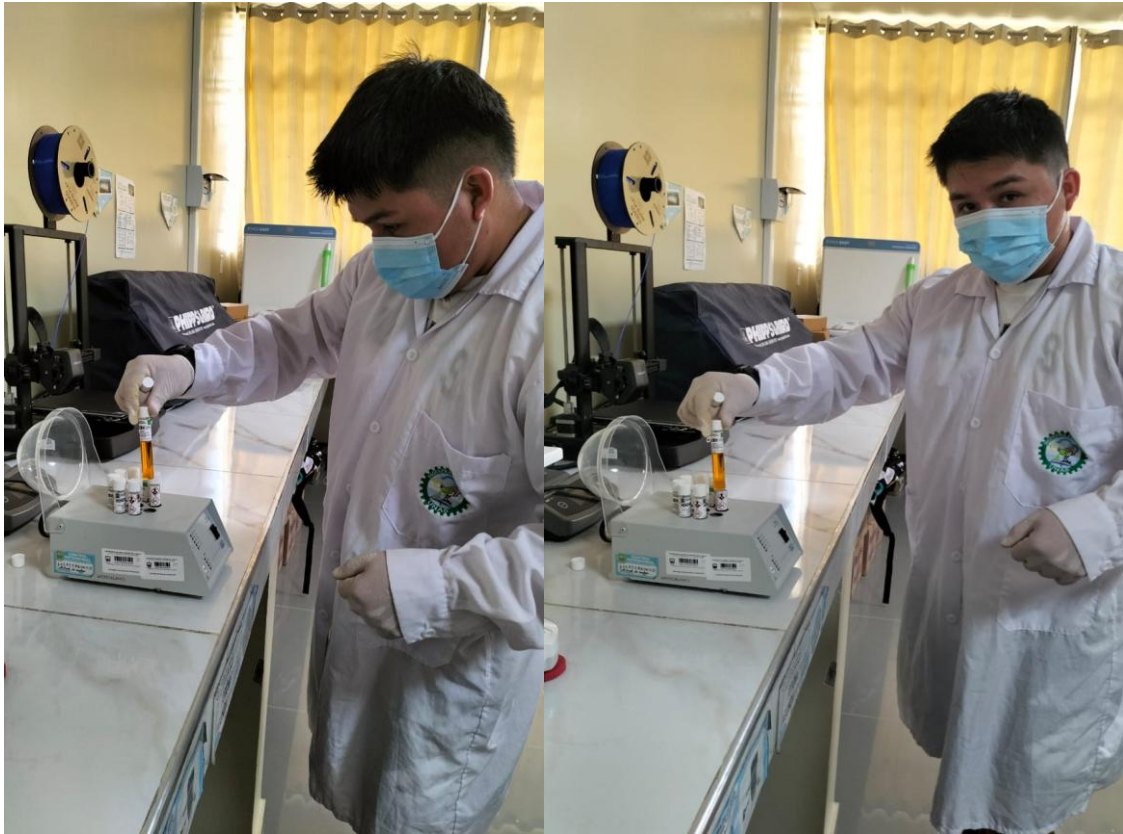


Figura.32. Digestión de las muestras para el análisis de DQO.



Figura.33. Fotómetro multiparamétrico para la medición de la DQO .



Figura.34. Medición de la DQO a las muestras digeridas.



Figura.35. Reactivos químicos para la determinación de la DQO.