



**REPÚBLICA DEL ECUADOR**

**UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE:**

**MAGÍSTER EN QUÍMICA APLICADA**

**TEMA:**

EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DE  
EXOPOLISACÁRIDOS OBTENIDOS A PARTIR DE CEPAS DE *PLEUROTUS SPP.*,  
COMO PROPUESTA DE BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES  
INDUSTRIALES.

**Autor:**

Ing. Christian Miguel Villavicencio Yanos

**Director:**

Ing. Juan Diego Valenzuela Cobos, PhD

*Milagro, 2023*

## ACEPTACIÓN DE TUTOR

Por la presente hago constar que he analizado el proyecto de grado presentado por el Sr. Ing. Químico. Christian Miguel Villavicencio Yanos. para optar el título de Magíster en Química Aplicada y que se aceptó tutoriar al maestrante, durante la etapa de desarrollo del trabajo hasta su presentación, evaluación y sustentación.

Que he revisado, analizado los resultados y la propuesta de la investigación, presentados en el informe final, sobre la EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DE EXOPOLISACÁRIDOS OBTENIDOS A PARTIR DE CEPAS DE *PLEUROTUS SPP.*, COMO PROPUESTA DE BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES, como requisito para su aprobación y optar al título de Magister en Química Aplicada.

Milagro, a los 20 días del mes de septiembre de 2022.



Ing. Juan Diego Valenzuela Cobos, PhD

C.I. 0927981670

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El autor de esta investigación declara ante el Comité Académica del Programa de Maestría en Química Aplicada de la Universidad Estatal de Milagro, que el trabajo presentado es de mi propia autoría, no contiene material escrito por otra persona, salvo el que esta referenciado debidamente en el texto; parte del presente documento o en su totalidad no ha sido aceptado para el otorgamiento de cualquier otro Título de una institución nacional o extranjera.

Milagro, a los 08 días del mes de mayo de 2023.



Firmado electrónicamente por:  
CHRISTIAN MIGUEL  
VILLAVICENCIO YANOS

Christian Miguel Villavicencio Yanos.

C.I. 0915431068

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADO**  
**CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA**

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN QUÍMICA APLICADA**, presentado por **ING. VILLAVICENCIO YANOS CHRISTIAN MIGUEL**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DE EXOPOLISACÁRIDOS OBTENIDOS A PARTIR DE CEPAS DE PLEUROTUS SPP., COMO PROPUESTA DE BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES. ", las siguientes calificaciones:

TRABAJO DE TITULACION	60.00
DEFENSA ORAL	40.00
<b>PROMEDIO</b>	<b>100.00</b>
<b>EQUIVALENTE</b>	<b>Excelente</b>



Msc GARCÉS MONCAYO MARÍA FERNANDA  
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



MONSERRATE MAGGI VERONICA ESTEFANIA  
VOCAL



Mgs. ESPINOZA CARRASCO FREDDY ANDRES  
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis a Dios que me acompaña día a día, a mi querida esposa Dra. Delia Noriega Verdugo, a mis hijos Christian Arturo Villavicencio, Ángel Santiago Villavicencio Noriega y mis padres Sr. Arturo Villavicencio Pérez y Sra. Sonia Yanos Rodríguez que hasta el término del presente trabajo académico tengo la dicha y bendición de tenerlos a mi lado.

## AGRADECIMIENTOS

A mi tutor Ing. Juan Diego Valenzuela Cobos Phd., mi admiración y respeto, su guía, profesionalismo y empatía me deja un grato recuerdo y profundo agradecimiento.

Agradezco a mi esposa por ser el pilar de fortaleza, amor e incondicional apoyo en todo momento para no desmayar hasta culminar mi trabajo de titulación.

A mis padres por su esfuerzo y sacrificio en mi formación personal y profesional

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

**Sr. Dr.**

**Fabricio Guevara Viejó**

Rector de la Universidad Estatal de MilagroPresente.

Mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer entrega de la Cesión de derecho del Autor del Trabajo realizado como requisito previo para obtención de mi Título de Cuarto Nivel, cuyo tema fue EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DE EXOPOLISACÁRIDOS OBTENIDOS A PARTIR DE CEPAS DE *PLEUROTUS*SPP., COMO PROPUESTA DE BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES y que corresponde al Vicerrectorado de Investigación y Posgrado.

Milagro, 10 de mayo del 2023



Firmado electrónicamente por:  
CHRISTIAN MIGUEL VILLAVICENCIO  
YANOS

Christian Miguel Villavicencio Yanos.  
C. I. 0915431068

## Índice / Sumario

### Contenido

Introducción .....	1
Capítulo I: El problema de la investigación.....	4
1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.2. Delimitación del problema.....	4
1.3. Formulación del problema .....	4
1.4. Objetivo general .....	5
1.5. Objetivos específicos.....	5
1.6. Justificación.....	5
1.7. Alcance y limitaciones .....	6
CAPÍTULO II: Marco teórico referencial .....	7
2.1. Antecedentes .....	7
2.1.1. Antecedentes históricos.....	7
El Reino Fungi .....	7
Generalidades del Reino Fungi .....	8
Restauración de setas .....	10
Algunas propiedades que ofrece el reino de los hongos .....	11
Género <i>Pleurotus Ostreatus</i> .....	11
Importancia del Género <i>Pleurotus</i> .....	12
<i>Pleurotus djamor</i> .....	13
Poder de degradación .....	13
Química de productos naturales .....	13
La contaminación del agua.....	16



Aguas de la Industria Láctea .....	17
Aguas de la Industria Textil .....	18
Biorremediación .....	19
Biorremediación bacteriana.....	20
Biorremediación enzimática.....	20
Antecedentes de la biorremediación .....	21
2.1.2. Contenido teórico que fundamenta la investigación .....	22
<b>CAPÍTULO III: Diseño metodológico .....</b>	<b>29</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	29
3.2. Los métodos y las técnicas .....	30
3.2.1. Materiales .....	30
3.2.1.1. Material experimental .....	30
3.2.1.2. Material de laboratorio .....	30
3.2.1.3. Reactivos .....	31
3.2.1.4. Equipos.....	31
3.2.2. Material biológico .....	31
3.2.3. Medios de cultivo .....	31
3.2.4. Preparación de cultivo líquido.....	32
3.2.5. Producción de biomasa.....	32
3.2.6. Producción de exopolisacáridos .....	32
3.3. Procesamiento estadístico de la información. ....	33
<b>CAPÍTULO IV: Análisis y discusión de resultados .....</b>	<b>34</b>
Objetivo 1.....	34
4.1 Determinación del medio de cultivo .....	34
Objetivo 2.....	34

Objetivo 3.....	35
CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones .....	37
5.1. Conclusiones .....	37
5.2. Recomendaciones.....	37
Bibliografía .....	38

## Resumen

*P. ostreatus* y *P. djamor* ambos son hongos basidiomicetos pertenecientes al grupo de los hongos de pudrición blanca, los cuales tienen la capacidad de degradar la compleja estructura de la lignina ocasionando el decaimiento de los árboles. Un factor muy importante para considerar a *P. ostreatus* y *P. djamor* como modelo para dichas investigaciones es el hecho que a diferencia de otros hongos de pudrición blanca., *P. ostreatus* y *P. djamor* no son considerados patógenos y su cultivo esta estandarizado para el consumo humano, a pesar de todas las propiedades y beneficios ya comprobados se planteó como objetivo de esta investigación valorar las características de exopolisacáridos obtenidos de las cepas de *Pleurotus* spp., para su uso como alternativa de biorremediación de aguas residuales mediante la producción de biomasa, para lo cual se realiza el proceso considerando que de acuerdo a la literatura se tomo como medio de cultivo el Agar Papa Dextrosa (PDA), como el más optimo por sus resultados satisfactorios en la obtención de biomasa y exopolisacáridos y para determinar las características químicas de exopolisacáridos extraídos de cepas de *Pleurotus* spp., mediante análisis de su biomasa de las dos cepas *P. ostreatus* y *P. djamor* obteniéndose los siguientes resultados de producción de biomasa 60,52% 73,33% respectivamente y la producción de exopolisacáridos de los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor* estuvo entre 52% y 85%. Al final de la investigación los exopolisacaridos obtenidos del *P. djamor* obtuvo la producción más eficiente.

Palabras claves: Aguas residuales, biodegradación, *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus djamor*, exopolisacáridos.

## Abstract

*P. ostreatus* and *P. djamor* are both basidiomycete fungi belonging to the group of white rot fungi, which have the ability to degrade the complex structure of lignin, causing tree decay. A very important factor to consider *P. ostreatus* and *P. djamor* as a model for such investigations is the fact that unlike other white rot fungi, *P. ostreatus* and *P. djamor* are not considered pathogenic and their culture is standardized for human consumption, despite all the properties and benefits already verified, the objective of this research was to assess the characteristics of exopolysaccharides obtained from *Pleurotus spp.* strains, for use as an alternative for bioremediation of wastewater through the production of biomass, for which the process is carried out considering that according to the literature, Potato Dextrose Agar (PDA) was taken as the culture medium, as the most optimal for its satisfactory results in obtaining biomass and exopolysaccharides and to determine the chemical characteristics of exopolysaccharides extracted from strains of *Pleurotus spp* by analysis of their biomass from the two strains *P. ostreatus* and *P. djamor* obtaining the following results of biomass production 60.52% 73.33% respectively and the production of exopolysaccharides of the fungi *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus djamor* was between 52% and 85%. At the end of the investigation, the exopolysaccharides obtained from *P. djamor* obtained the most efficient production.

Keywords: Wastewater, biodegradation, *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus djamor*, exopolysaccharides.

## Introducción

La biorremediación es un método alternativo actualmente utilizado para la remoción de contaminantes ambientales utilizando sistemas biológicos, estos pueden ser aplicados in situ sin la necesidad de remover o transportar el material contaminado, lo cual reduce costos y esfuerzo. De esta manera, estas técnicas son generalmente aceptadas ya que no provocan mayor contaminación durante su uso. (Demnerová, K. et al., 2005).

Diversos adelantos en los últimos años han ayudado a convertir la biorremediación en una herramienta importante en el control de la contaminación dentro de estos avances se encuentran la utilización de un grupo de organismos con características ecológicas distintos llamados hongos de pudrición blanca (Bogan, BW. & Lamar, RT., 1996). Estos organismos son significativos debido a su capacidad para descomponer una variedad de contaminantes orgánicos y persistentes, incluidos los clorofenoles, dioxinas, aminas aromáticas, fenoles organofosforados e hidrocarburos policíclicos aromáticos (Floriani, F., 2009; Moro, S. 2006; Soares, I. et al., 2011). Poco se sabe sobre los procesos que utilizan dichos hongos para la oxidación de estas sustancias (Hammel, KE., 1995).

Los hongos filamentosos exhiben una serie de cualidades que los hacen deseables para su uso en sistemas de biorremediación de suelos con requisitos tecnológicos mínimos.

Entre éstas están la capacidad que tienen de crecer bajo condiciones de estrés ambiental, lo cual limita el crecimiento bacteriano. Además, su modo de crecimiento permite la colonización de grandes áreas de esta forma, el contacto superficial con el contaminante es amplio, aumentando su biodisponibilidad y consecuentemente incrementando su biodegradación (Da Silva, R., 2009).

*Pleurotus ostreatus*, también conocido como hongos ostra o champiñones, es el tercer hongo más cultivado en el mundo y tiene un valor económico culinario y medicinal significativo (Cohen, R. et al., 2002). Este hongo en particular posee un complejo multienzimático degradador de compuestos ligninocelulósicos (Quintero, Feijoo, y Lema, 2006). La actividad de estas enzimas se ha aprovechado en procesos de biorremediación para oxidar contaminantes como insecticidas, colorantes, herbicidas y fungicidas, entre otros (Gomes, K. & Roberto, D., 2006).

Debido a las restricciones de uso o prohibición total de las áreas contaminadas, la contaminación de los suelos y sedimentos causada por la extracción de hidrocarburos de petróleo tiene trascendencia económica e implicaciones toxicológicas. Diversos estudios han demostrado el bajo costo de la biorremediación de suelos en comparación con otros métodos de remediación tanto físicos como químicos además de provocar una menor intrusión en el sitio contaminado, reduciendo el daño ecológico durante el proceso de destrucción de contaminantes (Kosaric, 2001, Volke, T. & Velasco, J.A. 2002, Di Paloma, M. & Vicién, C., 2010). La capacidad de los hongos para descomponer una amplia gama de contaminantes en el ambiente difiere de la de muchos otros microorganismos utilizados en la biorremediación dentro de este contexto.

El hongo de pudrición blanca *Pleurotus ostreatus* es conocido por su capacidad como degradador de hidrocarburos, por lo tanto, conseguir un sustrato correcto para su cultivo constituirá un gran avance en la producción de biomasa para propósitos de biorremediación.

*P. ostreatus* es un hongo basidiomiceto perteneciente al grupo de los hongos de pudrición blanca, los cuales tienen la capacidad de degradar la compleja estructura de la lignina ocasionando el decaimiento de los árboles.

Esta capacidad degradadora se la deben a un complejo de enzimas extracelulares las cuales son a su vez capaces de degradar o mineralizar muchos compuestos orgánicos.

Un factor muy importante para considerar a *P. ostreatus* como modelo para dichas investigaciones es el hecho que, a diferencia de otros hongos de pudrición blanca, *P. ostreatus* no es considerado patógeno y su cultivo esta estandarizado para el cultivo humano.

A pesar de toda la información antes mencionada, no se han desarrollado métodos en los países para aprovechar al máximo el potencial de estos hongos en la regeneración de los suelos.

Para lograr esto, es necesario realizar una caracterización física y químicas de los exopolisacáridos obtenidos del hongo *Pleurotus spp* cuyo fin es aportar con datos relevantes para posteriores aplicaciones o estudios.

# Capítulo I: El problema de la investigación

## 1.1. Planteamiento del problema

La eminente necesidad de la industria de encontrar una alternativa competente para la captación de metales pesados en aguas residuales y a su vez respetuoso con el medio ambiente ha hecho que la industria se esfuerce cada vez más en buscar opciones de biorremediación para reemplazar métodos convencionales de resultados poco favorecedores y de alto costo, debido a que existen estudios que proponen nuevas variantes como el empleo de elementos con propiedades bioadsorbentes.

Sobre la base de investigaciones científicas relacionadas el presente trabajo propone a los exopolisacáridos obtenidos de las cepas de *Pleurotus spp.*, previa evaluación de sus características físico y químicas como una alternativa eficaz de biorremediación de costo razonable y respetuoso con el medioambiente.

## 1.2. Delimitación del problema

La investigación se delimita a la obtención de exopolisacáridos de cepas de *Pleurotus spp.*, y su caracterización física y química, como alternativa de biorremediación de aguas residuales

## 1.3. Formulación del problema

En particular, los taludes de las fábricas hacia las bocas de sus efluentes producen una importante contaminación, que repercute negativamente de manera continua en la naturaleza e impide el crecimiento normal de la biodiversidad del medio ambiente.



En la actualidad el desarrollo industrial, ha ocasionado la contaminación de los efluentes que se eliminan al mar, provocando esto que se mezclen toda clase de elementos tóxicos, empleando las industrias métodos convencionales para suplir sus necesidades y en muchos de los casos emplean procesos costosos, con resultados poco favorables, sin poder captar la mayor cantidad de iones metálicos pesados o en su efecto sin poder atrapar los elementos iónicos de menos peso, debido a este inconveniente se realiza el estudio de los elementos bioadsorbentes.

#### **1.4. Objetivo general**

Valorar las características químicas físicas de exopolisacáridos obtenidos de las cepas de *Pleurotus spp.*, para su uso como alternativa de biorremediación de aguas residuales.

#### **1.5. Objetivos específicos**

- ❖ Obtener exopolisacáridos a partir de las cepas de *Pleurotus spp.*
- ❖ Evaluar las características físicas de exopolisacáridos extraídos de cepas de *Pleurotus spp.*
- ❖ Determinar las características químicas de los exopolisacáridos en cepas obtenidas de *Pleurotus spp.*

#### **1.6. Justificación**

Con el fin de precautelar la seguridad ambiental , la comunidad científica continuamente realiza estudios acerca de la toxicidad de los efluentes industriales y como resultado de aquello

han establecido varios métodos para la extracción de metales tales como: precipitación química, intercambio iónico, osmosis inversa, filtración, tratamiento electroquímico, entre otros , pero estos son considerados muy costosos y poco eficaces, por lo que de acuerdo a la necesidad latente de resaltar un método eficaz , amigable con el medio ambiente y de costo aceptable, diversas investigaciones proponen el empleo de cuerpos biodegradables, a través de la biorremediación, la cual representa un método alternativo importante y actualmente utilizado para la remoción de contaminantes ambientales, mediante sistemas biológicos, que pueden ser aplicados in situ sin la necesidad de remover o transportar el material contaminado.

Dentro de este ámbito, los hongos de pudrición blanca han demostrado habilidades para degradar un gran espectro de contaminantes ambientales, como parte de ellos está el *Pleurotus ostreatus*., el cual es conocido por su capacidad como degradador de hidrocarburos, es así que el presente estudio está dirigido a la obtención de exopolisácaridos a partir de cepas *Pleurotus spp.*, que posean adecuadas características físicas y químicas, que permitan una eficaz biorremediación de aguas residuales industriales , guardando lineamiento con los objetivos de desarrollo sostenible, agenda 2030 que incluye el objetivo 6. Agua limpia y saneamiento, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar; objetivo 9- Industria, innovación e infraestructura, promoviendo de esta manera la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales; objetivo 15- Vida de ecosistemas terrestres, para recuperar los bosques degradados.

### **1.7. Alcance y limitaciones**

La investigación tiene por alcance la búsqueda de una propuesta de biorremediación de aguas residuales, mediante el cumplimiento de los objetivos planteados basados en la obtención y caracterización de ex polisacáridos a partir de cepas de *Pleurotus spp.*

## **CAPÍTULO II: Marco teórico referencial**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. Antecedentes históricos**

##### **El Reino Fungi**

Los organismos pertenecientes al reino fungi son eucariotas y pueden ser microscópicos o macroscópicos. Estos organismos están muy extendidos en la naturaleza y se pueden encontrar en el suelo, el agua, el aire y en las superficies. Sus características principales incluyen el arreglo nuclear y citoplasmático, la reproducción sexual y asexual, no sintetizar clorofila y no almacenar almidón como sustancia de reserva. Los hongos se clasifican como heterótrofos y pueden actuar como saprofitos y/o parásitos. Su nutrición se logra a través de un proceso de absorción de nutrientes que depende de la producción de una enzima que tiene como objetivo descomponer el sustrato para formar micropartículas que se internalizan a través de procesos de transporte activo y pasivo. Sus necesidades nutricionales incluyen nitrógeno (sales de amonio, aminoácidos), carbono (glucosa, celulosa), azufre (sulfato) y fósforo (fosfato de potasio), además de elementos esenciales como el manganeso y el cobre. Otra característica de los hongos es su pared celular compuesta por quitina y  $\beta$ -glucano, cuyos principales componentes son hexosas y hexilaminas que forman manano, glucano y galactomanano. (Riera, Celi, Thompson, & Rabagliati, 2019)

Además, existen algunos hongos que tienen la capacidad de degradar los polímeros de la madera, incluido el componente de lignina, utilizando sus enzimas extracelulares. Esta especificidad conduce a la degradación de tres sustratos: podredumbre blanda, podredumbre parda y podredumbre blanca (Carbajo, 2015).

Los hongos que se encuentran en la naturaleza, especialmente en bosques de pinos y robles, son hongos de pudrición blanca, que son basidiomicetos. Los basidiomicetos tienen estructuras reproductivas llamadas basidiomicetos y pertenecen a la clase Hymenomycetes, como *Trametes Versicolor*, *Phanaerochaete Chrysosporium*, *Pleurotus Pulmonarius* y *Pleurotus Otreatus*. Sin embargo, cabe señalar que el género *Pleurotus* pertenece a la familia *Cortexaceae*. (Montoya, y otros, 2010)

### **Generalidades del Reino Fungi**

El reino fungi tiene propiedades únicas que lo distingue de las plantas y los animales. A diferencia de las plantas, los hongos son heterótrofos. Debido a que carecen de clorofila, no pueden producir nutrientes a través de la fotosíntesis. Su forma de nutrición es principalmente la producción de enzimas que descomponen sustancias complejas y las convierten en sustancias simples y solubles que pueden absorber. Desempeñan un papel importante como "divisores" de los ecosistemas. (Baek-Cho, 2005)

Sin duda los hongos son el grupo de organismos más extensos de una especie. Hay varios taxones en el reino fúngico, con la mayoría de las 72.000 especies encontradas en *Ascomycota* (30.000 especies) y *Basidiomycota* (20.000 especies), donde también se encuentran los hongos más estudiados y los más grandes. (González, 2005)

Las setas vienen en todas las formas y tamaños, desde una apariencia sésil hasta grandes estructuras esféricas y similares a raíces. Estas diferentes formas denotan diferentes taxones de macrohongos. Los hongos se definen como "grandes hongos con distintos cuerpos fructíferos, ya sea epífitos o subterráneos". En su sentido más simple, el término hongo puede referirse solo a cuerpos fructíferos. (Baek-Cho, 2005)

Cada hongo consta de una serie de filamentos llamados hifas, que juntos forman el llamado micelio. Este micelio se esparce sobre un sustrato adecuado en la naturaleza en condiciones favorables de humedad y temperatura, convirtiéndose en pequeños racimos que

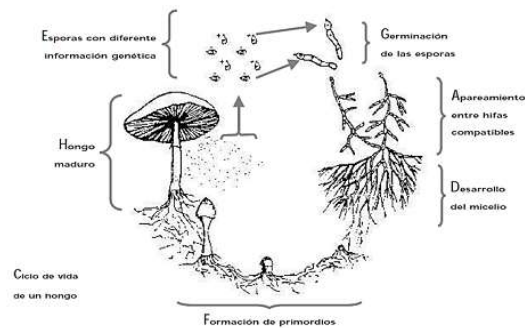
crecen en tamaño hasta tomar la forma de las típicas setas. La estructura del hongo, que consta de un pie y sombrero, tiene la función de producir estructuras reproductivas llamadas esporas, que tienen la tarea de perpetuar la especie. Desde la parte superior del pie hasta el borde del sombrero, estas esporas se producen en la parte inferior del sombrero en laminas verticales. Los hongos o cuerpos fructíferos representan al micelio como frutos en un árbol. (Gaitán-Hernández, Salmones, Pérez, & Mata, 2006 )

Los hongos se reproducen por esporas (similares a las semillas de las plantas). En condiciones favorables, las esporas germinan y forman hifas (denominadas colectivamente micelio). Las hifas son filamentosas y generalmente invisibles a simple vista. Las esporas germinadas forman micelio primario, que luego forma micelio secundario a través de gametos citoplasmáticos (fusión de hifas). El micelio acumula nutrientes del sustrato y luego lo coloniza. Cuando la masa de micelio es estimulada por la temperatura, la humedad, etc., se forma un primordio, que es un cuerpo fructífero (brote vegetal) en una etapa temprana de desarrollo. Los cuerpos fructíferos producen esporas (células reproductivas) en placas delgadas justo debajo del sombrero. (Márquez, Juárez, & Trigos, 2014)

El ciclo de vida de los hongos (figura 1) se divide en dos etapas: crecimiento vegetativo y crecimiento reproductivo. Para que el micelio crezca linealmente durante el crecimiento vegetativo, primero debe descomponer los componentes complejos del sustrato en moléculas más pequeñas que luego pueden absorberse como nutrientes. Las temperaturas más bajas, los niveles más altos de humedad, oxígeno y, en algunos casos, la luz, hacen que el micelio deje de crecer vegetativamente y comience a producir fructíferos o crecimiento reproductivo, a los que nos referimos como "hongos" (estructuras reproductivas). El cultivo de hongos puede considerarse como la práctica de obtener cuerpos fructíferos replicando artificialmente estas dos etapas de crecimiento. (Baek-Cho, 2005)

Figura 1

Ciclo de vida de un hongo



Tomado de (Gaitán-Hernández, Salmones, Pérez, & Mata, 2006 )

Aunque algunos miembros del segundo grupo más grande de hongos superiores, los basidiomicetos, son extremadamente venenosos, siguen siendo importantes económicamente porque son comestibles. Dado que muchos de estos hongos comestibles con un valor nutricional respetable tienen propiedades medicinales, por lo que es fundamental comprender su composición química de estos hongos y lograr el aislamiento de los componentes químicos clave. (Toledo, García, León, & Bermejo, 2004)

### Restauración de setas

La micoremediación es la capacidad metabólica de los hongos para convertir o eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos en compuestos menos tóxicos, por lo que tenemos 21 especies de hongos de pudrición blanca, que son basidiomicetos pertenecientes a la clase Thymbromycetes comunes en bosques de pino. Además de estos, entre otros, tenemos a

Lentinus Hirtus, Irpex Lacteus, Phanerochaete Chrysosporium, Bjerkardera Adusta, Trametes Versicolor y *Pleurotus Ostreatus*, que proporcionan un agente multifuncional en el proceso de desintoxicación gracias a sus propiedades como: acumulación sexual ultratolerante y metales en células parietales, la presencia de diversas enzimas para la degradación de compuestos xenobióticos y sus sistemas activos de crecimiento. (Martínez, y otros, 2005)

### **Algunas propiedades que ofrece el reino de los hongos**

Los macrohongos han sido parte de la cultura humana durante miles de años y se han utilizado como alimento humano en varias civilizaciones. En México, la investigación científica sobre los hongos comestibles se ha incrementado desde la década de 1980 debido al descubrimiento de propiedades medicinales como propiedades anticancerígenas y antitumorales, hipocolesterolemiantes, antivirales, antibacterianas e inmunomoduladoras. (Suárez, 2010)

### **Género *Pleurotus Ostreatus***

El género *Pleurotus*, comúnmente llamado hongo ostra o champiñón (Fig. 2), se incluye principalmente en las especies comestibles y es el de mayor calidad gastronómica. Su color es blanco o marrón, pero también están disponibles variantes en azul y rosa. Su carne tiene una parte superior firme y un pie fibroso y blanco con un agradable sabor y olor cuando se cocina. El sombrero de este hongo es redondo y tiene una superficie lisa que es abovedada y elevada cuando es joven y luego se aplana gradualmente. Al principio, los bordes están ligeramente curvados. Su diámetro varía de 5 a 15 cm, dependiendo del grado de madurez del hongo. (Guarín & Ramírez, 2004)

Figura 2

Estructura del hongo *Pleurotus Ostreatus*



Tomado de (Robalino, 2017)

### **Importancia del Género *Pleurotus***

*Pleurotus* se ha utilizado durante mucho tiempo con fines alimentarios o medicinales y ahora es comercialmente importante como hongo comestible. La especie más famosa de este género es *P. Ostreatus* es el hongo más cultivado en todo el mundo. En México 2 especies *P. Otreatus* y *P. Pulmonarius* son utilizados por pequeños y medianos productores de hongos comestibles, aunque la producción industrial se realiza con cepas importadas de Norteamérica, Europa y el suroeste de Asia. (Mora & Martínez-Carrera, 2007)

Debido a su capacidad para crecer sobre residuos agrícolas lignocelulósicos, tiene una importancia creciente en la biotecnología y el medio ambiente, ya que casi toda la producción agrícola genera grandes cantidades de desechos que pueden utilizarse para el cultivo de hongos (Cohen & Hadar, 2002) (Ghorai, y otros, 2009).

Además, estos organismos se utilizan para tratar residuos químicos peligrosos como hidrocarburos aromáticos policíclicos, colorantes industriales y otros contaminantes del suelo (Cohen & Hadar, 2002).



### ***Pleurotus djamor.***

El *Pleurotus Djamor* sobresale de otras especies de setas por su capacidad para crecer en lugares de clima tropical donde la temperatura ambiente por lo regular supera sin dificultad la barrera de los 30°C. También se distingue por el color rosa brillante de sus primordios y porque pueden crecer y expandir en forma muy agresiva en variedad de clases de troncos y sustratos, inclusive en aquellos suelos que no han sido pasteurizados al igual que otros hongos cultivados los ejemplares de *Pleurotus Djamor* crecen de manera natural en troncos de árboles en descomposición o en diferentes materiales orgánicos obtenidos como subproductos de los procesos agrícolas como los desechos de los cultivos de cereales (Lopez Utrera, Daniel; Garay Peralta, Ignacio; Alarcon Acosta, 2021).

### **Poder de degradación**

Conforme a los resultados obtenidos de la capacidad *P. Djamor* para secretar una variedad de enzimas ligninocelulolíticas tanto durante su ciclo de vida como en la etapa de sustrato, se puede concluir que la especie exhibe una alta capacidad para la degradación de compuestos recalcitrantes, cuerpos formadores y fructíferos. El escalado del proceso enfrenta desafíos metodológicos, tanto en el manejo del sustrato como en la producción de biomasa fúngica, pero a largo plazo esto favorece los costos del proceso, quienes tendrían interés en utilizar esta especie de hongo en diversas biorremediaciones (Salmones y Salmones, 2017).

### **Química de productos naturales**

La química de productos naturales es el estudio de sustancias de origen vegetal, fúngico, animal o de otro origen que se pueden obtener directamente de diversas plantas, hongos, insectos, bacterias, etc. etapas de crecimiento, así como de su transformación, cultivos y residuos de los mismos. Estos organismos producen una gran cantidad de compuestos orgánicos diferentes, a veces con estructuras moleculares simples, pero en su mayoría muy

complejas. Estas sustancias, tradicionalmente conocidas como metabolitos secundarios (flavonoides, lignanos, terpenos, fenoles, alcaloides, esteroides, etc.), se distribuyen de forma diferente y están especialmente restringidas a unos pocos taxones en cada reino. Muchas de sus funciones son desconocidas, aunque actualmente se está trabajando para completarlas. Por otro lado, los metabolitos primarios suelen caracterizarse como sustancias que son las unidades básicas de la vida celular, como ácidos nucleicos, proteínas y polisacáridos, pero sus estructuras químicas y rutas biosintéticas son muy complejas. Los metabolitos secundarios históricamente han generado cierto interés biológico, pero los químicos orgánicos se han interesado por estas sustancias desde la segunda mitad del siglo XIX. (Croteau, Kutchan, & Lewis, 2000)

Estos estudios contribuyeron a:

- a) El desarrollo de métodos de separación fisicoquímica.
- b) Sistemas de calificación de instrumentos analíticos (usando espectroscopia para clarificar la estructura).
- c) Método de síntesis.
- d) Procesos resultantes de biosíntesis o biotransformación (biotecnología).
- e) Uso de la ingeniería genética.

El interés por los metabolitos secundarios no es solo un interés académico, este interés se debe a su enorme uso como fármacos, colorantes, polímeros, perfumes, etc. El conocimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas fortalece a muchas industrias, por ejemplo: alimenticia, farmacéutica, agroquímica, cosmética, etc. (Croteau, Kutchan, & Lewis, 2000)

*Pleurotus* incluye especies comestibles con excelente sabor y olor, generalmente de color blanco, amarillento o rosado, a veces de color gris u oscuro. Los hongos de este

género se conocen como hongos, aunque también se les conoce comúnmente como hongos ostra, orejas blancas, palos, orejas de patanca, orejas de cazahuate y orejas de izote. (Gaitán-Hernández, Salmones, Pérez, & Mata, 2006 )

Hasta el momento se han registrado alrededor de 70 especies de *Pleurotus*, y constantemente se descubren nuevas especies. Los hongos del género *Pleurotus* se han popularizado a nivel mundial en los últimos años debido a su capacidad para crecer en un amplio rango de temperaturas y utilizar como sustratos diferentes materiales ricos en lignina y celulosa. (Melo de Carvalho, Sales-Campos, & Nogueira de Andrade, 2010)

Requieren una temporada de crecimiento más corta, requieren poco control ambiental y es menos probable que sus cuerpos fructíferos sean atacados por plagas y enfermedades que otros hongos comestibles. Además de ser fácil de cultivar, otros beneficios incluyen altos rendimientos y alto valor nutricional, ya que es rica en proteínas de alta calidad, vitaminas, ácidos grasos insaturados y elementos esenciales como calcio, hierro, magnesio, fósforo y potasio. , sodio, zinc, cobre, manganeso y selenio, bajo en calorías y libre de colesterol. Se ha reconocido que el extracto o polvo de cuerpos fructíferos de *Pleurotus* tiene propiedades medicinales tales como: antioxidante, hepatoprotectora, antidiabética, anticancerígena, etc. (Asaduzzaman & Mousimu, 2012)

Se puede utilizar una amplia gama de materiales residuales para el cultivo y la producción de hongos *Pleurotus*, lo que permitirá que algunos sustratos tradicionales, como el trigo y la paja, se utilicen para otros fines alternativos, como alimentos, animales y/o generación de energía. En América Latina, la investigación sobre el uso de diferentes residuos agrícolas y agroindustriales, solos o en combinación, se ha incrementado en los últimos años con el fin de encontrar los materiales más adecuados para obtener hongos de alta productividad y calidad. ventaja. (Piña, Nieto, & Robles, 2016) Los resultados de bioeficacia (EB) varían según el sustrato, pero los sustratos preferidos son sustratos con valores de EB cercanos a 100 o

superiores a los que se pueden lograr probando ciertas combinaciones de materiales residuales o mediante algún tratamiento. Preprocesamiento como p. fermentación, compostaje o simple pasteurización. De esta manera, los residuos de la producción regional pueden ser utilizados para producir alimentos ricos en proteínas, mientras que el sustrato usado puede seguir utilizándose para el recultivo de hongos comestibles y la restauración de suelos contaminados, brindando así una alternativa de seguridad alimentaria y reducción del impacto ambiental de los residuos agrícolas y agroindustriales. (Piña, Nieto, & Robles, 2016)

### **La contaminación del agua**

La contaminación del agua es un exceso de materia o energía (calor) que puede dañar a los seres vivos y afectar las actividades que ocurren en el agua. Hablar de la contaminación por aguas residuales (producto de la actividad humana) es un tema interesante porque debido al crecimiento de la población y la urbanización, se ha convertido en una fuente de agua para la agricultura, pero afecta directamente a la salud. y otros ambientes. Como señaló el autor (Yee-Batista, 2013): “En América Latina, el 70 % de las aguas residuales no se tratan, sino que se extraen, utilizan y devuelven a los ríos”.

Por su alto contenido de nutrientes, las aguas residuales contribuyen a la agricultura, reduciendo así el uso de fertilizantes artificiales, pero afectan irracionalmente la calidad del cultivo, el suelo y la salud, ya que se acumulan sustancias altamente tóxicas en el suelo, plantas, animales además de entrar en la cadena alimentaria. Si bien se han instalado plantas de tratamiento de aguas residuales en América Latina y México, aún son insuficientes para satisfacer las necesidades de las zonas rurales y las grandes ciudades. (Hettiarachchi & Ardakanian, 2017)

También cabe mencionar que los efluentes de la industria textil, papelera, curtiduría, farmacéutica, etc. contienen componentes que inhiben el proceso de fotosíntesis provocado por los microorganismos asociados, estas sustancias son colorantes, tensoactivos, sales

inorgánicas y diversas sustancias químicas compuestos fenólicos, tales como como sulfuro, cromo, etc. Aún se requiere una gran cantidad de agua durante su producción, se necesitan entre 100 y 200 litros de agua para producir 1 kg de textiles. (Bermeo & Tinoco, 2016)

La disponibilidad de agua de calidad es fundamental para la salud humana, la protección del medio ambiente y el desarrollo económico. Para evaluar la contaminación de las aguas residuales se utilizaron los siguientes parámetros: contenido de materia orgánica (demanda química de oxígeno DQO y demanda biológica de oxígeno DBO), sólidos en suspensión, nitrógeno y fósforo total. (Vilanova, Santín, & Pedret, 2017)

### **Aguas de la Industria Láctea**

Las aguas residuales de la industria láctea son similares a la mayoría de las aguas residuales agrícolas, la tasa de flujo y el contenido de materia orgánica de estas aguas residuales oscilan entre 0,8 y 7,0 g/L de demanda química de oxígeno (DQO), por lo que estas aguas requieren un tratamiento especial para cumplir con las normas de descarga de aguas residuales y reducir la contaminación ambiental. riesgo. problemas en ríos, lagos y aguas costeras. (Armijo, Azogue, Barragán, & Freire, 2021)

Estas aguas residuales contienen desechos sólidos y materia orgánica, incluidos desechos y aguas de limpieza, desinfección, calefacción, refrigeración y limpieza de pisos, que contienen altas concentraciones, alto contenido de materia orgánica y sólidos disueltos o suspendidos, incluidos grasas, aceites y nutrientes. Por lo general suelen ser neutros o ligeramente alcalinos, pero debido a la producción de ácido láctico a partir de la fermentación de la lactosa, especialmente en ausencia de oxígeno con la formación simultánea de ácido butírico, se acidifican rápidamente, reduciendo el pH a 4,5. - 5.0. (Tirado, Gallo, Acevedo, & Mouthon, 2016)

Las aguas residuales de la industria láctea tienen las siguientes características: Por el contenido de leche, tiene un alto contenido de materia orgánica. La DQO media de las aguas

residuales lácteas está entre 1000 y 6000 mg DBO/l. La presencia de grasa en la leche y otros productos lácteos, como la grasa en el agua de lavado con suero de leche. Los niveles de nitrógeno y fósforo se encuentran elevados, principalmente debido a los agentes de limpieza y desinfección (Santamaría, Álvarez, Santamaría, & Zamora, 2015).

Cambios considerables en el pH, principalmente por operaciones de limpieza que dan como resultado soluciones ácidas y básicas, cuyo pH puede variar de 2 a 11. Alta conductividad (especialmente en queserías, ya que la salazón del queso libera cloruro de sodio). Cambios de temperatura (considere agua de enfriamiento). Las pérdidas de leche pueden llegar al 0,5-2,5% del volumen de leche recibido o, en el peor de los casos, hasta el 3-4%, lo que supone una contribución importante a la carga contaminante final de las aguas residuales. Un litro de leche entera corresponde aproximadamente a 110.000,00 mg/L DBO5 y 210.000,00 mg O2/L DQO. (Santamaría, Álvarez, Santamaría, & Zamora, 2015)

### **Aguas de la Industria Textil**

La contaminación por metales pesados se manifiesta en el desarrollo de la ciencia y la tecnología, especialmente en la industria (minería, cemento, tintes, curtidos, galvanizado, producción de acero, materiales fotográficos, pinturas corrosivas, producción de energía, producción textil, conservación de la madera, anodizado de aluminio, refrigeración por agua, entre otros), y determinadas actividades humanas como la agricultura. (Cañizares, 2000)

La disposición de residuos provoca la contaminación de la atmósfera, los ríos y el medio ambiente terrestre. Debido a su movilidad y toxicidad, los metales pesados se han convertido en importantes contaminantes inorgánicos y exhiben propiedades tales como no biodegradabilidad, bioacumulación que conduce a procesos de biomagnificación, persistencia indefinida, entrada en cadenas tróficas y desnaturalización de proteínas. En particular, al cambiar las propiedades físicas, químicas y biológicas y en grandes proporciones, provocan un aumento de la turbidez, viscosidad, DBO y DQB, pH en los cuerpos de agua. Es por esto que

se consideran nocivos para la salud humana, la flora y la fauna y causan daños al ser humano como erupciones cutáneas, úlceras estomacales, enfermedades respiratorias, renales y hepáticas, del sistema nervioso, cáncer e incluso la muerte en el caso de necrosis vegetal de sus hojas inhiben el crecimiento de raíces hasta la muerte de la planta. (Tejada, Villabona, & Garcés, 2015)

De igual forma, los mecanismos moleculares que describen la toxicidad por metales pesados incluyen: desplazamiento de iones metálicos esenciales de biomoléculas y bloqueo de sus grupos funcionales, modificación y separación de biomoléculas, modificación de otras sustancias activas. Por ello, la OMS ha establecido límites máximos permisibles de iones de metales pesados en el agua, cuya concentración máxima debe estar en el rango no máximo de 0,01 a 1 ppm. (Tejada, Villabona, & Garcés, 2015)

### **Biorremediación**

Dado que opera en una variedad de campos, incluidos los relacionados con la producción y el procesamiento de alimentos, agricultura, silvicultura, el sector de la salud, la producción de materia y productos químicos, así mismo como la protección del medio ambiente, la biotecnología se caracteriza como un conjunto de tecnología que tiene el potencial para apoyar el desarrollo sostenible ayudando a abordar los problemas de contaminación. Entre estas últimas, la biorremediación (también conocida como biotecnología ambiental) juega un papel protagónico (Garzón, Rodríguez, & Hernández, 2017)

La biorremediación es el uso de organismos vivos para restaurar un ambiente contaminado, que puede utilizar una variedad de organismos. La biodegradación es un proceso que ocurre naturalmente en el medio ambiente y la biorremediación intenta mejorarlo. Es una tecnología económica aplicable a tierra y agua y no requiere de una gran infraestructura. La biorremediación entonces reduce o elimina los residuos potencialmente peligrosos presentes en el medio ambiente y, por lo tanto, puede usarse para tratar suelos o aguas contaminadas, ya

que es aplicable en una amplia gama y cada estado de la materia es sólido (suelo u objetos sedimentarios) o directamente en lodos, residuos. (Garzón, Rodríguez, & Hernández, 2017)

La industria petrolera estadounidense ha utilizado la biorremediación de crudo durante muchos años. Se basa en la experiencia práctica de los operadores de refinerías que limpian capas delgadas de lodos del separador y otros residuos aceitosos como una capa delgada en la superficie del suelo cerca de la refinería. Esta técnica, denominada “tratamiento”, es muy utilizada sin conocimiento de los procesos que conducen a la degradación de los lodos (Islas, Peralta, Vega, López, & Rodríguez, 2016).

Según (Kumar, Shahi, & Simranjeet, 2018) la biorremediación se define como el uso de organismos vivos como microorganismos y plantas para reducir o eliminar, degradar y transformar contaminantes en los ecosistemas terrestres y acuáticos.

#### **Biorremediación bacteriana**

Esto se hace con bacterias de los géneros Bacillus, Pseudomonas y Lysinobacillus, las cuales se pueden inocular (proceso de inoculación) en el área contaminada, aplicar nutrientes para acelerar el proceso o se pueden encontrar localmente. Las investigaciones muestran que las bacterias y los hongos degradan el petróleo y sus derivados, así como el benceno, el tolueno, la acetona, los pesticidas, los éteres, los alcoholes, así como el arsénico, el selenio y algunos metales pesados. Estas bacterias tienen la capacidad de aislarlas y luego destruirlas. (Zhang, y otros, 2010)

#### **Biorremediación enzimática**

La biorremediación, o degradación enzimática, es la descomposición de sustancias nocivas o nocivas para el medio ambiente y la salud utilizando enzimas producidas por bacterias modificadas genéticamente, las cuales son costosas de producir (Ramírez & Cocha, 2003).



### **Antecedentes de la biorremediación**

La industria petrolera estadounidense ha utilizado la biorremediación en su forma cruda durante muchos años. Esto proviene del conocimiento empírico de los operadores de refinerías que eliminan los lodos del separador API (Instituto Americano del Petróleo) y otros residuos aceitosos como una capa delgada en la superficie del suelo cerca de la refinería. Esta técnica, denominada “tratamiento”, es ampliamente utilizada sin comprender los procesos que conducen a la degradación de los lodos. (Soares & Soares, 2012)

En 1998, en colaboración con la empresa Tank Recovery Ibérica de Santander, se inició una nueva investigación aplicada en el campo de la biorremediación, que utiliza la actividad metabólica de microorganismos para la descontaminación de diversas matrices ambientales. Cabe señalar que los suelos contaminados con hidrocarburos son sin duda los mejores candidatos para la aplicación de métodos de biorremediación. Se pueden utilizar dos estrategias diferentes para la biorremediación: la bioestimulación, basada en la activación de poblaciones microbianas locales, y la bioaumentación, basada en la inoculación de cepas o comunidades microbianas de laboratorio. Los trabajos iniciales se han centrado en las aguas industriales contaminadas con hidrocarburos de la empresa CLH, el estudio de diversos procesos bioestimuladores de la microflora local y la optimización de las condiciones de biodegradación. Asimismo, se obtuvieron consorcios microbianos indefinidos para diferentes grupos de hidrocarburos, como crudo liviano, crudo pesado degradado, combustible diésel y gasolina, los cuales también fueron utilizados en pruebas de inoculación de agua o suelo (bioaumentación). El grupo de investigación también cuenta con un consorcio microbiano no definido que degrada los PAH, liderado por J. Sabaté se utilizó para aislar cepas bacterianas degradadoras de PAH. (Sabaté, 1998)

A partir de 1999, según un nuevo convenio entre la UB y Tank Recovery Iberica, el área de investigación se amplió a la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos,

mientras que, en 2001, el CICYT financió el estudio "Biorremediación de suelos contaminados: posible aplicación de un protocolo de ensayo procedimental y ejecución de pruebas a escala piloto. (Viñas, 2005)

Luego, cuando los investigadores y empresarios demostraron que algunos microbios, en particular algunas bacterias, podían usar los hidrocarburos del petróleo como alimento y energía, la comprensión científica comenzó a tomar forma. Estudios posteriores demostraron que estos microbios eran los principales causantes de la degradación del aceite en las "granjas" del suelo. (Soares & Soares, 2012)

El tratamiento de aguas residuales domésticas mediante el proceso de lodos activados es otra aplicación importante de la biotecnología en aplicaciones de biorremediación. Este tratamiento de lodos activados se ha convertido en una importante herramienta biotecnológica ambiental para el control de la contaminación en el medio acuático. De manera similar, la estabilización aeróbica de los desechos sólidos orgánicos a través del compostaje se ha utilizado durante mucho tiempo. Asimismo, una serie de aplicaciones de biorremediación, incluso el tratamiento eficiente y manejable de aguas residuales con nitratos y fosfatos, han utilizado con éxito microorganismos y enzimas. La mejora de la capacidad de la biorremediación se ha centrado principalmente en los microorganismos y las enzimas, aunque el uso de plantas superiores en la fitorremediación también es un área importante de investigación. (Carrillo González, 2018)

### **2.1.2. Contenido teórico que fundamenta la investigación**

El agua es un elemento indispensable que requiere de procesos y medidas higiénicas. La creciente demanda ha impulsado el diseño para la reutilización y el reciclaje, y uno de esos sistemas innovadores es la biorremediación, que permite el uso de agentes microbianos capaces de degradar los contaminantes. La remediación biológica ha demostrado ser una de las alternativas más efectivas y rentables para la descontaminación de ecosistemas en

comparación con los sistemas fisicoquímicos tradicionales. Sin embargo, el resultado de tales estrategias de mitigación dependerá de la ubicación y las condiciones ambientales, por lo que es importante encontrar nuevas biotecnologías e implementar tecnologías rentables que se utilicen para el bienestar ambiental y la seguridad social. El agua, un elemento humano insustituible, recibe atención porque es un recurso limitado y cada vez menos disponible, y también requiere procesos higiénicos y medidas de desinfección y descontaminación. (Humanante, Deza, Moreno, & Grijalva, 2021)

El rápido crecimiento de la población ha creado una mayor necesidad y al mismo tiempo es necesario promover nuevas tecnologías para tratar las aguas residuales con métodos sostenibles, este es uno de los sistemas de biorremediación innovadores de la actualidad; esto permite que la aplicación degrade de manera eficiente los nutrientes presentes en los agentes microbianos de las aguas residuales para proteger y restaurar los recursos hídricos. (Humanante, Deza, Moreno, & Grijalva, 2021)

Para la eliminación de sustancias nocivas del medio ambiente, la biorremediación se ha convertido en un sustituto atractivo y prometedor de las técnicas fisicoquímicas convencionales. A pesar de las muchas ventajas de los métodos de biorremediación, existen algunas dificultades en su aplicación debido a factores como las limitaciones de la variabilidad ambiental y del sustrato, el potencial de biodegradación limitado y la viabilidad de los microorganismos naturales. El debate sobre el impacto de la actividad humana en el medio ambiente ha continuado durante tantos años que no se puede ignorar el impacto sobre los sistemas ambientales desde los cuales se sustentan las dinámicas socioeconómicas y culturales. Por esta razón, parece haber un enfoque continuo en el proceso de crecimiento económico, reduciendo y mitigando el impacto ambiental en los ecosistemas y manteniendo así sus funciones para satisfacer las necesidades de las generaciones futuras. De esta premisa

surgió lo que hoy se denomina desarrollo sostenible, que se define como un compromiso humano. (Xercavins, Cayuela, Cervantes, & Sabater, 2005)

Para hacer realidad este concepto, es necesario desarrollar estrategias de gestión ambiental dirigidas a solucionar, mitigar y/o prevenir los problemas ambientales, permitiendo que las personas desarrollen su potencial y gestionen el patrimonio biofísico y cultural. , lo que garantiza su duración en el tiempo y en el espacio. Esto significa que los recursos naturales se gestionan de forma racional, por un lado, tomando medidas preventivas y, por otro lado, introduciendo nuevas tecnologías que ayuden a reducir y corregir los recursos afectados. (Garzón, Rodríguez, & Hernández, 2017)

La necesidad de eliminar estos mediadores ha llevado al desarrollo de nuevas tecnologías que enfatizan la desintoxicación y destrucción de contaminantes en lugar de los métodos de tratamiento tradicionales. Entre las muchas tecnologías que tienen el potencial de lograr objetivos de sostenibilidad, la biorremediación (es decir, el uso de microorganismos, hongos, plantas o enzimas derivadas de ellos para restaurar el medio ambiente. Esta técnica utiliza medidas de biodiversidad para reducir (y, si es posible, eliminar) los efectos nocivos de los contaminantes ambientales específicos del sitio. (Cabrera, 2014)

El concepto de remediación dio origen al termino “biorremediación”, que describe el uso de técnicas fisicoquímicas para detener la contaminación y el daño del suelo. En el caso específico de la biorremediación, que se enfoca en la biorremediación, se basa principalmente en la capacidad de los organismos para degradar naturalmente ciertos compuestos contaminantes; Los sistemas biológicos más utilizados son los microorganismos o las plantas. (Rodríguez & Sánchez, 2003)

La biorremediación puede entonces reducir o eliminar los desechos potencialmente peligrosos presentes en el medio ambiente y, por lo tanto, puede usarse para tratar el suelo o el agua contaminados porque es aplicable en la medida en que puede considerarse correctiva

cada vez que se usa. Uno de los estados de la materia, ya sea sólido (suelo o sedimento) o directamente en lodos, residuos, etc. en líquidos, aguas superficiales, aguas subterráneas y aguas residuales y gases de efluentes industriales. (Rodríguez & Sánchez, 2003)

Hoy en día, se han establecido procesos de biorremediación para el tratamiento in situ y ex situ de suelos y aguas subterráneas contaminadas. Varias experiencias han demostrado que la biorremediación, si se adapta adecuadamente a las condiciones ambientales que se van a abordar, puede proporcionar costos y beneficios ambientales significativamente más bajos en comparación con las tecnologías alternativas. Por otro lado, se ha demostrado que la biorremediación es útil para reducir las emisiones de vapor de compuestos orgánicos, especialmente de aguas residuales gaseosas que tienen un bajo contenido de compuestos orgánicos volátiles (COV). (Garzón, Rodríguez, & Hernández, 2017)

Se pueden utilizar dos procesos biotecnológicos principales para eliminar los COV de los gases. Es claro que la biorremediación siempre ha jugado un papel importante en el mantenimiento de un medio ambiente limpio, el cual se verá muy ampliado con el desarrollo e implementación de la biotecnología para el tratamiento de todo tipo de aguas residuales, desechos y efluentes industriales. Sin embargo, aunque la biorremediación es generalmente reconocida como un tratamiento efectivo, económico y amigable con el medio ambiente, enfrenta un nuevo desafío: convencer a las empresas y autoridades oficiales de su gran potencial, ya que se ha convertido en un enfoque terapéutico real para la limpieza. impacto ambiental de la actividad humana en la industria. Aplicaciones de la biorremediación En la extracción de oro, plata, cobre, etc., existen métodos biotecnológicos prometedores que a menudo son más baratos que los métodos tradicionales, por ejemplo, en la desintoxicación de aguas residuales, se han utilizado bacterias en la extracción de cobre y oro en Chile, India, Ghana, Uzbekistán Stein y Australia; al menos el 34% del cobre y el 15% del oro del mundo provienen de estos países. (Di & Vicién, 2010)

Cabe señalar que el nivel habitual de acumulación en las plantas oscila entre 0,1 y 100 mg (por kg de masa vegetal), pero excepcionalmente puede alcanzar el 1-3 %, registrándose un 25 % de materia seca. acumulada para cada árbol. Es importante recalcar que debido a que el cultivo frena el crecimiento de estas especies, experimentan un crecimiento lento, baja biomasa y adaptación a condiciones ambientales extremas (suelo contaminado). De esta manera, se evidencian algunas de las contribuciones de la literatura que informan sobre la aplicabilidad de la biorremediación para la limpieza de diversos ambientes impactados por el hombre. Sin embargo, también deben tenerse en cuenta las diferentes actitudes hacia las ventajas y desventajas de dicho procesamiento biológico. La biorremediación es generalmente menos costosa e invasiva en el área contaminada que otros métodos y, por lo tanto, causa menos daño ecológico en el proceso de eliminación de productos contaminados. Varios autores están de acuerdo en que la biorremediación a menudo se puede realizar en el sitio, lo que elimina los costos de transporte y las responsabilidades, lo que permite que el uso industrial y la producción continúen en el sitio mientras se utiliza el proceso de biorremediación. (Garzón, Rodríguez, & Hernández, 2017)

Además, el tratamiento biológico se puede combinar con otras tecnologías en la cadena para facilitar el tratamiento de desechos mixtos y complejos y para reducir o degradar de manera segura los contaminantes del procesamiento. Otra clara ventaja de utilizar materiales renovables (residuos y subproductos) facilita la remediación biológica de diversos ambientes contaminados relacionados con cáscaras de semillas de girasol, maní, arroz y pipas; tallos de algodón y sus derivados, plantas varias, caña de azúcar, maíz, sorgo, orujo de vino, caña de azúcar, bagazo de tequila, coco y banano, pulpa de café, desechos de papel, madera, aserrín y astillas. (Carrillo González, 2018)

Las oportunidades que presenta la biorremediación como tecnología para las naciones en desarrollo, por otro lado, también son un tema de discusión. Los defensores de la

biotecnología ambiental argumentan que las tecnologías de la vida son más adecuadas para resolver problemas críticos que afectan al mundo en desarrollo, ya que el avance de estas aplicaciones biotecnológicas promete aliviar la pobreza, mejorar la salud y mejorar el bienestar de las personas en los países en desarrollo. Mejorar el bienestar material y la calidad de vida en general. Limitaciones y desventajas de la biorremediación La biorremediación también tiene sus limitaciones y desventajas. Algunas sustancias químicas, como los compuestos altamente clorados y los metales pesados, no son fácilmente biodegradables ni se estabilizan. Ciertos productos químicos pueden producir sustancias que son más tóxicas o inflamables como resultado de la degradación microbiana. (Rodríguez & Sánchez, 2003)

La deshalogenación reductiva, por ejemplo, es el proceso por el cual los átomos de cloro de la molécula de tricloroetileno, o TCE, se eliminan gradualmente a través de una serie de reacciones microbianas que tienen lugar en ambientes anaeróbicos. El producto final es cloruro de vinilo (VC), un carcinógeno conocido. Como resultado, si la biorremediación se usa sin el conocimiento de los procesos biológicos involucrados, los procesos metabólicos y químicos involucrados pueden conducir a peores condiciones que los métodos existentes. Por lo tanto, la biorremediación es un procedimiento científico intensivo que debe ser específico del sitio para minimizar los efectos de las limitaciones ambientales. (Carrillo González, 2018)

Los costos de la evaluación inicial de la biorremediación in situ, la caracterización y la evaluación de factibilidad pueden ser más altos que los asociados con los métodos más tradicionales. Debido a que los procesos biológicos a veces son lentos, no se prefiere la biorremediación cuando se requiere una limpieza rápida de sitios contaminados por razones económicas, políticas o ambientales. (Di & Vicién, 2010)

Según varios autores, el uso de residuos orgánicos para fertilización, restauración y reciclaje para aplicaciones industriales es difícil y requiere un procesamiento cuidadoso y el uso de tecnologías, a pesar de los avances en el tratamiento biológico de suelos contaminados. Las

aplicaciones de biorremediación deben estar respaldadas por la ciencia, pero en el mercado de productos que abordan problemas ambientales, los compuestos microbianos a menudo se comercializan con formulaciones desconocidas que son ineficaces e incluso pueden aumentar el riesgo de contaminación. (Gallardo, 2007)



## CAPÍTULO III: Diseño metodológico

### 3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente trabajo se desarrolla en los Laboratorios de Investigación y Desarrollo de Ecuahidrolizados, se basa en una investigación aplicada descriptiva realizada en laboratorio de corte experimental, de orientación transversal y cuantitativa con hongos *Pleurotus ostreatus* (UN1452) y *Pleurotus djamor* (UN1503).

La finalidad del estudio es la evaluación de las características químicas y físicas de exopolisacáridos obtenidos a partir de cepas de *Pleurotus Spp.*, como propuesta de biorremediación de aguas residuales industriales.

## 3.2. Los métodos y las técnicas

### 3.2.1. Materiales

#### 3.2.1.1. Material experimental

Hongos:

*Pleurotus ostreatus* (UN1452) y

*Pleurotus djamor* (UN1503)

#### 3.2.1.2. Material de laboratorio

- Bureta
- Fiola
- Embudo
- Piseta
- Pinza
- Guante quirúrgico
- Matraz Erlenmeyer 250 mL, 100 mL.
- Pipeta graduada de 2mL, 5mL, 10mL.
- Vaso de precipitación de 50mL, 100mL, 250 mL.
- Probeta de 25mL, 50mL, 100mL, 1000mL.
- Papel filtro marca Whatman #1
- Placa Petri
- Balón aforado.
- Agitador de Vidrio.
- Indicador universal de pH

### 3.2.1.3. Reactivos

- Hidróxido de sodio 1N
- Ácido clorhídrico 1N
- Agua destilada
- Alcohol etílico
- Agar extracto de Malta
- Agar papa Dextrosa.

### 3.2.1.4. Equipos

- Balanza analítica
- Horno.

### 3.2.2. Material biológico

En esta investigación se usaron los hongos: *Pleurotus ostreatus* (UN1452) y *Pleurotus djamor* (UN1503). Las existencias de todas las cepas se depositan en la colección de hongos del Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Ecuahidrolizados.

### 3.2.3. Medios de cultivo

Usando un matraz Erlenmeyer, se procedió a disolver 18 gramos de papa dextrosa agar (PDA) en 0.50 L de agua destilada para crear el medio de cultivo. El matraz se autoclavó a 121 °C durante 30 min, posteriormente, se vertieron 10 mL de medio estéril en cajas de Petri.

Las placas con el medio solidificado se colocaron en bolsas de plástico y se incubaron a 28 °C durante 24h para comprobar la esterilidad (Eger et al., 1976).

#### **3.2.4. Preparación de cultivo líquido.**

El cultivo líquido se preparó disolviendo 39 g de caldo papa dextrosa PDB en 1 L de agua destilada utilizando un matraz Erlenmeyer. El matraz se esterilizó en autoclave a 15 psi (121 °C) durante 15 minutos.

#### **3.2.5. Producción de biomasa**

Micelio de hongos como: *Pleurotus ostreatus* (UN1452) y *Pleurotus djamor* (UN1503) se activó en placas PDA a 25 °C durante 5 días. Se cortaron dos discos con un tamaño de 5,5 mm del borde del micelio en PDA, y se inocularon en un matraz Erlenmeyer con 100 mL del medio líquido. el matraz con el medio se colocó en una incubadora con agitación a 200 rpm durante 6 días a 25 °C. Finalmente, la biomasa se filtró a través de papel filtro Whatman #1 y se secó hasta peso constante. (Lakzian et al., 2008; Taskin et al., 2012).

#### **3.2.6. Producción de exopolisacáridos**

El caldo de cultivo y el agua utilizada para lavar la biomasa del tamiz se filtraron a través de papel filtro Whatman #1, y se le agregaron 150 mL de etanol para precipitar el polisacárido. Finalmente, el precipitado de EPS que se filtró, se secó hasta peso constante a 40 °C (Rasulov et al., 2013).

### **3.3. Procesamiento estadístico de la información.**

Los datos fueron tabulados y procesados utilizando la hoja de cálculo Excel 2010. El mismo permitió realizar los análisis estadísticos pertinentes según la característica de los datos de cada una de las muestras tratadas.

## CAPÍTULO IV: Análisis y discusión de resultados

### Objetivo 1.

#### 4.1 Determinación del medio de cultivo

El estudio sobre el medio de cultivo a elegir para un mayor crecimiento de la micelial ha sido examinado por varios autores, quienes han concluido que el medio de cultivo del Agar Papa Dextrosa (PDA) es el que mejores resultados da, obteniendo mayor cantidad de biomasa y por ende de exopolisacáridos (Cali, 2022).

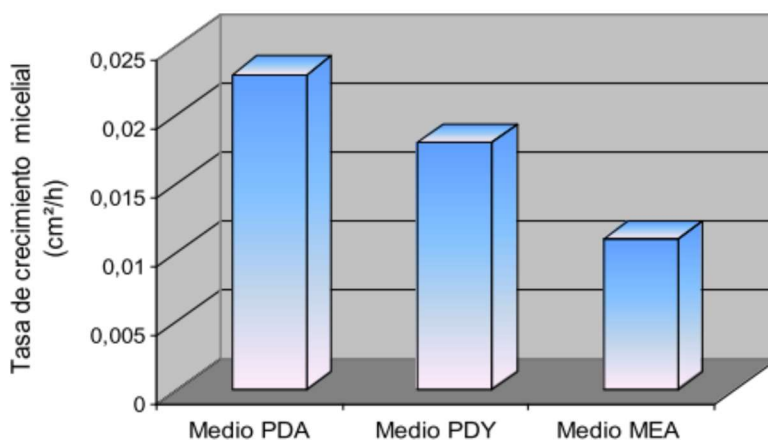


Figura 1. Tasa de crecimiento micelial Fuente: (Cali, 2022).

### Objetivo 2.

La Tabla 1 muestra la producción de biomasa del líquido sumergido de *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor*.

La producción de biomasa por los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor* estuvo entre 60,52% y 73,33%. Taskin et al. (2012) utilizaron cultivo líquido compuesto por glucosa (40 g/L), extracto de levadura (3 g/L) y triptona peptona (10 g/L) para el crecimiento de la cepa de *Morchella esculenta* obteniendo 16% de biomasa.

**Tabla 1.** Producción de biomasa en medio PDB de *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor*.

<b>Cepas</b>	<b>Peso mojado (g)</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>Biomasa (%)</b>
<i>Pleurotus ostreatus</i> (UN1452)	0.76	0.30	60.52 <sup>b</sup>
<i>Pleurotus djamor</i> (UN1503)	0.60	0.24	73.33 <sup>a</sup>

\*Tabla 1: Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa entre la biomasa producida por dos cepas de hongos fitopatógenos con nivel  $p < 0.05$ , según la prueba de Duncan,  $n=10$ .

### Objetivo 3.

La Tabla 2 presenta la producción de exopolisacáridos del líquido sumergido de *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor*. La producción de exopolisacáridos de los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor* estuvo entre 52% y 85%. Taskin et al. (2012) utilizó cultivo líquido compuesto por glucosa (40 g/L), extracto de levadura (3 g/L) y triptona peptona (10 g/L) para la cepa de *Morchella esculenta* que presenta producción de exopolisacáridos (4,80%).

El cultivo sumergido representa una forma alternativa de producción rápida y eficiente de biomasa micelial y exopolisacáridos (Confortin et al., 2008). Los peptones representan no solo una fuente de nitrógeno orgánico sino también una fuente de aminoácidos o péptidos específicos. Estos se definen como hidrolizados de proteínas que son fácilmente solubles en agua y no son precipitables por calor, por álcali o por saturación con sulfato de amonio.

**Tabla 2.** Producción de exopolisacáridos en medio sumergido PDB de hongos *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor*.

Cepas	Exopolisacaridos (%)
<i>Pleurotus ostreatus</i> (UN1452)	52 <sup>b</sup>
<i>Pleurotus djamor</i> (UN1503)	85 <sup>a</sup>

\*Tabla 2: Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa entre la producción de los exopolisacáridos de las dos cepas de hongos fitopatógenos con nivel  $p < 0.05$ , según la prueba de Duncan,  $n=10$ .



## CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1. Conclusiones

- El cultivo líquido utilizado en el cultivo de *Pleurotus djamor* en medio de PDB presentó la mayor producción de biomasa y exopolisacáridos.
- La eficiente obtención de la biomasa y exopolisacáridos de las cepas estudiadas, dependerá de la calidad de las mismas, de los medios de cultivo y su agitación durante el proceso.

### 5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar más investigaciones sobre sus biomoléculas dado que son beneficiosas para los seres humanos de varias maneras.
- Se debe considerar el medio de cultivo donde se realizará el proceso dependiendo de estos elementos se desarrollará mayor cantidad de producto.
- La agitación constante durante el proceso, es necesaria hasta obtener su biomasa y luego los exopolisacáridos.

## Bibliografía

- Armijo, J., Azogue, H., Barragán, S., & Freire, A. (2021). Biotratamientos de aguas residuales en la industria láctea. *Agro-industry Sciences*, 3(1). doi:<https://doi.org/10.17268/JAIS.2021.003>
- Asaduzzaman, K., & Mousimu, T. (2012). Nutritional and Medicinal Importance of Pleurotus Mushrooms: An Overview. *Food Reviews International*, 28, 313-329. Obtenido de <https://www.semanticscholar.org/paper/Nutritional-and-Medicinal-Importance-of-Pleurotus-Khan-Tania/4656427b0c4ca60d266285263ba8df3691941852>
- Baek-Cho, S. (2005). *Cultivo del Hongo Ostra* (1 ed.). República de Corea: MushWorld. Obtenido de <https://almazul.com.ar/storage/Bibliografia/Manual%20Girgolas%20Mushworld.pdf>
- Basidiomycete Fungi on Lignocellulosic Materials. *Vitae*, 13(2), 61–67.
- Bermeo, G. M., & Tinoco, G. O. (2016). Remoción de colorantes de efluente sintético de industria textil aplicando tecnología avanzada. *Industrial Data*, 19(2), 91-95. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/816/81649428011.pdf>
- Bogan, BW. & Lamar, RT. 1996. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon-Degrading Capabilities of Phanerochaete laevis HHB-1625 and Its Extracellular Ligninolytic Enzymes. *Applied and Environmental Microbiology*. 62(5): 1597–1603
- Cabrera, T. C. (2014). El concepto y la visión del desarrollo como base para la evaluación de políticas públicas. *Economía y Sociedad*, 18(30), 47-65. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/510/51032370004.pdf>
- Cali, M. F. H. (2022). PRODUCCIÓN DE EXOPOLISACÁRIDOS A PARTIR DE HONGOS COMESTIBLES LENTINULA EDODES A DIFERENTES CONDICIONES DE POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH). En 2022 (Vol. 2). Milagro.
- Cañizares, V. R. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana.

- Revista Latinoamericana de Microbiología*, 42(3), 131-143. Obtenido de [https://www.academia.edu/7446935/Biosorci%C3%B3n\\_de\\_metales\\_pesados\\_mediante\\_el\\_uso\\_de\\_biomasa\\_microbiana](https://www.academia.edu/7446935/Biosorci%C3%B3n_de_metales_pesados_mediante_el_uso_de_biomasa_microbiana)
- Carbajo, G. J. (2015). *Utilización de hongos de podredumbre blanca en la producción de pasta de celulosa de alto rendimiento*. Madrid: Universidad Complutense. Obtenido de <https://eprints.ucm.es/id/eprint/32794/>
- Carrillo González, R. (1 de Agosto de 2018). ALTERNATIVAS DE FITORREMEDIACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS CON ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS. *Agro Productividad*, 10(4). Obtenido de <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/988>
- Cohen, R. P., & Hadar, Y. (2002). Biotechnological Applications and Potential of Wood-Degrading Mushrooms of the Genus *Pleurotus*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 58, 582-594. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s00253-002-0930-y>
- Confortin, F.G.; Marchetto, R.; Bettin, F.; Camassola, M.; Salvador, M. and Dillon, A.J.P. (2008). Production of *Pleurotus sajor-caju* strain PS-2001 biomass in submerged culture. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 35:1149–1155.
- Croteau, R., Kutchan, T., & Lewis, N. (2000). Natural Products (Secondary Metabolites). *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*, 24, 1250-1319. Obtenido de [https://www.scirp.org/\(S\(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1770695](https://www.scirp.org/(S(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1770695)
- Da Silva, RR. 2009. Biorremediação de solos contaminados com organoclorados por fungos basidiomicetos em biorreatores. Doctor. São Paulo, Brasil. Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente. 186 p.
- Demnerová, K., Mackova, M., Speváková, V., Beranova, K., Kochánková, L., Lovecká, P., Ryslavá, E. & Macek, T. 2005. Two approaches to biological decontamination of

- groundwater and soil polluted by aromatics—characterization of microbial populations. *International Microbiology*. 8:205-211
- Di, P. M., & Vicién, C. (2010). *Biorremediación: vinculaciones entre investigaciones desarrollo y legislación*. CEUR CONICET. Obtenido de <http://www.ceur-conicet.gov.ar/archivos/publicaciones/Biorremediacion2.pdf>
- Eger, G.; Eden, G. and Wissig, E. (1976). Pleurotus ostreatus-breeding potential of a new cultivated mushroom. *Theor. Appl. Genet.*, 47: 155-163.
- Floriani, F. 2009. Biodegradação de 2,4-diclorofenol e 2,4,6-triclorofenol por fungos do gênero Pleurotus. *Maestro en Ingenieria Procesos*. Joinville. Brasil. Univille.
- Gaitán-Hernández, R., Salmones, D., Pérez, M. R., & Mata, G. (2006 ). *MANUAL PRÁCTICO DEL CULTIVO DE SETAS*. Xalapa, Veracruz, México: Instituto de Ecología A.C. Obtenido de [http://www1.inecol.edu.mx/cv/CV\\_pdf/libros/Manual\\_PleurotusGaitan.pdf](http://www1.inecol.edu.mx/cv/CV_pdf/libros/Manual_PleurotusGaitan.pdf)
- Gallardo, L. J. (2007). Conclusiones del IV Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental. *Ecosistemas*, 16(2). Obtenido de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/460>
- Garzón, J. M., Rodríguez, M. J., & Hernández, G. C. (30 de Agosto de 2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *UNIVERSIDAD Y SALUD* , 19(2). doi:<https://doi.org/10.22267/rus.171902.93>
- Ghorai, S., Banik, S. P., Verma, D., Chowdhury, S., Mukherjee, S., & Khowala, S. (2009). Fungal biotechnology in food and feed processing. *Food Research International*, 42, 577-587. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.02.019>
- Gomes, K. & Roberto, D. 2006. Biodegradation of Remazol Brilliant Blue R by ligninolytic enzymatic complex produced by Pleurotus ostreatus. *Brazilian Journal of Microbiology* 37:468-473

- González, I. G. (2005). Los hongos: otros recursos del bosque y su interés de conservación. *Recursos rurales*(2), 45-50. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7968023>
- Guarín, B. J., & Ramírez, Á. A. (2004). *Estudio de factibilidad técnico-financiero de un cultivo del hongo Pleurotus ostreatus*. Bogotá D.C. - Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7146/tesis79.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hammel, KE. 1995. Mechanisms for Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Degradation by Lignolytic Fungi. *Environmental Health Perspectives*. 103(5):41-43
- Hettiarachchi, H., & Ardakanian, R. (2017). *USO SEGURO DE AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA: EJEMPLOS DE BUENAS PRÁCTICAS*. Dresde, Alemania: UNU-FLORES. Obtenido de [https://collections.unu.edu/eserv/UNU:5957/SafeUseOfWastewaterInAgriculture\\_ESP.pdf](https://collections.unu.edu/eserv/UNU:5957/SafeUseOfWastewaterInAgriculture_ESP.pdf)
- Humanante, C. J., Deza, N. C., Moreno, A. L., & Grijalva, E. A. (2021). Biorrecuperación de aguas residuales con microorganismos. *Manglar*, 18(4). Obtenido de <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/278>
- Islas, G. A., Peralta, R. M., Vega, L. L., López, A. R., & Rodríguez, V. R. (2016). Biorremediación por bioestimulación y bioaumentación con microorganismos nativos de un suelo agrícola contaminado con hidrocarburos. *Biotecnología y Sustentabilidad*, 82-85. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Alejandro-Islas-Garcia/publication/328389954\\_Biorremediacion\\_por\\_bioestimulacion\\_y\\_bioaumentacion\\_con\\_microorganismos\\_nativos\\_de\\_un\\_suelo\\_agricola\\_contaminado\\_con\\_hid](https://www.researchgate.net/profile/Alejandro-Islas-Garcia/publication/328389954_Biorremediacion_por_bioestimulacion_y_bioaumentacion_con_microorganismos_nativos_de_un_suelo_agricola_contaminado_con_hid)

- Kumar, V. S., Shahi, K., & Simranjeet, S. (19 de Septiembre de 2018). Bioremediation: An Eco-sustainable Approach for Restoration of Contaminated Sites. *Microbial Bioprospecting for Sustainable Development*, 115-136. doi:[https://doi.org/10.1007/978-981-13-0053-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0053-0_6)
- Kosaric, N. 2001. Biosurfactants for Soil Bioremediation. *Food Technology and Biotechnology* 39(4): 295–304
- Lakzian, A.; Berenji, A.R.; Karimi, E. and Razavi, S. (2008). Adsorption Capability of Lead, Nickel and Zinc by Exopolysaccharide and Dried Cell of *Ensifer meliloti*. *Asian J. Chem.*, 20, 6075-6080
- Cali, M. F. H. (2022). PRODUCCIÓN DE EXOPOLISACÁRIDOS A PARTIR DE HONGOS COMESTIBLES LENTINULA EDODES A DIFERENTES CONDICIONES DE POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH). En 2022 (Vol. 2). Milagro.
- Lopez Utrera, Daniel; Garay Peralta, Ignacio; Alarcon Acosta, P. J. F. J. F. (2021). DETERMINACIÓN DE RENDIMIENTO DE *Pleurotus djamor* EN 4 MEZCLAS DE SUSTRATOS INTERGENERICAS. *Ingeniería en Industrias Alimentarias.*, 21(1), 1–9. Recuperado de <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>
- Quintero, J. C., Feijoo, G., & Lema, J. M. (2006). Production of Ligninolytic Enzymes From Basidiomycete Fungi on Lignocellulosic Materials. *Vitae*, 13(2), 61–67.
- Salmones, D., & Salmones, D. (2017). *Pleurotus djamor*, un hongo con potencial aplicación biotecnológica para el neotrópico. *Revista mexicana de micología*, 46, 73–85. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-31802017000200073&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-31802017000200073&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Márquez, F. O., Juárez, P. L., & Trigos, Á. (2014). AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE ESTEROLES DE UNA CEPA COMERCIAL DE *Pleurotus* sp. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(2), 227-235. doi:<https://www.redalyc.org/pdf/629/62931705007.pdf>

- Martínez, Á. T., Speranza, M., Ruíz- Dueñas, F. J., Ferreira, P., Camarero, S., Guillén, F., . . . Río Andrade, D. R. (2005). Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. *Int Microbiol*, 8(3), 195-204. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16200498/>
- Melo de Carvalho, C. S., Sales-Campos, C., & Nogueira de Andrade, M. C. (2010). MUSHROOMS OF THE PLEUROTUS GENUS: A REVIEW OF CULTIVATION TECHNIQUES. *Interciencia*, 35(3), 177-182. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33913157005>
- Montoya, S., Gallego, J. H., Sucerquia, Á. G., Peláez, B. J., Betancourt, Ó. G., & Arias, D. F. (2010). Macromicetos observados en bosques del Departamento de Caldas: su influencia en el equilibrio y la conservación de la biodiversidad. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 14(2). Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-30682010000200004](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30682010000200004)
- Mora, V. M., & Martínez-Carrera, D. (2007). Investigaciones básicas, aplicadas y socioeconómicas sobre el cultivo de setas (Pleurotus) en México. *ECOSUR*, 7-26. Obtenido de <http://www.hongoscomestiblesymedicinales.com/Mexico/UAEM/P.pdf>
- Piña, G. A., Nieto, M. D., & Robles, M. F. (2016). UTILIZACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y AGROINDUSTRIALES EN EL CULTIVO Y PRODUCCIÓN DEL HONGO COMESTIBLE SETA (Pleurotus spp.). *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 32, 141-151. doi:10.20937/RICA.2016.32.05.10
- Quintero, J. C., Feijoo, G., & Lema, J. M. (2006). Production of Ligninolytic Enzymes From
- Ramírez, P., & Cocha, J. M. (2003). Degradación enzimática de celulosa por actinomicetos termófilos: aislamiento, caracterización y determinación de la actividad celulolítica. *Revista Peruana de Biología*, 10(1). Obtenido de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1727-99332003000100008](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332003000100008)

- Rasulov, B.A.; Yili, A. and Aisa, H.A. (2013). Biosorption of metal ions by exopolysaccharide produced by *Azotobacter chroococcum* XU1. *J. Environ. Prot.*, 4(09): 989.
- Riera, F., Celi, A. P., Thompson, L., & Rabagliati, R. (2019). *Manual de infecciones fúngicas sistémicas* (Tercera ed.). Argentina: Editorial recursos fotográficos. Obtenido de [http://circulomedicocba.org/wp-content/uploads/2020/02/Manual-de-Micologia-3ra-edicion\\_final.pdf](http://circulomedicocba.org/wp-content/uploads/2020/02/Manual-de-Micologia-3ra-edicion_final.pdf)
- Robalino, V. V. (2017). *APROVECHAMIENTO INTEGRAL DE RESIDUOS FRUTALES DEL CANTÓN PATATE MEDIANTE FERMENTACIÓN SÓLIDA PARA CULTIVO DE *Pleurotus ostreatus**. Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7913/1/236T0312.PDF>
- Rodríguez, G. J., & Sánchez, M. J. (2003). Biorremediación. Fundamentos y aspectos microbiológicos. *Industria y minería*(351), 12-16. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1252085>
- Sabaté, N. J. (1998). *Fotooxidacion y biodegradacion de hidrocarburos aromaticos policiclicos*. España: Universitat de Barcelona. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=238381>
- Santamaría, E. J., Álvarez, F., Santamaría, D. E., & Zamora, M. (2015). Caracterización de los parámetros de calidad del agua para disminuir la contaminación durante el procesamiento de lácteos. *Agroindustrial Science*, 5(1), 13-26. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6583477>
- Soares, E. V., & Soares, H. M. (2012). Bioremediation of industrial effluents containing heavy metals using brewing cells of *Saccharomyces cerevisiae* as a green technology: a review. *Environ Sci Pollut Res Int.*, 19(4). doi:<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22139299/>



- Suárez, A. C. (2010). *Obtención in vitro de micelio de hongos comestibles, shiitake (Lentinula edodes) y orellanas (Pleurotus ostreatus y Pleurotus pulmonarius) a partir de aislamientos de cuerpos fructíferos, para la producción de semilla*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/70516>
- Taskin, M.; Ozkan, B.; Atici, O. and Aydogan, M.N. (2012). Utilization of chicken feather hydrolysate as a novel fermentation substrate for production of exopolysaccharide and mycelial biomass from edible mushroom *Morchella esculenta*. *Int. J. Food Microbiol.*, 63:597–602.
- Tejada, T. C., Villabona, O. Á., & Garcés, J. L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*, 18(34), 109-123. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0123-77992015000100010&script=sci\\_abstract&lng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0123-77992015000100010&script=sci_abstract&lng=es)
- Tirado, A. D., Gallo, G. L., Acevedo, C. D., & Mouthon, B. J. (2016). Biotratamientos de aguas residuales en la industria láctea. *Producción + Limpia*, 11(1), 171-184. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/460741483/Biotratamiento-de-Aguas-Residuales-en-la-Industria-Lactea-pdf#>
- Toledo, F. J., García, A. C., León, F. O., & Bermejo, J. B. (Diciembre de 2004). Ecología química en hongos y líquenes. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 28(109), 506-528.
- Vilanova, R., Santín, I., & Pedret, C. (2017). Control y Operación de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales: Modelado y Simulación. *Revista Iberoamericana de Automática e informática industrial*, 14(3), 217-233. doi:<https://doi.org/10.1016/j.riai.2017.05.004>
- Viñas, C. M. (2005). *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica*. España: Universidad de Barcelona. Obtenido de [https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/2396/TESIS\\_MVINAS\\_CANALS.pdf](https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/2396/TESIS_MVINAS_CANALS.pdf)

Xercavins, J., Cayuela, D., Cervantes, G., & Sabater, A. (2005). *Desarrollo sostenible*. EDICIONS UPC. Obtenido de [https://www.e-buc.com/portades/9788498800715\\_L33\\_23.pdf](https://www.e-buc.com/portades/9788498800715_L33_23.pdf)

Yee-Batista, C. (31 de Diciembre de 2013). *www.bancomundial.org*. Obtenido de Banco Mundial: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>

Zhang, Z., Gai, L., Hou, Z., Yang, C., Ma, C., Wang, Z., . . . Xu, P. (22 de Junio de 2010). Characterization and biotechnological potential of petroleum-degrading bacteria isolated from oil-contaminated soils. *Bioresour Technol*, 101(21). doi:doi: 10.1016/j.biortech.2010.05.06

# UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

*¡Evolución académica!*

@UNEMIEcuador

