

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**EVALUACIÓN DE BIOMASA DESHIDRATADA DE MACROFUNGI EN LA
REMOCIÓN DE TINTE ORGÁNICO EXTRAÍDO DEL *Dactylopius coccus*
(COCHINILLA) EN UN MEDIO ACUOSO A ESCALA DE LABORATORIO**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

BENJAMÍN RUVINA LÓPEZ

Tingo María – Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María- Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°023-2023-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 27 de mayo de 2022, a horas 04:00 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“EVALUACIÓN DE BIOMASA DESHIDRATADA DE MACROFUNGÍ EN LA REMOCIÓN DE TINTE ORGÁNICO EXTRAÍDO DEL *Dactylopius coccus* (COCHINILLA) EN UN MEDIO ACUOSO A ESCALA DE LABORATORIO “

Presentado por el Bachiller: **RUVINA LÓPEZ, Benjamín**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENO”**.

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, 04 de abril de 2023

Dr. LADISLAO RUIZ RENGIFO
PRESIDENTE



Ing. M.Sc. LAUREANO ZAVALA DE LA CRUZ
MIEMBRO

Ing. M.Sc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
MIEMBRO

Ing. M.Sc. JOSE L. PAREDES SALAZAR
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL
(RIDUNAS)

Correo: repositorio@unas.edu.pe



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 133 - 2023 - CS-RIDUNAS

El Coordinador de la Oficina de Repositorio Institucional Digital 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% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Facultad:

Facultad de Recursos Naturales Renovables

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de investigación	
-------	---	--------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EVALUACIÓN DE BIOMASA DESHIDRATADA DE MACROFUNGI EN LA REMOCIÓN DE TINTE ORGÁNICO EXTRAÍDO DEL <i>Dactylopius coccus</i> (COCHINILLA) EN UN MEDIO ACUOSO A ESCALA DE LABORATORIO	BENJAMÍN RUVINA LÓPEZ	22% Veintidós

Tingo María, 30 de mayo de 2023


Mg. Ing. García Villegas, Christian
Coordinador del Repositorio Institucional
Digital (RIDUNAS)

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



EVALUACIÓN DE BIOMASA DESHIDRATADA DE MACROFUNGHI EN LA REMOCIÓN DE TINTE ORGÁNICO EXTRAÍDO DEL *Dactylopius coccus* (COCHINILLA) EN UN MEDIO ACUOSO A ESCALA DE LABORATORIO

Autor	: Ruvina López, Benjamín
Asesor	: Ing. M. Sc. Paredes Salazar, José Luis
Programa de investigación	: Ciencias y tecnologías ambientales
Línea de investigación	: Tratamiento d aguas
Eje temático de la investigación	: Reducción de la contaminación del agua
Lugar de ejecución	: Laboratorio de calidad de agua – FRNR-UNAS
Duración	: 6 meses
Financiamiento	: Propio

Tingo María – Perú

2022

DEDICATORIA

A Dios por darme la fuerza y sabiduría para enfrentar los obstáculos y culminar con éxito la presente investigación.

A mis abuelas Genoveva Flores Calderón y Lud Merino Serkovic, quienes, me brindaron apoyo moral y económico para lograr mis objetivos propuestos.

A mis padres Juver Ruvina Flores y Dorcas López Merino, por haber confiado en mí y brindarme el apoyo moral y económico durante mi carrera profesional.

A mis abuelos Macedonio Ruvina Inocente y Máximo López Calderón, quienes fueron mis mentores de vida y ahora descansan en paz.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva Facultad de Recursos Naturales Renovables y plana docente, por contribuir en mi formación profesional
- Al Ing. M. Sc. José Luis Paredes Salazar, asesor de mi tesis, por el apoyo con su experiencia y conocimientos en la culminación de esta tesis.
- A los miembros del jurado, Ing. M.Sc. Franklin Dionisio Montalvo, Ing. M. Sc. Lauriano Zavaleta de la Cruz y Dr. Ladislao Ruiz Rengifo por sus sugerencias en el presente trabajo.
- A Maricela Erika Pujay Albornoz, por su incondicional apoyo en la presente investigación y por su grata compañía ante toda dificultad presentada.
- A mi hermano Dean Harold Ruvina López por el apoyo constante en la culminación de la presente tesis.
- A mis colegas que me apoyaron en cada momento mediante la ejecución de la presente tesis.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general.....	1
1.2. Objetivos específicos	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Marco teórico.....	3
2.1.1. Macrofungis	3
2.1.2. Tintes naturales	3
2.1.3. <i>Dactylopius coccus</i> (cochinilla).....	3
2.1.4. Acido carmínico.....	4
2.1.5. Biosorción.....	4
2.1.6. Protonación	4
2.1.7. Desprotonación	4
2.1.8. Espectroscopía	4
2.1.9. La espectroscopia ultravioleta – visible.....	4
2.1.10. Parámetros fisicoquímicos	5
2.2. Estado del arte.....	6
2.2.1. Aplicaciones de los hongos en remediación del medio ambiente	6
III. MATERIALES Y MÉTODOS	7
3.1. Lugar de ejecución.....	7
3.2. Materiales y métodos	7
3.2.1. Materiales y equipos	7
3.2.2. Metodología	8
3.2.3. Unidades y variables experimentales.....	9
3.2.4. Diseño experimental	9
3.2.5. Análisis estadístico	9
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
4.1. Determinación de las condiciones experimentales para la aplicación de biomasa deshidratada de macrofungi, en un medio acuoso contaminado con tinte orgánico	12

4.2. Determinación de las condiciones experimentales adecuadas para la obtención de un medio acuoso con tinte orgánico disuelto a diferentes concentraciones.....	14
4.3. Determinación de la dosis optima de biomasa deshidratada de macrofungi en la remoción de tinte orgánico a partir de <i>D. cocus</i> de un medio acuoso	16
4.4. Cálculo de la eficiencia de las dosis de biomasa de macrofungi en la biosorción tinte orgánico a partir de <i>Dactylopius cocus</i> (cochinilla) de un medio acuoso	20
4.5. Análisis estadístico	23
V. CONCLUSIONES	27
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	28
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
Anexos.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Diferentes regiones del espectro Ultravioleta y visible y sus rangos o zonas comprendidas.....	5
2. Factores en estudio.	10
3. Croquis del experimento.	11
4. Variación de la absorbancia, sólidos totales disueltos y conductividad en las soluciones acidas y básicas en soluciones de 400 ppm de tinte orgánico.	16
5. Variación de la absorbancia, sólidos totales disueltos y conductividad en las soluciones acidas y básicas en soluciones de 800 ppm de tinte orgánico.	17
6. Variación de la absorbancia, sólidos totales disueltos y conductividad en las soluciones acidas y básicas en soluciones de 1200ppm de tinte orgánico.....	18
7. Eficiencia de las dosis de biomasa de macrofungi en la biosorción de las tres concentraciones de tinte orgánico con respecto a la absorbancia en medio ácido.	20
8. Eficiencia de las dosis de biomasa de macrofungi en la biosorción de las tres concentraciones de tinte orgánico con respecto a la absorbancia en medio básico.....	21
9. Análisis de varianza para la absorbancia influenciados por los factores en estudio.	23
10. Prueba de comparación de medias de Tukey para el factor medio en la variable absorbancia.	24
11. Prueba de comparación de medias de Tukey para el factor tinte la variable absorbancia.....	25
12. Prueba de comparación de medias de Tukey para el factor concentración en la variable absorbancia.	26
13. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en los tratamientos de la solución acuosa de tinte orgánico a 400 ppm en medio ácido.....	34
14. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en los tratamientos de la solución acuosa de tinte orgánico a 400 ppm en medio básico.	34

15.	Parámetros fisicoquímicos obtenidos en los tratamientos de la solución acuosa de tinte orgánico a 800 ppm en medio ácido.....	34
16.	Parámetros fisicoquímicos obtenidos en los tratamientos de la solución acuosa de tinte orgánico a 800 ppm en medio básico.	35
17.	Parámetros fisicoquímicos obtenidos en los tratamientos de la solución acuosa de tinte orgánico a 1 200 ppm en medio ácido.....	35
18.	Parámetros fisicoquímicos obtenidos en los tratamientos de la solución acuosa de tinte orgánico a 1 200 ppm en medio básico.	35
19.	Valores registrados en los diferentes factores y repeticiones.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ubicación política del lugar de ejecución.	7
2. Diseño del experimento.....	9
3. Deshidratación solar de la biomasa de macrofungís.	12
4. Deshidratación en la estufa de la biomasa de macrofungi.	12
5. Biomasa de macrofungi molida para su dispersión en la solución con tinte orgánico.....	13
6. Solución homogénea de tinte orgánico en medio acuoso neutro.	14
7. Diferencia de coloración de la solución en medio ácido y básico.....	15
8. Evaluación de la eficiencia de remoción de tinte orgánico a 400 ppm.	17
9. Evaluación de la eficiencia de remoción de tinte orgánico a 800 ppm.	18
10. Evaluación de la eficiencia de remoción de tinte orgánico a 1 200 ppm.	19
11. Evaluación de la eficiencia de remoción de tinte orgánico en medio ácido respecto a las concentraciones de tinte orgánico y concentración de biomasa deshidratada de macrofungi.	21
12. Evaluación de la eficiencia de remoción de tinte orgánico en medio básico respecto a las concentraciones de tinte orgánico y concentración de biomasa deshidratada de macrofungi.	22
13. Representación gráfica de la absorbancia en los diferentes niveles de medios.	24
14. Representación gráfica de la absorbancia en los diferentes niveles de tinte.....	25
15. Representación gráfica de la absorbancia en los diferentes niveles de concentración.....	26
16. Separación de los píleos de los macrofungís para su posterior deshidratación.....	37
17. Secado de la biomasa de macrofungi en la estufa.	37
18. Pesado del ácido carmínico para la preparación de solución madre.	38
19. Solución de ácido carmínico en medio acuoso ácido.....	38
20. Solución de ácido carmínico en medio acuoso básico.	39
21. Medición de pH al efluente sintético ácido.	39
22. Medición de pH al efluente sintético básico.	40

23.	Reactores tipo batch.	40
24.	Resultados obtenidos después del tratamiento.	41
25.	Insertando las muestras obtenidas al espectrofotómetro para la determinación de la absorbancia.	41
26.	Medición de los sólidos disueltos totales de las muestras obtenidas.	42
27.	Medición de la conductividad eléctrica de las muestras obtenidas.	42

RESUMEN

La contaminación del agua por efluentes procedentes de la industria textil requiere propuestas de alternativas que resulten eficientes. La biosorción, es un procedimiento fisicoquímico que se da naturalmente en ciertas biomasas mediante el cual se captura contaminantes; en este estudio, se presenta la evaluación de la remoción de tinte orgánico extraído del *Dactylopius coccus* (cochinilla) en medio acuoso por efecto de la biomasa deshidratada de macrofungi aplicando distintas concentraciones de tinte orgánico y biomasa deshidratada en distintos medios acuosos según el pH. El tratamiento se llevó a cabo en un reactor tipo batch con un agitador de 280 rpm con un tiempo de 30 minutos de agitación y 12 horas de reposo cada uno, el efluente sintético presentó al inicio una absorbancia de 0,78, 70,33 ppm de SDT y 107,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad eléctrica. Posteriormente se determinó la reducción del tinte orgánico mediante la absorbancia influyendo las concentraciones de biomasa deshidratada de 8 000 ppm, 10 000 ppm y 12 000 ppm, también a diferentes concentraciones de tinte orgánico 400 ppm, 800 ppm y 1 200 ppm, finalmente en medio ácido entre valores de pH de 3 a 4 y medio básico entre valores de pH de 10 a 11. Los resultados obtenidos demostraron que en este tipo de efluente la remoción de tinte orgánico según la absorbancia fue de 89.43% cuando el medio es ácido y las concentraciones de tinte y de biomasa deshidratada son mayores. La prueba de Tukey realizado con un 95% de confiabilidad, demuestra que existe diferencia significativa entre la variación de la absorbancia y los tratamientos.

Palabras clave: Biomasa, tinte, remoción, absorbancia, pH, reactor.

ABSTRACT

The contamination of water due to effluents produced by the textile industry require alternative proposals which turn out to be efficient. Bio absorption is a physicochemical procedure which occurs naturally in certain biomasses, through which contaminants are captured. In this study, an evaluation of the removal of organic tint extracted from *Dactylopius coccus* (cochineal) in an aqueous medium was presented, due to its effect on the dehydrated biomass of macro fungi, applying different concentrations of organic dye and dehydrated biomass in distinct aqueous mediums, according to the pH. The treatment was carried out in a batch type reactor with an agitator of 280 rpm, for an agitation time of thirty minutes, and twelve hours of resting for each one. At the start, the synthetic effluent presented an absorption of 0.78, 70.33 ppm of SDT (acronym in Spanish) and 107.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ of electrical conductivity. Later, the reduction of organic dye was determined through the absorption, influencing the concentrations of dehydrated biomass at 8000 ppm, 10,000 ppm, and 12,000 ppm, as well as at different concentrations of organic dye of 400 ppm, 800 ppm, and 1200 ppm, finally, in an acidic medium, between pH values of three and four, and basic mediums between pH values of ten and eleven. The results that were obtained demonstrated that for this type of effluent, the removal of organic dye, according to the absorption was 89.43%, when the medium was acidic, and the concentration of dye and dehydrated biomass were greater. The Tukey test, done at a 95% trustworthiness, demonstrated that significant differences existed between the variation of the absorbency and the treatments.

Keywords: biomass, dye, removal, absorbency, pH, reactor

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se utiliza aproximadamente el 15% del total del agua, para la producción de textiles, los cuales pasan por diferentes procesos, dejando a su paso alta carga contaminante el cual está compuesta por impurezas propias del textil.

El problema ambiental provocado por el uso de colorantes dentro de las industrias textiles, están generalmente asociados a la presencia de colorantes no disueltos en los efluentes, dado a que el rango de fijación es de 60% a 80% (Odintsova et al., 2009).

En estudios desarrollados de toxicidad, nos muestra que la absorción de efluentes textiles provoca cambios en el sistema reproductor y motriz (Suryavathi et al., 2005). Al paso del tiempo se han planteado diversas alternativas de solución para la reducción de colorantes en los efluentes, siendo los tratamientos fisicoquímicos y biotecnológicos los que presentan mayor eficiencia y sostenibilidad económica y ambiental.

Los macrofungis de la descomposición de la madera tienen un sistema ligninolítico oxidativo que le permite destituir compuestos recalcitrantes a parte de la lignina.

La mayor cantidad de estudios consisten en el tratamiento de colorantes individualmente logrando el 98% de remoción en condiciones estériles, sin embargo, estos efluentes textiles están compuestos por distintos tipos de colorantes. Para la decoloración de estos efluentes se necesita evaluar la capacidad degradativa de los macrofungis.

La presente investigación, se desarrolló a fin de evaluar la eficiencia de la biomasa deshidratada del macrofungi en la remoción de tintes orgánicos, formulándose la siguiente interrogante: ¿Cómo influye la dosis de biomasa deshidratada de macrofungi en la remoción de tinte orgánico de un medio acuoso a escala de laboratorio?

A la cual ratificó la hipótesis que se había planteado concerniente a: Que a mayor dosis de biomasa deshidratada de macrofungi, mayor es la remoción de tinte orgánico de un medio acuoso a escala de laboratorio.

1.1. Objetivo general

Evaluar la biomasa deshidratada de macrofungi en la remoción de tinte orgánico extraído del *Dactylopius coccus* (cochinilla) en un medio acuoso a escala de laboratorio.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar las condiciones experimentales para la aplicación de biomasa deshidratada de macrofungi, en un medio acuoso contaminado con tinte orgánico.

- Determinar las condiciones experimentales adecuadas para la obtención de un medio acuoso con tinte orgánico disuelto a diferentes concentraciones.
- Determinar la dosis optima de biomasa deshidratada de macrofungi en la remoción de tinte orgánico a partir de *Dactylopius coccus* (cochinilla) de un medio acuoso.
- Calcular la eficiencia de las dosis de biomasa de macrofungi en la biosorción tinte orgánico a partir de *Dactylopius coccus* (cochinilla) de un medio acuoso.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Macrofungis

El estudio de los hongos se denomina Micología, que deriva de la palabra griega mykes, que significa “hongo” (Bon, 2005).

2.1.1.1. Los hongos como organismos

Los hongos son organismos eucarióticos, no presentan clorofila, no producen su propio alimento. Algunas características de los hongos son:

- No presentan movilidad
- Presencia de pared celular
- Reproducción asexual
- Alta capacidad de síntesis y desarrollo del aparato vacuolar

2.1.2. Tintes naturales

Son sustancias elaboradas a partir de plantas con características de teñir o colorear, a través de actividades artesanales, sin embargo, el olvido de algunas prácticas de sustracción, existen dificultades desconocidas por el hombre que afectan a la salud y el ambiente. Ante esta situación, ha surgido una severa preocupación por preservar los ecosistemas, y los tintes naturales han generado un nuevo interés (Acuña y Rivera, 1990).

2.1.3. *Dactylopius coccus* (cochinilla)

Es un insecto de cuerpo apacible, plano, oval, muy parecido a una escama, que tiene como dieta exclusivamente a las cactáceas de los géneros *Opuntia* y *Cereus*. Las ninfas producen una cera, este producto hace que el insecto tome una apariencia externa de color blanco o gris, sin embargo, el insecto produce internamente el pigmento rojo, lo cual le da al verlo por sí solo una tonalidad púrpura oscuro (Cruz, 1990).

2.1.3.1. Tinte de cochinilla en la industria textil

Según Palacios y Andrade (2016), la aparición de los tintes naturales hizo que su uso disminuya considerablemente. Pero hoy es un producto natural preferido por muchos consumidores como alternativa a los tintes industriales. Para aplicar el tinte se utilizan tres tipos de bases textiles que a su vez han sido tejidas, entre estos tenemos: Lana, algodón y cabuya. Los cuales una vez tejidos son hervidos con el tinte de cochinilla y posteriormente se aplica un mordiente como es el azufre.

2.1.4. Acido carmínico

Es un componente químico complejo, empleada como tinte rojo, obtenido de *D. coccus*. Se utiliza como tinte en cosméticos (pintalabios, entre otros) y como E-120 en la industria alimenticia para brindar un tono rojo a los alimentos (Mamani, 2015).

2.1.5. Biosorción

Es un método para la reducción del color de efluentes en diferentes sustratos como: aserrín, carbón activado, arcillas, suelos, composta, lodos activados, comunidades vegetales, polímeros sintéticos o sales inorgánicas coagulantes. Al proceso que emplea la biomasa, se le denomina biosorción; en este proceso la decoloración se logra por la congestión y posterior biosorción del colorante sobre las células, ocurriendo esto con o sin biodegradación del contaminante (Domínguez, 2018).

2.1.6. Protonación

Se da al añadir un protón (H^+) a un átomo, molécula, o ion. La protonación es probablemente la reacción química más importante y es un paso en muchos procesos catalíticos y estequiométricos (Gonzales, 2011).

2.1.7. Desprotonación

Es la anulación de un protón (o hidrón, o catión de hidrógeno), (H^+) de un ácido de Brønsted-Lowry en una reacción ácido-base. En compuesto formado es la base conjugada de ese ácido (Gonzales, 2011).

2.1.8. Espectroscopía

Según Skoog et al. (1998), la espectroscopía estudia la impregnación y difusión de la radiación electromagnética por la materia. La radiación electromagnética tiene carácter ondulatorio y está constituida por fotones, cuya energía viene dada por:

$$E = h\nu = hc / \lambda;$$

$$\lambda\nu = c.$$

Siendo h , la constante de Planck, ν , la frecuencia y λ , la longitud de onda. La energía de la radiación viene determinada por su frecuencia o longitud de onda.

2.1.9. La espectroscopia ultravioleta – visible

Según Skoog et al. (1998), la espectroscopia visible es uno de los procedimientos más amplios y frecuentes empleados en el análisis químico.

La absorción y transmisión de las longitudes de onda de la región visible de esta parte del espectro son distintas en sustancias que den diferentes tonalidades de amarillo, por lo que podemos tener una gama diferente de tonalidades como: amarillo canario,

amarillo limón, amarillo pálido, etc. La tabla I nos da una relación entre rango de longitudes de onda en que absorbe el compuesto, color absorbido y color observado o transmitido.

Tabla 1. Diferentes regiones del espectro Ultravioleta y visible y sus rangos o zonas comprendidas.

Rango de longitudes de Onda (nm)	Color absorbido	Color Transmitido (Observado)
100 - 190	Ultravioleta del vacío	Ninguno
190 -380	Ultravioleta Cercano	Ninguno
380 - 435	Violeta	Amarillo - Verde
435 -480	Azul	Amarillo
480 - 500	Verde - Azul	Naranja - Rojo
500 - 560	Verde	Púrpura
560 - 580	Amarillo - Verde	Violeta
580 - 595	Amarillo	Azul
595 - 650	Naranja	Verde - Azul
650 - 780	Rojo	Azul - Verde

Fuente: Skoog et al. (1998).

2.1.10. Parámetros fisicoquímicos

2.1.10.1. Potencial hidrógeno

Mide la condición ácida o alcalina de una muestra, en un rango de 0 a 14, valores iguales a 7 se considera neutro, valores menores a 7 es ácido y valores mayores a 7 es alcalino (Environmental Protection Agency [EPA], 2007).

2.1.10.2. Absorbancia

Según Vidal y Vargas (2014), cuando un rayo de luz de una determinada longitud de onda de intensidad I_0 incide perpendicularmente sobre una disolución de un compuesto químico que absorbe luz o cromóforo, el compuesto absorberá una parte de la radiación incidente (I_a) y dejará pasar el resto (I_t), de forma que se cumple: $I_0 = I_a + I_t$.

La absorbancia (A) es un concepto más relacionado con la muestra puesto que nos indica la cantidad de luz absorbida por la misma, y se define como el logaritmo de $1/T$, en consecuencia: $A = \log 1/T = -\log T = -\log I_t / I_0$. Cuando la intensidad incidente y transmitida son iguales ($I_0 = I_t$), la transmitancia es del 100% e indica que la muestra no absorbe a una determinada longitud de onda, y entonces A vale $\log 1 = 0$. La cantidad de luz

absorbida dependerá de la distancia que atraviesa la luz a través de la solución del cromóforo y de la concentración de éste.

2.1.10.3. Sólidos disueltos totales

Según American Public Health Association (APHA, 1992), describe a las sales inorgánicas y pocas cantidades de materia orgánica presentes en las disoluciones.

2.1.10.4. Conductividad eléctrica

Determina la capacidad de una disolución para conducir una corriente eléctrica, el cual proviene de los iones disueltos, debido a la partición de sales inorgánicas, ácidos y bases, sus concentraciones absolutas y relativas, su movilidad, su valencia y de la temperatura y la viscosidad de la solución (Tamani, 2014).

2.2. Estado del arte

2.2.1. Aplicaciones de los hongos en remediación del medio ambiente

Coello (2011) publicó un artículo científico titulado “Aplicación del hongo *Pleurotus ostreatus* como alternativa para biorremediación de suelos contaminados con metales pesados” la producción de Enzimas Lignolíticas a partir del hongo *Pleurotus ostreatus* y su aplicación en diversos procesos ambientales se enfocan en la capacidad de estos hongos para la reducción de compuestos persistentes, exhibiendo que es una tecnología prometedora.

Sifuentes (2014) desarrolló un artículo científico titulado “Producción de inóculo de *Pleurotus ostreatus* para uso en biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo” Se obtuvo un crecimiento mayor del micelio en el inóculo primario acondicionado con trigo, el cual alcanzó un crecimiento de 1 210,40 m/g. En la producción de inóculo secundario se alcanzó un crecimiento de 106 000 cm/g y 1 053,60 m/g en trigo y cebada respectivamente, sin obtener diferencias significativas entre ambos granos.

Hernández-Ruiz et al. (2017) desarrollaron un artículo científico titulado “Biorremediación de organofosforados por hongos y bacterias en suelos agrícolas”. Se concluye que el éxito de la biorremediación depende de la habilidad competitiva de los microorganismos, de la biodisponibilidad y la concentración del organofosforado, del pH, la temperatura y el tipo de suelo, así como de la presencia de suplementos nutricionales y de la concentración alta del inóculo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Se realizó en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en 1,5 Km carretera Tingo María –Huánuco.

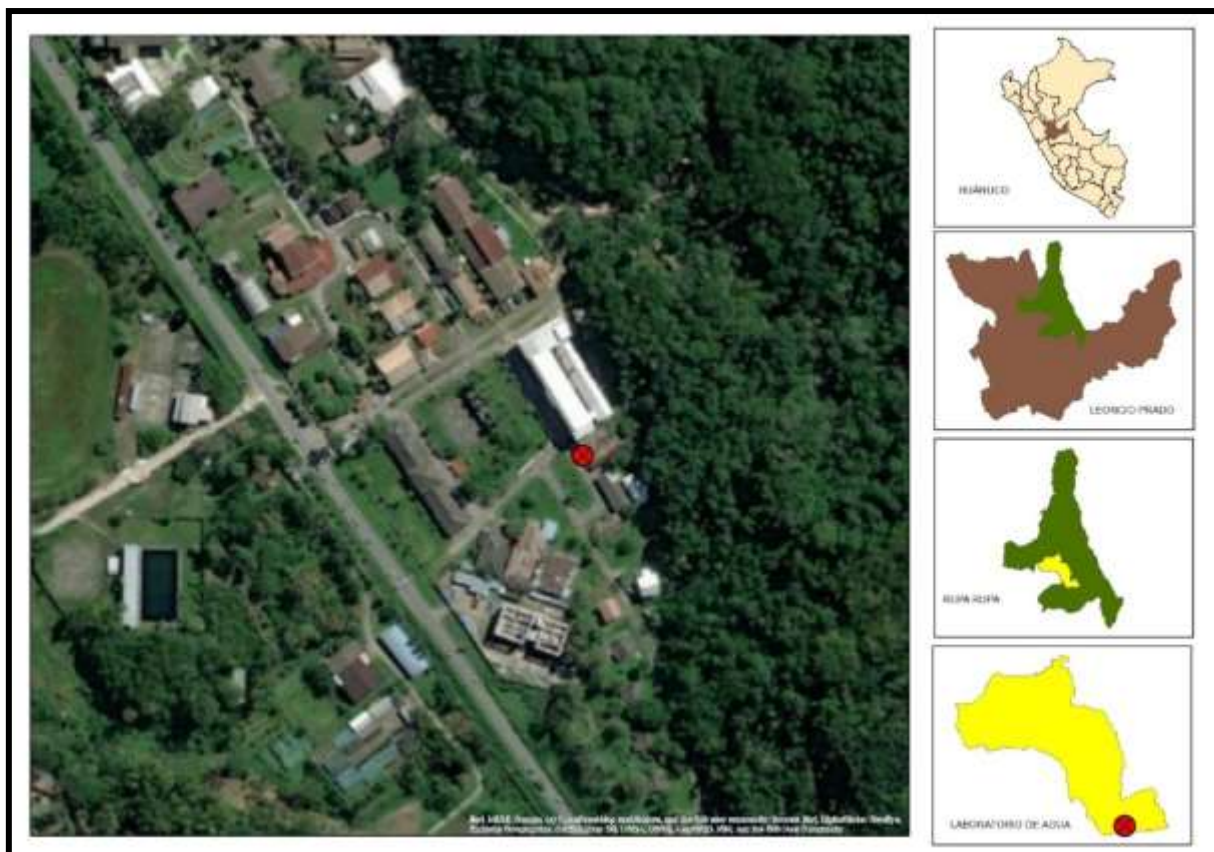


Figura 1. Ubicación política del lugar de ejecución.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

Se utilizaron frascos de vidrio, guantes quirúrgicos, mascarilla, varilla de vidrio, espátula de metal, fiola de 500 ml, probetas graduadas de 25 ml, pipeta graduada de 1 ml, vasos precipitados de 500 ml, matraz Erlenmeyer de 250 ml, piseta, libreta de apuntes.

Entre los reactivos se utilizó Ácido sulfúrico 1M, hidróxido de sodio 1M, ácido carmínico. Para llevar a cabo el estudio se utilizó equipos como la balanza analítica marca Ohaus con ± 0.0001 g de precisión, estufa, reactor tipo batch 280 rpm, pH-metro digital con ± 0.1 de precisión, espectrofotómetro UV-Vis, multiparámetro (SDT y EC), cámara digital y laptop.

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Determinación de las condiciones experimentales para la aplicación de biomasa deshidratada de macrofungi, en un medio acuoso contaminado con tinte orgánico

La biomasa de macrofungi fue lavada con una solución ácida y posteriormente neutralizada con una solución básica y luego se realizó una deshidratación exponiéndolos a la radiación solar hasta reducir aproximadamente un 80% la humedad y se complementó con un secado a la estufa a 70 °C por 48 horas.

3.2.2.2. Determinación de las condiciones experimentales adecuadas para la obtención de un medio acuoso con tinte orgánico disuelto a diferentes concentraciones

Se prepararon soluciones acuosas de tinte orgánico a partir del ácido carmínico extraído de *D. cocus* a concentraciones de 400 ppm, 800 ppm y 1 200 ppm, a partir de una solución madre 2 000 ppm.

3.2.2.3. Determinación de la dosis optima de biomasa deshidratada de macrofungi en la remoción de tinte orgánico a partir de *D. cocus* de un medio acuoso

En los reactores tipo batch se añadió a cada solución de tinte orgánico, distintas concentraciones de biomasa deshidratada pulverizada de macrofungi 8000 ppm, 10 000 ppm y 12 000 ppm, manipulando el pH en el rango ácido con un valor dentro de 3 a 4 y en un rango básico con un valor entre 10 a 11, con tratamiento por un tiempo de mezcla de 30 min y un tiempo de reposo de 12 horas hasta obtener la dosis óptima para remoción del tinte orgánico. La dosis óptima se obtuvo determinando la absorbancia a 420 nm, sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica de las muestras finales de cada tratamiento.

3.2.2.4. Cálculo la eficiencia de las dosis de biomasa de macrofungi en la biosorción tinte orgánico a partir de *D. cocus* de un medio acuoso

Se calculó la eficiencia de biosorción de tinte orgánico, con los promedios de los valores obtenidos del parámetro absorbancia el cual fue medido al efluente sintético al inicio y luego del tratamiento con la biomasa deshidratada de macrofungi.

Se calculó la eficiencia mediante la siguiente fórmula:

$$E = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Donde:

Ci: Concentración inicial del parámetro medido

Cf: Concentración final del parámetro medido

E: Eficiencia de remoción

3.2.3. Unidades y variables experimentales

3.2.3.1. Unidades experimentales

- Soluciones acuosas de tinte orgánico.

3.2.3.2. Variable independiente

- Dosis de biomasa deshidratada de macrofungi (ppm).
- Concentración del tinte orgánico de cochinilla (ppm).
- pH de la solución de tinte orgánico.

3.2.3.3. Variables dependientes

- Reducción de la concentración de tinte orgánico (Absorbancia).

3.2.4. Diseño experimental

Se aplicó una investigación tipo correlacional explicativa de acuerdo con el modelo siguiente:

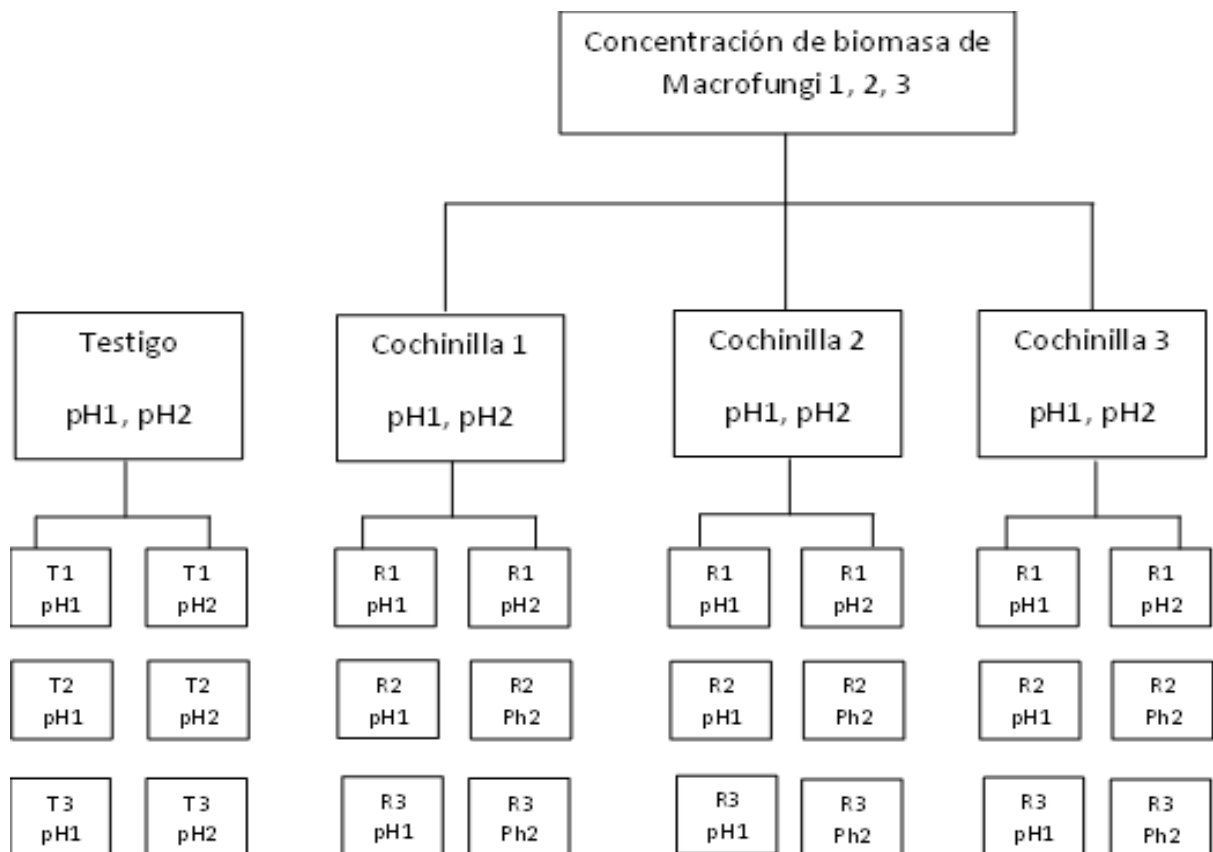


Figura 2. Diseño del experimento.

3.2.5. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con arreglo tri factorial (A: medio, B: tinte, C: concentración) con tres repeticiones, y asimismo se usó una prueba de comparaciones de medias de Tukey al 95% de nivel de confianza. Utilizando el programa estadístico IBM SPSS Statistics Versión 27,0.

Tabla 2. Factores en estudio.

Medio	Tinte	CB	Tratamientos
Ácido (a ₁)	400 ppm (b ₁)	Testigo (c ₁)	T ₀
		B1 (c ₂)	T ₁
		B2 (c ₃)	T ₂
		B3(c ₄)	T ₃
	800 ppm (b ₂)	Testigo (c ₁)	T ₄
		B1 (c ₂)	T ₅
		B2 (c ₃)	T ₆
		B3(c ₄)	T ₇
	1200 ppm (b ₃)	Testigo (c ₁)	T ₈
		B1 (c ₂)	T ₉
		B2 (c ₃)	T ₁₀
		B3(c ₄)	T ₁₁
Básico (a ₂)	400 ppm (b ₁)	Testigo (c ₁)	T ₁₂
		B1 (c ₂)	T ₁₃
		B2 (c ₃)	T ₁₄
		B3(c ₄)	T ₁₅
	800 ppm (b ₂)	Testigo (c ₁)	T ₁₆
		B1 (c ₂)	T ₁₇
		B2 (c ₃)	T ₁₈
		B3(c ₄)	T ₁₉
	1 200 ppm (b ₃)	Testigo (c ₁)	T ₂₀
		B1 (c ₂)	T ₂₁
		B2 (c ₃)	T ₂₂
		B3(c ₄)	T ₂₃

Tabla 3. Croquis del experimento.

Repeticiones		TRATAMIENTOS																							
I		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
		3	20	12	14	23	19	4	1	16	13	0	22	8	17	21	2	5	7	6	10	15	11	9	18
II		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		4	17	13	1	18	0	15	7	9	11	23	6	3	12	22	20	10	16	21	2	8	19	14	5
III		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
		11	6	4	9	7	15	20	5	18	2	10	8	13	23	1	3	17	19	22	14	0	21	16	12

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de las condiciones experimentales para la aplicación de biomasa deshidratada de macrofungi, en un medio acuoso contaminado con tinte orgánico

El hongo fue triturado con ayuda de un molino manual, y se obtuvo una granulometría adecuada para su total dispersión en el medio acuoso con tinte disuelto. El polvo de biomasa de macrofungi no presentó dificultades en las dosis aplicadas para los tratamientos de la investigación.



Figura 3. Deshidratación solar de la biomasa de macrofungís.



Figura 4. Deshidratación en la estufa de la biomasa de macrofungi.



Figura 5. Biomasa de macrofungi molida para su dispersión en la solución con tinte orgánico.

Los resultados obtenidos sobre el acondicionamiento de biomasa de macrofungi mediante deshidratación solar y un secado complementario en la estufa fueron favorables, considerando que la biomasa no presentó signos de descomposición por acción microorganismos, si no que al término del secado el macrofungi, presento un buen estado de conservación y la textura adecuada para ser pulverizado y utilizado en los fines de la investigación.

Según Bizama (2009), define el secado como un proceso de transferencia de calor y masa de contacto gas-sólido, en la cual la humedad del sólido se evapora y se dirige hacia la fase gaseosa, debido a la diferencia entre la presión de que ejerce el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la fase gaseosa. Si estas presiones se igualan, entonces el sólido y el gas entran en equilibrio y el proceso de secado culmina.

Según Barros et al. (2007), califican a la deshidratación de carpóforos como una buena alternativa para el almacenamiento y conservación de hongos, ya que es una técnica que no sólo permite conservar el cuerpo fructífero si no también el manitol, información que coincide con lo que reportan, según Liu et al. (2016) sobre la ventaja en la conservación de nutrientes que presenta la técnica de deshidratación

4.2. Determinación de las condiciones experimentales adecuadas para la obtención de un medio acuoso con tinte orgánico disuelto a diferentes concentraciones

Los resultados obtenidos fueron una gran capacidad de disolución del tinte en medio acuoso neutro como se observa en la figura 5, una solución homogénea sin formación de fases. Es importante mencionar una diferencia en la coloración del tinte entre los medios ácido y básico, observándose un tono más oscuro cuando la solución presenta un pH básico.



Figura 6. Solución homogénea de tinte orgánico en medio acuoso neutro.



Figura 7. Diferencia de coloración de la solución en medio ácido y básico.

Durante la evaluación de la solubilidad del tinte orgánico en el agua, se pudo observar la formación de una sola fase homogénea, facilitando los tratamientos, para el caso el tinte orgánico utilizado en la investigación es obtenido a partir de la cochinilla y químicamente es ácido carmínico, una sustancia química compleja, de naturaleza ácida.

Según Doerner (1998), existe diferencia entre colorantes y pigmentos, y esta radica en el medio o solvente específico en el cual estos son solubles, por tanto, esto da lugar a que se pueda catalogar como colorante o pigmento a una misma sustancia, según tipo de solvente en el cual se encuentre; así tenemos que la solubilidad, se convierte en una propiedad física importante en investigaciones relacionadas con colorantes y pigmentos.

Los colorantes de origen natural se obtienen de fuentes primarias de la naturaleza y son polímeros con presencia de diversos grupos funcionales y estructuras químicas orgánicas complejas entre estas, las de tipo cíclico y aromáticos, que, a pesar de su origen, también pueden causar desequilibrios en los ecosistemas acuáticos y daños en la salud humana (Han et al., 2009).

Para aplicar un adecuado tratamiento de eliminación de colorantes en aguas residuales es importante conocer las propiedades fisicoquímicas de los grupos funcionales constitutivos y realizar una clasificación de los colorantes o pigmentos (Barrios et al., 2015) a tratar.

La Universidad de Oxford (1999), publica un diccionario de química, con definiciones que permiten calificar los colorantes, según la forma de aplicación o el soporte sobre el sustrato utilizado, de esta manera los colorantes pueden ser: ácidos, donde el cromóforo forma parte de un ion negativo, y son solubles en agua, otra clasificación mencionada son colorantes básicos que tiene un cromóforo que forma parte de un ion positivo y también son solubles en agua.

4.3. Determinación de la dosis optima de biomasa deshidratada de macrofungi en la remoción de tinte orgánico a partir de *D. cocus* de un medio acuoso

En la Tabla 4 se observa que la biosorción del tinte orgánico, es mayor en medio ácido, presentándose una relación directa entre la concentración de biomasa y la biosorción de tinte. Es importante mencionar que en medio ácido la concentración de sólidos totales y la conductividad son mayores que en medio básico.

Tabla 4. Variación de la absorbancia, sólidos totales disueltos y conductividad en las soluciones ácidas y básicas en soluciones de 400 ppm de tinte orgánico.

Unidad experimental	Concentración del tinte orgánico :400 ppm					
	Medio ácido			Medio básico		
	Abs	STD (ppm)	Cond(μS/cm)	Abs	STD (ppm)	Cond(μS/cm)
Testigo	0,78	70,33	107,67	0,78	70,33	107,67
B1	0,61	180,67	541,00	0,73	116,33	160,33
B2	0,37	425,67	912,33	0,67	141,33	188,67
B3	0,18	645,67	1248,00	0,59	202,67	241,33

B1: 8 000 ppm de biomasa deshidratada,

B2: 10 000 ppm de biomasa deshidratada,

B3: 12 000 ppm de biomasa deshidratada.

En la Figura 8 lo más importante es resaltar que los sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica poseen una relación directamente proporcional con la concentración de la biomasa, y también que en el medio ácido los incrementos observados fueron mucho mayores.

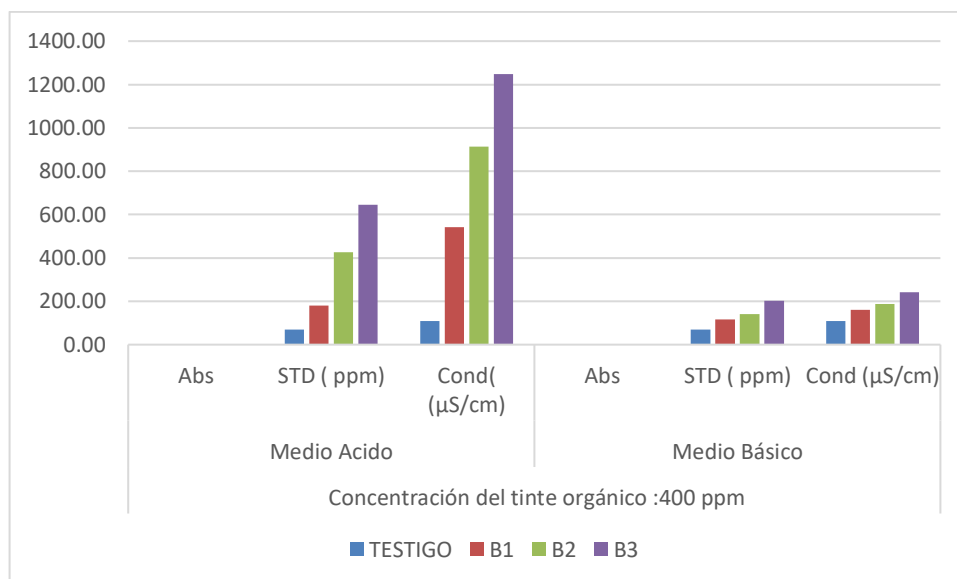


Figura 8. Evaluación de la eficiencia de remoción de tinte orgánico a 400 ppm.

En la Tabla 5 podemos observar que la biosorción de tinte orgánico presenta un comportamiento similar que el tratamiento anterior, permaneciendo mayor biosorción en medio ácido, y con el tratamiento B3 que es el de mayor concentración de biomasa se alcanza la menor absorbancia, con un valor cercano al obtenido con la solución de 400 ppm de tinte orgánico, aun cuando la concentración de la solución es el doble que el tratamiento anterior.

Tabla 5. Variación de la absorbancia, sólidos totales disueltos y conductividad en las soluciones acidas y básicas en soluciones de 800 ppm de tinte orgánico.

Unidad experimental	Concentración del tinte orgánico: 800 ppm					
	Medio ácido			Medio básico		
	Abs	STD (ppm)	Cond(μS/cm)	Abs	STD (ppm)	Cond(μS/cm)
Testigo	1,60	132,00	201,67	1,60	132,00	201,67
B1	1,04	327,33	668,33	1,35	171,67	259,00
B2	0,56	629,00	1074,67	1,01	202,33	287,67
B3	0,21	837,67	1384,33	0,48	253,00	346,00

B1: 8 000 ppm de biomasa deshidratada, B2: 10 000 ppm de biomasa deshidratada, B3: 12 000 ppm de biomasa deshidratada.

En la Figura 9 también es importante resaltar que los sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica poseen una relación directamente proporcional con la concentración de

la biomasa, y también que en el medio ácido los incrementos son mayores, similar al tratamiento anterior.

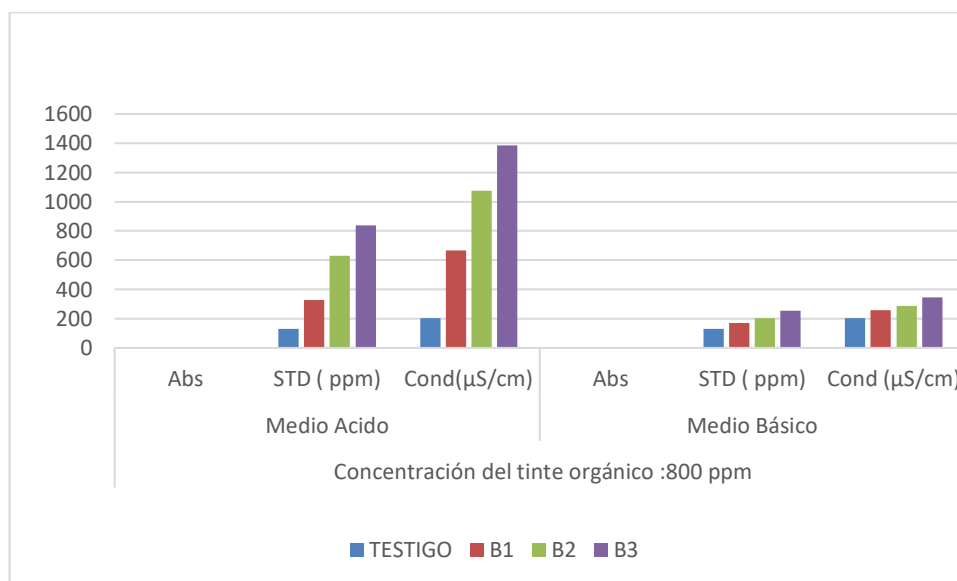


Figura 9. Evaluación de la eficiencia de remoción de tinte orgánico a 800 ppm.

En la Tabla 5 se puede observar que el medio ácido sigue favoreciendo la biosorción de tinte orgánico, manteniendo la característica de relación directa la concentración de biomasa y biosorción de tinte orgánico, así también se observa que el medio ácido presenta mayores valores de sólidos totales y conductividad.

Tabla 6. Variación de la absorbancia, sólidos totales disueltos y conductividad en las soluciones ácidas y básicas en soluciones de 1200ppm de tinte orgánico.

Unidad experimental	Concentración del tinte orgánico: 1200 ppm					
	Medio ácido			Medio básico		
	Abs	STD (ppm)	Cond(μS/cm)	Abs	STD (ppm)	Cond(μS/cm)
Testigo	2,43	207,33	325,67	2,43	207,33	325,67
B1	1,54	564,67	753,67	1,95	223,67	395,00
B2	0,84	886,00	1277,33	1,26	244,67	421,67
B3	0,26	1013,00	1663,00	0,61	306,00	493,33

B1: 8 000 ppm de biomasa deshidratada, B2: 10 000 ppm de biomasa deshidratada, B3: 12 000 ppm de biomasa deshidratada.

En la Figura 10 se sigue observando que los sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica poseen una relación directamente proporcional con la concentración de la biomasa, y también que en el medio ácido los incrementos son mayores, similar a los tratamientos anteriores.

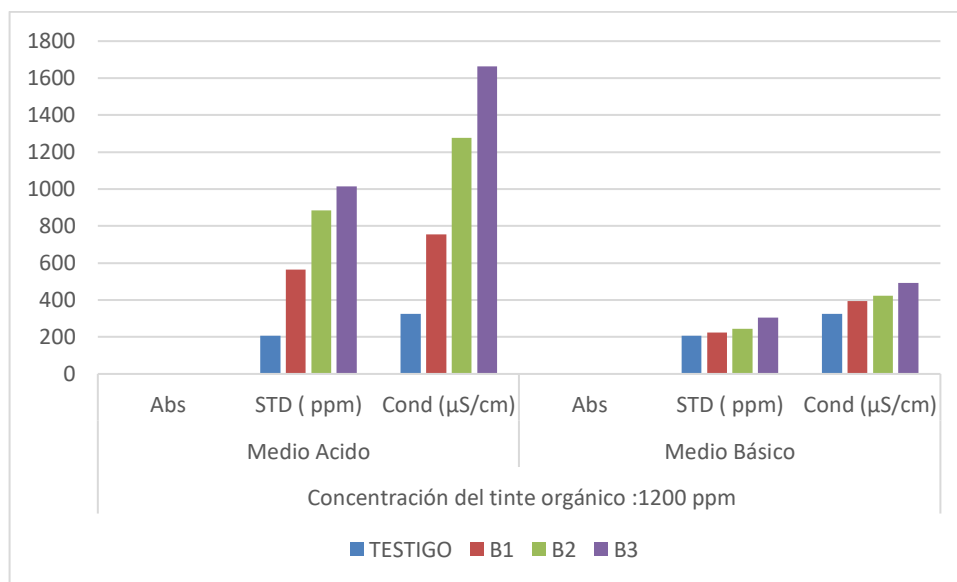


Figura 10. Evaluación de la eficiencia de remoción de tinte orgánico a 1 200 ppm.

Los resultados obtenidos en medio ácido favorecieron la biosorción del tinte orgánico, esto puede deberse a la reacción entre las cargas positivas de los protones del medio acuoso, con el cromóforo del tinte que forma parte de un ion negativo, quedando un compuesto de carga neutra, que al entrar en contacto con la biomasa deshidratada de macrofungi es adsorbida por el área superficial.

El efecto del pH del medio afecta la solubilidad de iones metálicos y el estado de ionización de grupos funcionales tales como: carboxilato, fosfato y grupos amino que están presentes o forman parte de la pared celular fúngica (Arica et al., 2003).

Según Enamorado et al. (2011), mencionan que cuando se presentan soluciones con pH ácido, inferiores a 4, se genera la protonación masiva de los grupos funcionales de la pared celular del microorganismo. Sin embargo, con valores que fluctúan en un rango de pH entre 4 y 6 incrementan las cargas negativas de la superficie del material por la deprotonación de los sitios de interacción provocando un incremento en la biosorción. A valores de pH superiores a 6 la adsorción puede disminuir debido a la formación de poco solubles.

Según Barrios et al. (2015) en su publicación, realizaron una revisión de tecnologías y remoción de colorantes y pigmentos en aguas residuales, mencionan a la

adsorción como un tratamiento físico que utilizo diversos adsorbentes, los cuales pueden remover los colorantes y pigmentos debido a interacciones electrostáticas entre los adsorbentes y los compuestos residuales que generan la coloración de las aguas residuales.

Como hemos podido observar en la investigación, el valor de pH si influye en la eficiencia de remoción del colorante, resultado que coincide con lo mencionado por Cai et al. (2009), sobre el proceso de adsorción y su influencia de las condiciones del pH y temperatura del medio, así como las características moleculares de los colorantes tales como los grupos funcionales constitutivos y el tiempo de contacto, entre otras.

Según Wang y Yan (2011), mencionan que es importante favorecer las interacciones electrostáticas en un proceso de adsorción, lo que equivale a aplicar un tratamiento preliminar a los materiales adsorbentes mediante la aplicación de compuestos químicos que modifiquen las características del adsorbente a nivel de superficie causando la protonación o deprotonación de las moléculas expuestas del material adsorbente., tal como se observó en la investigación al modificar el pH de las soluciones del tinte orgánico.

Según Bermeo (2017) mencionan que el pH influye de forma significativa en la cinética de adsorción ya que en condiciones acidas en general, se favorecen la remoción de grupos de colorantes ácidos, directos, reactivos y dispersos, lo que coincide con los resultados obtenidos en la investigación.

4.4. Cálculo de la eficiencia de las dosis de biomasa de macrofungi en la biosorción tinte orgánico a partir de *Dactylopius coccus* (cochinilla) de un medio acuoso

En la Tabla 7, se observa que la mayor eficiencia de la biosorción del tinte fue del 89,43%, con la mayor concentración de biomasa del macrofungi y concentración de tinte.

Tabla 7. Eficiencia de las dosis de biomasa de macrofungi en la biosorción de las tres concentraciones de tinte orgánico con respecto a la absorbancia en medio ácido.

Concentración de Biomasa	Eficiencia (%)		
	Tinte 400 ppm	Tinte 800 ppm	Tinte 1 200 ppm
B1	21,54	39,65	51,31
B2	35,04	65,02	86,74
B3	36,62	65,41	89,43

B1: 8 000 ppm de biomasa deshidratada, B2: 10 000 ppm de biomasa deshidratada, B3: 12 000 ppm de biomasa deshidratada.

En la Figura 11 se observa que en medio ácido las mayores eficiencias en la remoción de tinte orgánico se da cuando las concentraciones de biomasa son 10 000 ppm y 12 000 ppm, finalmente siendo el más eficiente la de mayor concentración de tinte y concentración de biomasa en un 89,43%

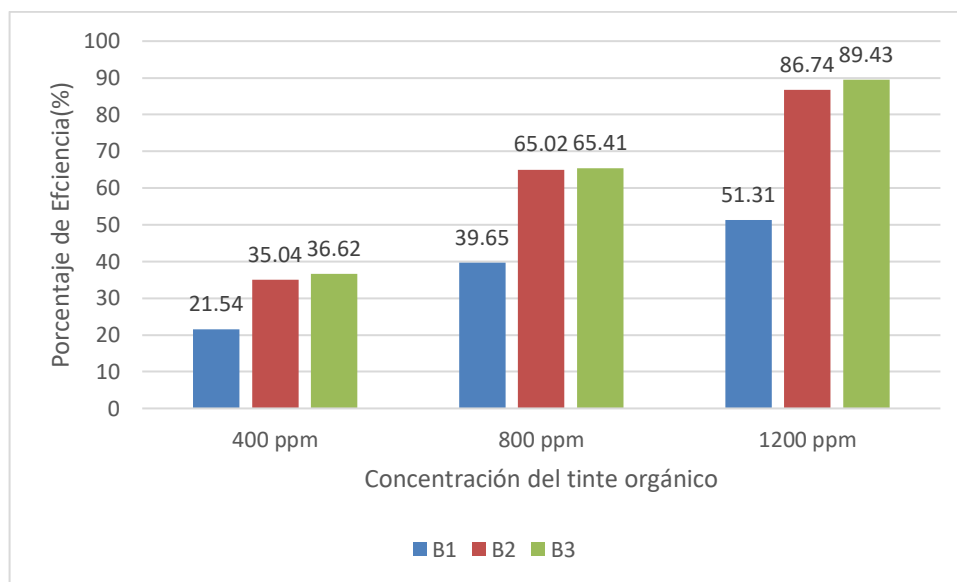


Figura 11. Evaluación de la eficiencia de remoción de tinte orgánico en medio ácido respecto a las concentraciones de tinte orgánico y concentración de biomasa deshidratada de macrofungi.

En la Tabla 8 se observa que la mayor eficiencia de biosorción del tinte fue de 74,88%, con la mayor concentración de la biomasa de macrofungi y concentración del respectivo tinte.

Tabla 8. Eficiencia de las dosis de biomasa de macrofungi en la biosorción de las tres concentraciones de tinte orgánico con respecto a la absorbancia en medio básico.

Concentración de Biomasa	Eficiencia (%)		
	Tinte 400 ppm	Tinte 800 ppm	Tinte 1 200 ppm
B1	5,79	13,85	24,68
B2	16,00	37,01	70,01
B3	19,83	48,36	74,88

B1: 8000ppm de biomasa deshidratada, B2: 10000ppm de biomasa deshidratada, B3: 12000ppm de biomasa deshidratada.

En la Figura 12 se observa que en medio básico las mayores eficiencias en la remoción de tinte orgánico se dan cuando las concentraciones de biomasa son 10 000 ppm y 12 000 ppm, finalmente siendo el más eficiente la de mayor concentración de tinte y concentración de biomasa en un 74,88%.

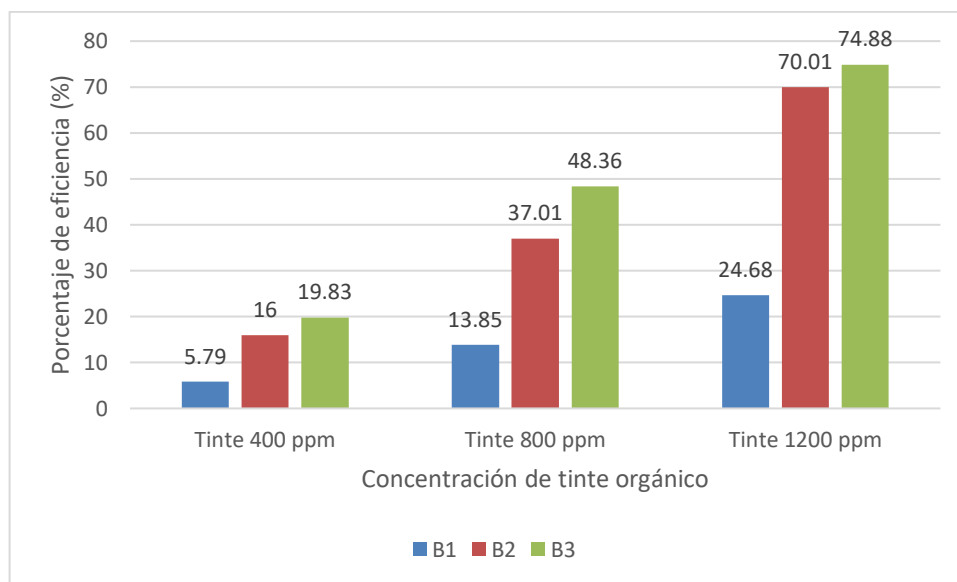


Figura 12. Evaluación de la eficiencia de remoción de tinte orgánico en medio básico respecto a las concentraciones de tinte orgánico y concentración de biomasa deshidratada de macrofungi.

Los resultados de eficiencia de remoción de tinte orgánico obtenidos alcanzaron el 89,43% de eficiencia como valor máximo, en condiciones de medio ácido y en el tratamiento donde se aplicó la mayor concentración de biomasa de macrofungi deshidratada, esto podría explicarse porque hubo la mayor presencia de las partículas adsorbente dispersas en el seno acuoso, que extienden sus propiedades de adsorción en todas las áreas de la solución.

Según Cabrera et al. (2016), evaluaron la adsorción del colorante Triactive Navy PN2R, en medio acuoso, utilizando biomasa fúngica residual. La biomasa fúngica se obtuvo del residuo del hongo *Trametes villosa* el estudio se realizó en el laboratorio y se determinó experimentalmente que la capacidad de adsorción de la biomasa fúngica inactiva fue de 3,26 mg de color/g de biomasa.

Según Ruiz et al. (2018), realizaron una investigación para evaluación la remoción del colorante azul turquesa en biorreactores air lift con el fungi *P. ostreatus* reportando una eficiencia de remoción significativa a los 20 días de 76,93, 69,25 y 84,76% a concentraciones de colorante de 100, 200 y 400 mg·L.⁻¹.

Según Albis et al. (2018) evaluaron la capacidad de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) remover el colorante azul de metileno en soluciones acuosas. La cáscara de yuca fue previamente tratada con ácido oxálico a la temperatura 50°C, por un tiempo de 2 horas y una ratio de masa ácido oxálico/biomasa 1,75, para la modificación. El máximo porcentaje de remoción alcanzado fue 99,48% y la capacidad de adsorción de 24,87 mg/g cáscara de yuca.

Cuando los colorantes disueltos en medio acuoso presenten valores de pH en el rango alcalino, la eficiencia de los procesos de adsorción tiene gran influencia del tipo de material adsorbente, tal es el caso de aquellos de origen vegetal como viruta y hojas de pino, cuya eficiencia de remoción de color supera al 90% alcanzando hasta un 98% respecto a otros materiales adsorbentes (Janos et al., 2009).

El carbón activado, tiene una eficiencia de adsorción de colorantes variable, en función al tipo de colorante, removiendo hasta el 96% del color si este proviene de colorantes directos (Wang y Yan, 2011) y el 70% de eficiencia cuando la coloración residual se asocia a colorantes del tipo reactivo y disperso (Bermeo, 2017).

Según Luo et al. (2011), en su investigación sobre remoción de tintes en soluciones acuosas usan magnetita, mencionan que los polímeros ligados a magnetita, así como a algunos residuos agroindustriales tal como los tallos de canola, presentan cinéticas de remoción significativas (>90%) sobre colorantes ácidos.

4.5. Análisis estadístico

En la Tabla 9 se muestra el análisis de varianza (ANVA) con un nivel de confianza del 95% para la variable de absorbancia, influenciado por los factores en estudio, donde se registró evidencia estadística significativa para los tres factores en estudio (medio, tinte, concentración) con un P-valor menor que el 1%, lo cual muestra que algún nivel de cada factor es diferente a los demás niveles considerados en el presente estudio, asimismo muestra un coeficiente de determinación del 0,83, mostrando que los factores considerados influyen en un 83,00% en la variable considerado como respuesta.

Además de lo expresado en el párrafo anterior, las respuestas fueron muy variables respecto a la absorbancia debido a que el coeficiente de variación obtenido fue de 27,70%.

Tabla 9. Análisis de varianza para la absorbancia influenciados por los factores en estudio.

FV	GL	CM	SC	F	P-valor
Medio	1	1,17	1,17	15	0,0003**

Tinte	2	8,34	4,17	53,55	0,0001**
Concentración	3	15,73	5,24	67,35	0,0001**
Error	65	5,06	0,08		
Total	71	30,3			

** : Altamente significativo; R^2 : 0,83; CV: 27,70%; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrado medio; SC: suma de cuadrados

Al encontrar diferencias estadísticas altamente significativas para el factor medio, se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 10 y Figura 13), donde se muestra que la absorbancia en el medio básico fue superior estadísticamente con promedio de 1,13.

Tabla 10. Prueba de comparación de medias de Tukey para el factor medio en la variable absorbancia.

Medio	Media	N	EE	Sig.
Básico	1,13	36	0,05	A
Ácido	0,88	36	0,05	B

Letras diferentes: diferencias estadísticas; letras iguales: igualdad estadística

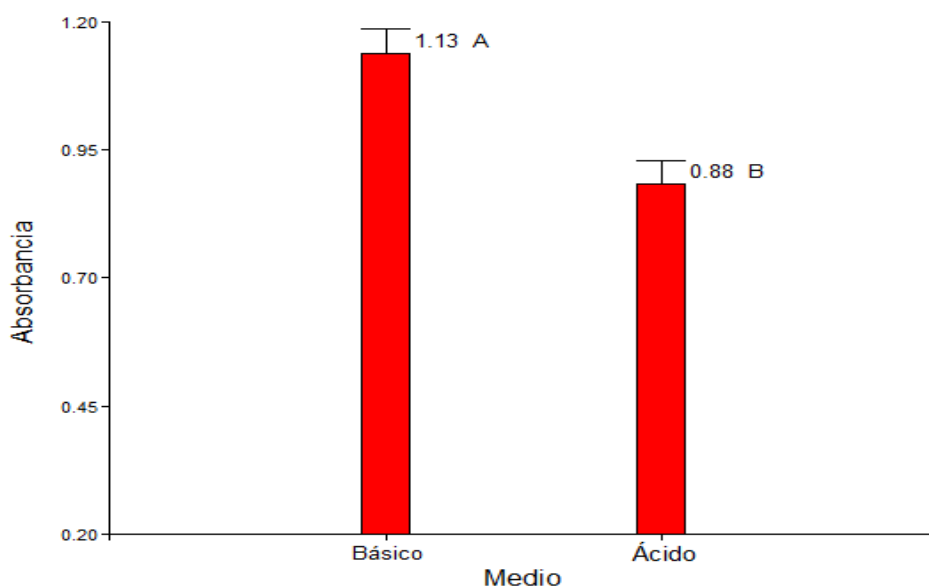


Figura 13. Representación gráfica de la absorbancia en los diferentes niveles de medios.

En la Tabla 11 y Figura 14, se muestra la prueba de comparación de medias de Tukey para las diferentes concentraciones de tinte (400 ppm, 800 ppm y 1 200 ppm) en la

variable absorbancia, donde al aplicar el tinte a 1200 ppm resulto superior estadísticamente con promedio de 1,43 y menor estadísticamente al aplicar el tinte a 400 ppm con promedio de 0,59.

Tabla 11. Prueba de comparación de medias de Tukey para el factor tinte la variable absorbancia.

Tinte	Media	N	EE	Sig.
1 200 ppm	1,43	24	0,06	A
800 ppm	1,01	24	0,06	B
400 ppm	0,59	24	0,06	C

Letras diferentes: diferencias estadísticas; letras iguales: igualdad estadística.

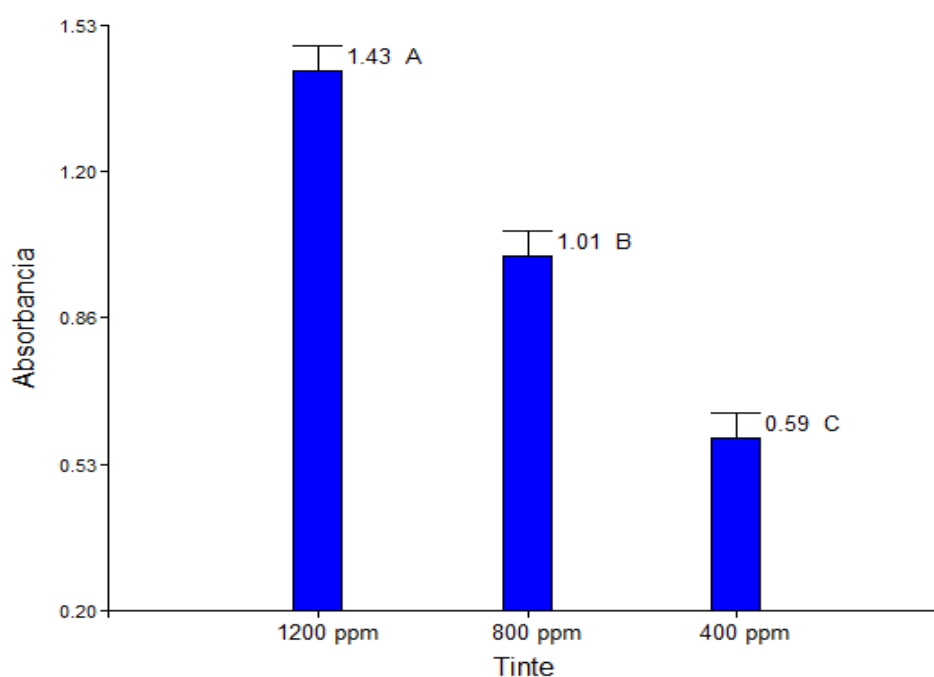


Figura 14. Representación gráfica de la absorbancia en los diferentes niveles de tinte.

Al encontrar diferencias estadísticas en el factor concentración, se realizó la prueba de Tukey al 95% de nivel de confianza (Tabla 12 y Figura 15), donde se registró que el testigo fue superior estadísticamente a los demás tratamientos con un valor promedio de 1,64 y el tratamiento que tiene la mayor concentración de hongo fue inferior estadísticamente con un valor promedio de 0,39.

Tabla 12. Prueba de comparación de medias de Tukey para el factor concentración en la variable absorbancia.

Concentración	Media	N	EE	Sig.
Testigo	1.64	18	0.07	A
B1	1.21	18	0.07	B
B2	0.79	18	0.07	C
B3	0.39	18	0.07	D

Letras diferentes: diferencias estadísticas; letras iguales: igualdad estadística

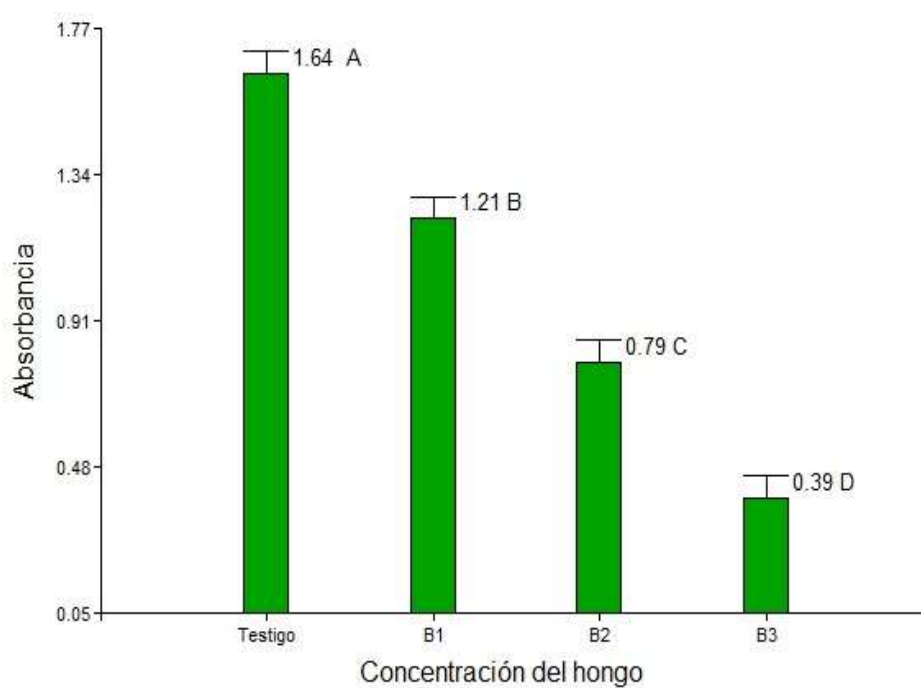


Figura 15. Representación gráfica de la absorbancia en los diferentes niveles de concentración.

V. CONCLUSIONES

1. El polvo de biomasa de macrofungi no presentó dificultades en las dosis aplicadas en las distintas unidades experimentales.
2. El tinte es soluble en medio acuoso, ya que no presentó dificultad alguna para la disolución, sin embargo, se obtuvo un tono más oscuro cuando la solución presentó un pH básico, no obstante, la concentración de sólidos disueltos totales (STD) y la conductividad eléctrica en las soluciones de colorante en medio ácido son mayores que en el medio básico, indicando mayor solubilidad de tinte en medio ácido.
3. La dosis óptima de biomasa deshidratada de macrofungi fue de 12000ppm en un medio acuoso con pH ácido, ya que las unidades experimentales con diferentes concentraciones de tinte al aplicar esta concentración presentan una mayor remoción de absorbancia.
4. La mayor eficiencia de remoción de tinte orgánico se produce en una solución de medio ácido y con la mayor concentración de biomasa de macrofungi deshidratada. La prueba de Tukey realizado con un 95% de confiabilidad, demuestra que existe diferencia significativa entre la variación de la absorbancia y los tratamientos.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Preparar la biomasa deshidratada usando macro fungís carnosos y solo llevar a cabo el proceso de deshidratación al píleo del hongo.
2. Cultivar los macrofungís para no alterar el ecosistema de los seres vivos en los bosques.
3. Preparar la solución acida o básica en bajas concentraciones para la manipulación del pH, debido que la alcalinidad y la acidez de esta solución de tinte orgánico es bajo.
4. Realizar un análisis a la biomasa deshidratada de macrofungi para identificar como influye con respecto a los parámetros fisicoquímicos.
5. Realizar la presente investigación en efluentes de tintes inorgánicos y evaluar su eficiencia.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, L., y Rivera, G. (1990). *Plantas tintóreas y otros colorantes de Costa Rica*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Albis, A., Llanos, H., Galeano, J., y García, D. (2018). Adsorción de azul de metileno utilizando cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) modificada químicamente con ácido oxálico. *Rev. Ion*, 31(2), 99-110. doi:10.18273/revisión.v31n2-2018007.
- American Public Health Association [APHA], American Water Works Association [AWWA] y Water Pollution Control Federation [WPCF]. (1992). *Métodos Normalizados para el Análisis de aguas potables y residuales*. Ediciones Díaz de Santos.
- Arica, M. Y., Ergene, A., Bayramoglu, G., y Genc, O. (2003). Caalginate as a support for Pb(II) and Zn(II) biosorption with immobilized by *Phanerochaete chrysosporium*. *Carbohydrate Polymers*, 52, 167-174.
- Barrios-Ziolo, L., Gaviria-Restrepo, L., y Agudelo, E. (2015). Tecnologías para la remoción de colorantes y pigmentos presentes en aguas residuales. Una revision. *Dyna Rev. Fac. Nac. Minas*, 82(191), 118-126. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n191.42924>.
- Barros L., Baptista P., Correira D., Morais J., y Ferreira I., (2007). Effects of conservation treatment and cooking on the chemical composition and antioxidant activity of Portuguese wild edible mushrooms. *J. Agric. Food Chem.*, 55(12), 4781-4788.
- Bermeo, M. M. (2017). *Remoción eficiente de colorante refractario azul MNO reactivo en combinación con vinil sulfónico en aguas residuales mediante técnicas de electrocoagulación y adsorción* [Tesis Doctoral, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio institucional UNMSM. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/6368>
- Bizama, C. (2009). *Tipos de operaciones unitarias*. Academia.
- Bon, M. (2005). *Guía de campo de los hongos de España y de Europa*. Ediciones Omega.
- Cabrera, I., Valladares, D., Mendoza, D., y Rodríguez, I. L. (2016). Evaluación de la capacidad de adsorción del *Trametes villosa* residual del proceso remoción del colorante Triactive Navy PN2R. *Revista Centro Azúcar*, 43(3), 1-9. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612016000300001
- Cai, J., Cui, L., Wang, Y., y Liu, C. (2009). Effect of functional groups on sludge for biosorption of reactive dyes. *Journal of Environmental Sciences*, 21(4), 534-538. doi: 10.1016/s1001-0742(08)62304-9.

- Coello, J. M. (2011). *Aplicación del hongo Pleurotus ostreatus como alternativa para biorremediación de suelos contaminados con metales pesados* [Proyecto de Materia de Graduación, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio institucional. <https://microbioblogueando.files.wordpress.com/2016/05/remediacion-metales-por-hongo-tesis-biologc3ada.pdf>
- Cruz, D. (1990). *Determinación de algunos aspectos biológicos de la grana o cochinilla del nopal Dactylopius coccus Costa (Coccoidea: Dactylopidae) en Chapingo* [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo].
- Doerner, M. (1998). *Los materiales de pintura y su empleo en el arte* (6 ed). Reverté S.A.
- Domínguez, O. (2018). *Biosorción de colorantes en aguas textiles residuales mediante opuntia sp / agave tequilana*. <https://vinculacion.dgire.unam.mx/vinculacion-1/Memoria-Congreso-2018/trabajos/medio-ambiente-quimica/doc8.pdf>
- Enamorado, Y., Villanueva, M., Hernández, I., Coto, O., y Poranes, M. S. (2011). Caracterización de la biomasa inactiva de *aspergillus niger* o-5 como sorbente de Pb (II). *Quim. Nova*, 34(7), 1141-1146. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000700007>
- Environmental Protection Agency [EPA]. (2007). *Acid rain: What is pH*. EPA. <http://www.epa.gov/acidrain/measure/ph.html>
- González, J. I. (2011). *Estudio de la reducción de vanadio (v) en el sistema H⁺-VO₂⁺-oxalato, KCl 3.0 M y 25 °C* [Trabajo Especial de Grado, Universidad de Venezuela]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/10872/15656>
- Han, F., Subba, V., Srinivasan, M., Rajarathnam, D., y Naidu, R. (2009). Tailored titanium dioxide photocatalysts for the degradation of organic dyes in wastewater treatment: A review. *Applied Catalysis A: General*, 359(1–2), 25-40. DOI: 10.1016/j.apcata.2009.02.043
- Hernández-Ruiz, G. M., Álvarez-Orozco, N. A., y Ríos-Orsorio, L. A. (2017). Biorremediación de organofosforados por hongos y bacterias en suelos agrícolas: revisión sistemática. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecuaria*, 18(1), 139-159 DOI: http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:564
- Janos, P., Coskun, S., Pilařová, V., y Rejnek, J. (2009). Removal of basic (Methylene Blue) and acid (Egacid Orange) dyes from waters by sorption on chemically treated wood shavings. *Bioresource Technology*, 100(3), 1450-1453, DOI: 10.1016/j.biortech.2008.06.069

- Liu, Y., Chen, D., You, Y., Zeng, S., Li, Y., Tang, Q., Han, G., Liu, A., Feng, C., Li, C., Su Y., Su Z., y Chen D. (2016). Nutritional Composition of Boletus Mushrooms from Southwest China and Their Antihyperglycemic and Antioxidant Activities. *Food Chemistry*, 211, 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.032>
- Luo, X., Zhan, Y., Huang, Y., Yang, L., Tu, X., y Luo, S. (2011). Removal of water-soluble acid dyes from water environment using a novel magnetic molecularly imprinted polymer. *Journal of Hazardous Materials*, 187(1–3), 274-282. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2011.01.009
- Mamani, G. (2015). *Evaluación comparativa de los métodos Thorpe y francés para la obtención de carmín a partir de la cochinilla (Dactylopius coccus costa) en el distrito de la Joya* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional San Agustín]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/226>
- Odintsova, O., Krotova, M., y Melnikov, B. (2009). Uso de Agentes catiónicos para la fijación de coloración de textiles Materiales. *Russ. J. Appl. Chem.*, 82, 461-465.
- Palacios, R. C., y Andrade, G. T. (2016). *Experimentación para la extracción de gamas cromáticas a partir de la cochinilla Dactilopius coccus* [Tesis de pregrado, Universidad del Azuay]. Repositorio institucional. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6038>
- Ruiz, L., Iannaccone, J., Tocto, I., Ruiz, A., y Harirchian, P. (2018). Acción de *Pleurotus ostreatus* (jacq. Ex fr) kumm en la remoción del colorante azul turquesa en biorreactores air lift. *The Biologist*, 16(2), 221-235.
- Sifuentes, E. M. (2014). *Producción de inóculo de Pleurotus ostreatus para uso en biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio institucional. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/1874>
- Skoog, D., Leary, J., y Holler, F. (1998). *Principios de análisis instrumental* (5 ed). Ed. McGraw-Hill.
- Suryavathi, V., Sharma, S., Saxena, P., Pandey, S., Krover, R., Kumar, S., Sharma, K. P. (2005). Toxicity of Textile Dye Wastewaters (Untreated and Treated) of Sanganer on Male Reproductive Systems of Albino Rats and Mice. *Reprod. Toxicol.*, 19, 547-556.
- Tamani, Y. (2014). *Evaluación de la calidad de agua del río Negro, provincia de Padre Abad, Aguaytía*. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Universidad de Oxford – Complutense. (1999). *Diccionario de Química*. Complutense.

- Vidal, L., y Vargas, C. (2014). Medición de la absorbancia óptica de soluciones acuosas mediante la instrumentación virtual y el control. *Scientia Et Technica*, 19(1), 49-53. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=849309000008>
- Wang, L., y Yan, G. (2011). Adsorptive removal of direct yellow 161 dye from aqueous solution using bamboo charcoals activated with different chemicals. *Desalination*, 274(1-3), 81-90. DOI: 10.1016/j.desal.2011.01.082

Anexos

Apéndice A. Datos de las pruebas experimentales.

Tabla 13. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en los tratamientos de la solución acuosa de tinte orgánico a 400 ppm en medio ácido.

	Absorbancia				Sólidos disueltos totales (ppm)				Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)			
	T	B1	B2	B3	T	B1	B2	B3	T	B1	B2	B3
R1	0,796	0,613	0,369	0,182	72	183	426	648	104	538	912	1248
R2	0,753	0,608	0,374	0,179	71	177	424	643	108	542	908	1253
R3	0,785	0,610	0,362	0,177	68	182	427	646	111	543	917	1243

T: testigo, B1: 8 000 ppm de biomasa deshidratada, B2: 10 000 ppm de biomasa deshidratada, B3: 12 000 ppm de biomasa deshidratada, R1: primera repetición, R2: segunda repetición, R3: tercera repetición.

Tabla 14. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en los tratamientos de la solución acuosa de tinte orgánico a 400 ppm en medio básico.

	Absorbancia				Sólidos disueltos totales (ppm)				Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)			
	T	B1	B2	B3	T	B1	B2	B3	T	B1	B2	B3
R1	0,795	0,726	0,672	0,582	72	112	148	203	104	157	184	241
R2	0,753	0,740	0,663	0,578	71	120	137	208	108	163	190	245
R3	0,784	0,731	0,674	0,596	68	117	139	197	111	161	192	238

T: testigo, B1: 8 000 ppm de biomasa deshidratada, B2: 10 000 ppm de biomasa deshidratada, B3: 12 000 ppm de biomasa deshidratada, R1: primera repetición, R2: segunda repetición, R3: tercera repetición.

Tabla 15. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en los tratamientos de la solución acuosa de tinte orgánico a 800 ppm en medio ácido.

	Absorbancia				Sólidos disueltos totales (ppm)				Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)			
	T	B1	B2	B3	T	B1	B2	B3	T	B1	B2	B3
R1	1,641	1,066	0,574	0,214	128	327	630	839	204	662	1071	1382
R2	1,553	1,009	0,543	0,221	133	331	632	835	200	667	1080	1386
R3	1,618	1,051	0,566	0,203	135	324	625	839	201	676	1073	1385

T: testigo, B1: 8 000 ppm de biomasa deshidratada, B2: 10 000 ppm de biomasa deshidratada, B3: 12 000 ppm de biomasa deshidratada, R1: primera repetición, R2: segunda repetición, R3: tercera repetición.

Tabla 16. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en los tratamientos de la solución acuosa de tinte orgánico a 800 ppm en medio básico.

Absorbancia					Sólidos disueltos totales (ppm)				Conductividad eléctrica (μS/cm)			
	T	B1	B2	B3	T	B1	B2	B3	T	B1	B2	B3
R1	1,641	1,378	1,034	0,492	128	174	205	255	204	259	286	345
R2	1,553	1,305	0,978	0,466	133	167	202	253	200	257	290	348
R3	1,618	1,359	1,019	0,485	135	174	200	251	201	261	287	345

T: testigo, B1: 8 000 ppm de biomasa deshidratada, B2: 10 000 ppm de biomasa deshidratada, B3: 12 000 ppm de biomasa deshidratada, R1: primera repetición, R2: segunda repetición, R3: tercera repetición.

Tabla 17. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en los tratamientos de la solución acuosa de tinte orgánico a 1 200 ppm en medio ácido.

Absorbancia					Sólidos disueltos totales (ppm)				Conductividad eléctrica (μS/cm)			
	T	B1	B2	B3	T	B1	B2	B3	T	B1	B2	B3
R1	2,487	1,535	0,825	0,259	201	563	894	1009	329	752	1274	1658
R2	2,354	1,524	0,856	0,267	209	569	873	1011	323	754	1277	1664
R3	2,452	1,563	0,842	0,245	212	562	891	1019	325	755	1281	1667

T: testigo, B1: 8 000 ppm de biomasa deshidratada, B2: 10 000 ppm de biomasa deshidratada, B3: 12 000 ppm de biomasa deshidratada, R1: primera repetición, R2: segunda repetición, R3: tercera repetición.

Tabla 18. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en los tratamientos de la solución acuosa de tinte orgánico a 1 200 ppm en medio básico.

Absorbancia					Sólidos disueltos totales (ppm)				Conductividad eléctrica (μS/cm)			
	T	B1	B2	B3	T	B1	B2	B3	T	B1	B2	B3
R1	2,487	1,953	1,253	0,605	201	226	243	302	329	396	421	493
R2	2,354	1,945	1,248	0,616	209	228	249	310	323	394	423	491
R3	2,452	1,949	1,265	0,611	212	217	242	306	325	395	421	496

T: testigo, B1: 8 000 ppm de biomasa deshidratada, B2: 10 000 ppm de biomasa deshidratada, B3: 12 000 ppm de biomasa deshidratada, R1: primera repetición, R2: segunda repetición, R3: tercera repetición.

Apéndice B. Análisis estadístico

Tabla 19. Valores registrados en los diferentes factores y repeticiones.

Medio	Tinte	CB	Repeticiones		
			I	II	III
Ácido	400 ppm	Testigo	0,796	0,753	0,785
		B1	0,613	0,608	0,610
		B2	0,369	0,374	0,362
		B3	0,182	0,179	0,177
	800 ppm	Testigo	1,641	1,553	1,618
		B1	1,066	1,009	1,051
		B2	0,574	0,543	0,566
		B3	0,214	0,221	0,203
	1200 ppm	Testigo	2,487	2,354	2,452
		B1	1,535	1,524	1,563
		B2	0,825	0,856	0,842
		B3	0,259	0,267	0,245
Básico	400 ppm	Testigo	0,795	0,753	0,784
		B1	0,726	0,740	0,731
		B2	0,672	0,663	0,674
		B3	0,582	0,578	0,596
	800 ppm	Testigo	1,641	1,553	1,618
		B1	1,378	1,305	1,359
		B2	1,034	0,978	1,019
		B3	0,492	0,466	0,485
	1200 ppm	Testigo	2,487	2,354	2,452
		B1	1,953	1,945	1,949
		B2	1,253	1,248	1,265
		B3	0,605	0,616	0,611

Anexo C. Imágenes de la investigación



Figura 16. Separación de los píleos de los macrofungís para su posterior deshidratación.



Figura 17. Secado de la biomasa de macrofungi en la estufa.



Figura 18. Pesado del ácido carmínico para la preparación de solución madre.



Figura 19. Solución de ácido carmínico en medio acuoso ácido.



Figura 20. Solución de ácido carmínico en medio acuoso básico.



Figura 21. Medición de pH al efluente sintético ácido.



Figura 22. Medición de pH al efluente sintético básico.



Figura 23. Reactores tipo batch.



Figura 24. Resultados obtenidos después del tratamiento.



Figura 25. Insertando las muestras obtenidas al espectrofotómetro para la determinación de la absorbancia.



Figura 26. Medición de los sólidos disueltos totales de las muestras obtenidas.



Figura 27. Medición de la conductividad eléctrica de las muestras obtenidas.