



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**Análisis de las aplicaciones de *Pleurotus ostreatus*  
como alternativa en la biorremediación de residuos mineros**

**T E S I N A**

**QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE  
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS**

**P R E S E N T A:**

**Biól. Luis Roberto Calderón García**

**DIRECTORA**

**Dra. Patricia Mussali Galante**

**CODIRECTORA**

**Dra. Maura Téllez Téllez**

**CUERNAVACA, MORELOS**

**NOVIEMBRE 2022**



## Índice

Resumen .....	1
Introducción.....	2
Capítulo I. Marco teórico.....	4
I.1 Residuos.....	5
I.1.1 Residuos peligrosos .....	8
I.1.2 Manejo de residuos peligrosos .....	12
I.2 Residuos generados por actividad minera .....	14
I.2.1 Metales pesados .....	15
I.2.2 Toxicidad de los metales pesados.....	17
I.2.3 Persistencia de los metales pesados .....	20
I.3 Biorremediación.....	22
I.3.1 Biorremediación Ex situ/In situ .....	23
I.3.2 Adsorción/Absorción.....	23
I.3.3 Bioestimulación y bioaumentación.....	26
I.3.4 Micorremediación.....	26
I.3.4.1 <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	27
I.3.4.2 Micorremediación a partir de <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	30
Capítulo II. Justificación, objetivos y metodología .....	35
II.1 Justificación .....	36
II.2 Objetivos .....	37

<b>II.2.1 Obejtivo general .....</b>	<b>37</b>
<b>II.2.2 Objetivos particulares.....</b>	<b>37</b>
<b>II.3 Metodología.....</b>	<b>38</b>
<b>Capítulo III. Resultados y conclusión .....</b>	<b>40</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>57</b>

## Resumen

La contaminación por metales pesados (MP) es un problema que va en aumento debido a la actividad antrópica, en particular la minería. Los MP, que se encuentran en los residuos mineros, se consideran residuos peligrosos y son una de las causas del deterioro de la salud ambiental, ya que pueden contaminar el suelo como partículas, películas líquidas, absorbidos, disueltos en el agua intersticial, o como fases sólidas en los poros del suelo, además de contaminar los cuerpos de agua y el aire. Los MP poseen altos niveles de toxicidad, son recalcitrantes y no se biodegradan, lo cual resulta en un proceso de bioacumulación. Por ello resulta esencial comprender sus efectos negativos y así encontrar un tratamiento para su eliminación de diferentes matrices ambientales. En los últimos años, dentro del campo de la biorremediación, han tomado relevancia los hongos del género *Pleurotus*, ya que se ha demostrado que tienen la capacidad de coadyuvar en la restauración de sitios contaminados por hidrocarburos, y una gran variedad de metales pesados. Este trabajo da a conocer el panorama teórico general de la biorremediación de MP mediante *Pleurotus ostreatus*, a través de una revisión sistemática, en la cual se analizarán los trabajos que abordan esta temática. Las investigaciones de la última década han arrojado resultados favorables para remediar suelos contaminados por MP mediante *Pleurotus ostreatus*, enfocándose principalmente en plomo, cobre y cadmio. Además, la micorremediación ha sido una estrategia biotecnológica económica y que no genera contaminantes secundarios, por lo que podemos considerar a esta especie como un potencial agente para remediar suelos contaminados por MP.

## Introducción

En la época geológica actual, el *Antropoceno* (Crutzen, 2002), el ambiente se encuentra bajo una considerable amenaza, básicamente su destrucción. La contaminación de ríos, suelos y aire ha provocado que se replanteen las actividades económicas que se desarrollan a costa de la salud ambiental. Sin embargo, pese al cambio de paradigma, llamado *sostenibilidad*, que se ha implementado desde el Informe Brundtland (CMMAD, 1992), las acciones para frenar la contaminación en el ambiente aún no son suficientes. En otros casos, aunque se ha logrado disminuir la emisión de contaminantes, el ambiente ha sido tan maltratado y deteriorado, que necesita un procedimiento independiente (como la biorremediación) que ayude a contrarrestar los daños provocados (García et al., 2002).

Los ambientes perturbados suelen ser, en parte, el resultado de contaminación por MP. En la tabla periódica podemos encontrar a los metales que se consideran contaminantes entre los bloques *d* y *p*. Sus características es que son: abundantes en la corteza continental, tóxicos para los humanos y causan perturbaciones en los ciclos biogeoquímicos (Morton-Bermea, 2006). Por lo general, la contaminación por metales, que han sido considerados como tóxicos, proviene de prácticas industriales como la minería, aunque también se esparcen como consecuencia de otras actividades antrópicas como lo es desechar una pila de control remoto, una lámpara o una colilla de cigarro. Al momento de realizar estas acciones se están liberando al ambiente una gran cantidad de metales y, con ello, una serie de consecuencias graves para casi cualquier organismo, incluido el humano (Londoño-Franco et al., 2016).

La contaminación por MP es un problema que va en aumento debido a la actividad antrópica, en particular la minería (Covarrubias y Peña Cabriales, 2017). La toxicidad de los MP depende de la dosis absorbida, el tipo de compuesto, la vía de exposición y la duración de la exposición, es decir, aguda o crónica. Esto puede provocar afecciones a la salud humana (Reyes et al., 2016), ya que puede resultar en un daño excesivo debido al estrés oxidativo inducido por

la formación de radicales libres (Jaishankar et al., 2014), y otros MP, en particular Cr (VI), Ni, Co, Cd, As (III) y Pb, resultan carcinogénicos para el humano (Devars, 2008). Contrarrestar la contaminación por MP resulta de gran importancia para la salud ambiental y humana, la producción agrícola y ganadera, la calidad de los alimentos y el agua, y la ecotoxicología (Alloway, 2013), ya que las consecuencias son tan diversas como peligrosas.

En sitios en los que los contaminantes tengan altos niveles de toxicidad, sean recalcitrantes, no se degraden y resulten en un proceso de bioacumulación y/o biomagnificación, es allí donde es conveniente utilizar la biorremediación. La biorremediación, según Amaya (2013), es una tecnología de restauración del ambiente utilizando el metabolismo de organismos para acelerar los procesos de biodegradación naturales. Herrera (2019) añade que se trata de biodegradar contaminantes, utilizando microorganismos autóctonos del sitio.

Ahora bien, los MP no se pueden degradar, pero sí remover. Existen organismos que tienen la capacidad de contrarrestar los efectos tóxicos de los MP y vivir en ambientes con altas concentraciones de estos elementos (Marrero-Coto et al., 2009). Existen cinco grupos de organismos que se han utilizado para llevar a cabo la biorremediación: bacterias, algas, plantas, levaduras y hongos. En el caso de los hongos (micorremediación), estos resultan muy útiles y versátiles, ya que pueden detoxificar a través de intercambio iónico, adsorción, cristalización, biotransformación, transporte activo, precipitación intra y extracelular (Ruíz, 2010).

En la última década, dentro del campo de la micorremediación, ha tomado relevancia el género *Pleurotus*, ya que se ha demostrado que es capaz coadyuvar en la remediación de sitios contaminados por hidrocarburos (Camacho, 2013; Chuquín, 2012; Simbaña, 2016), y alrededor de diez MP, principalmente plomo, cobre y cadmio. Además, es una herramienta biotecnología económica que no genera contaminantes secundarios.

# **Capítulo I**

## **Marco teórico**



## I.1 Residuos

En 1984, la Ley General de Salud, establecía las disposiciones relacionadas a los servicios de limpieza. Su preocupación, en parte, era la limpieza y el saneamiento básico con la finalidad de proteger la salud humana y aumentar su nivel de vida. Su enfoque, como bien dice el mismo título de la ley, era la salud, no el ambiente en sí.

Es hasta cuatro años después que se decreta la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). El objetivo fue propiciar el desarrollo sustentable del país y establecer las bases de los principios ambientales en México, uno de esos principios es la gestión adecuada de los residuos. La LGEEPA (1988) concebía por residuos, cualquier material generado que no pudiera ser usado nuevamente en el proceso que lo generó. Este es el primer antecedente directo de lo que ahora entendemos por residuos.

En 2003 se promulgó la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), en la cual define a los residuos de la siguiente manera:

*Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven.*

Como podemos observar el concepto se ha ido modificando, incluso puede cambiar conforme se vean avances o retrocesos en lo que pretende dicha ley: garantizar el derecho de toda persona al ambiente adecuado y propiciar el desarrollo sustentable.

La definición podrá cambiar, pero lo que debe quedar claro es que la generación y acumulación de residuos en un lugar y momento inadecuado puede provocar cambios biológicos o

fisicoquímicos en el ambiente (Pérez et al., 2010) generando graves problemas ambientales, sociales, de salud y económicos.

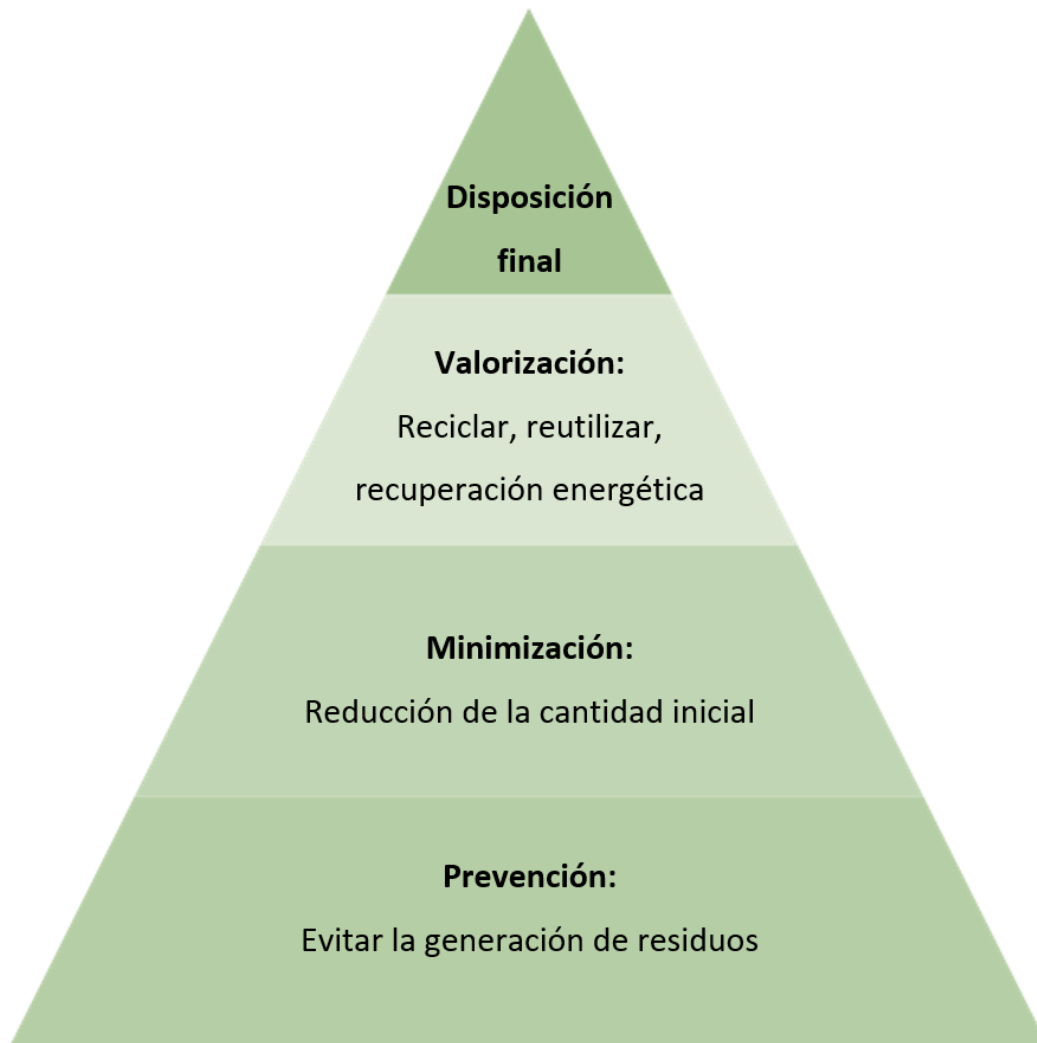
La composición, volumen y origen de los residuos es muy diverso, por ello se ha adoptado por clasificarlos en Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Residuos de Manejo de Especial (RME) y Residuos Peligrosos (RP) (Tabla 1), y cada uno de los niveles de gobierno se encarga de su manejo, los RSU son responsabilidad de los Municipios o Alcaldías, los RME son competencia del Gobierno Estatal y los RP los maneja la Federación (LGPGIR, 2003).

**Tabla 1.** *Clasificación de los residuos según la LGPGIR.*

RSU	RME	RP
Se generan a partir de actividades domésticas, en establecimientos o lugares públicos, siempre y cuando sus características sean similares a los materiales domésticos.	Se generan en los procesos productivos, que son producidos por grandes generadores y que no reúne las características para ser considerados como RSU o RP.	Son aquellos que poseen alguna de las características CRETIB: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contenga agentes infecciosos que le confieran peligrosidad.

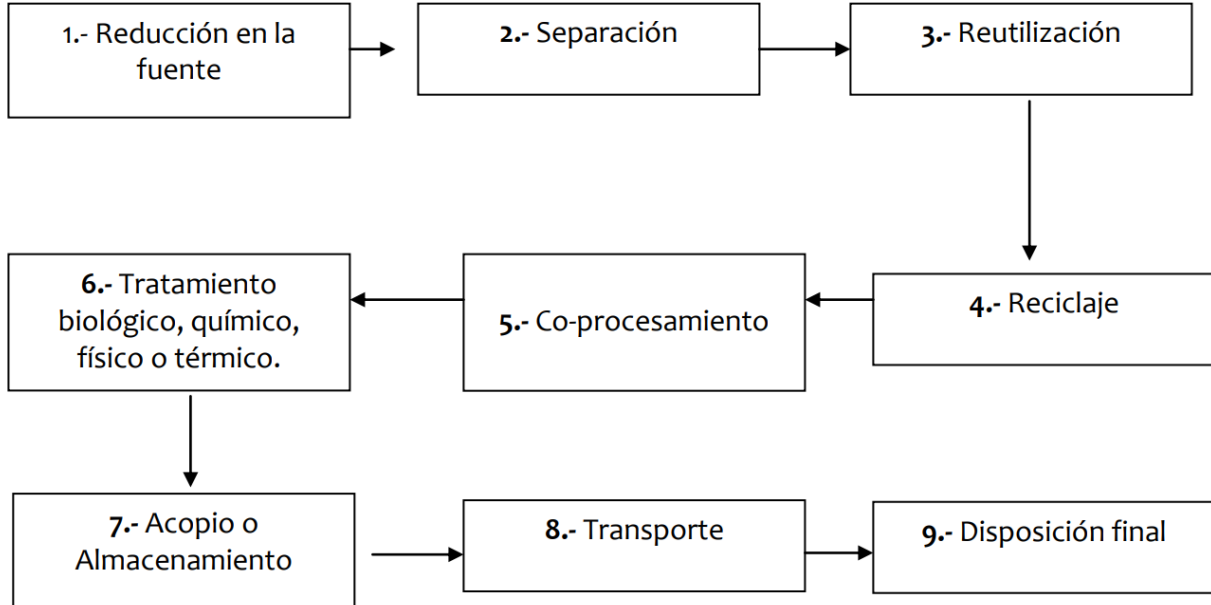
Para tener un panorama general del problema que representan los residuos, en el mundo se generan 2017 millones de *t* tan sólo de RSU por año (Banco Mundial, 2018). Cabe señalar que, al no tener el control de la generación, el tratamiento y la disposición final adecuada de los residuos, se crearán varias dificultades: problemas ambientales por la contaminación de agua, aire y suelo, proliferación de fauna nociva, efectos negativos a la salud humana e incluso

problemas sociales (como el caso de los pepenadores y las precarias condiciones en las que realizan su trabajo). Por todo ello resulta primordial y urgente atender la cuestión de los residuos, apostando por las opciones más favorables de acuerdo con la *Jerarquía de Residuos* (Figura 1).



**Figura 1.** *Jerarquía en la Gestión Integral de Residuos.*

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] (2009), con algunas variantes, también establece esta jerarquía similar a través del siguiente flujo (Figura 2).



**Figura 2.** Flujo de los residuos.

### I. 1. 1. Residuos peligrosos

Seguindo la LGPGIR (2003) se entienden por RP aquellos materiales que tienen al menos una de las características CRETIB: corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y/o biológico-infeccioso. En la Tabla 2 se establecen las características que poseen los RP, de acuerdo con la NOM-052-SEMARNAT-2005 y la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. Cabe aclarar que los envases, embalajes o medios que se utilicen para su transporte también se catalogan como peligrosos.

**Tabla 2.** Propiedades de los residuos CRETIB.

Tipo	Propiedades del residuo
Corrosivo	Es un líquido acuoso y presenta un pH menor o igual a 2.0 o mayor o igual a 12.5.

	<p>Es un sólido que cuando se mezcla con agua destilada presenta un pH menor o igual a 2.0 o mayor o igual a 12.5.</p> <p>Es un líquido no acuoso capaz de corroer el acero al carbón, tipo SAE 1020, a una velocidad de 6.35 milímetros o más por año a una temperatura de 328 K (55°C).</p>
Reactivo	<p>Es un líquido o sólido que después de ponerse en contacto con el aire se inflama en un tiempo menor a cinco minutos sin que exista una fuente externa de ignición.</p> <p>Cuando se pone en contacto con agua reacciona espontáneamente y genera gases inflamables en una cantidad mayor de 1 litro por kilogramo del residuo por hora.</p> <p>En contacto con el aire y sin una fuente de energía suplementaria genera calor.</p> <p>Posee en su constitución cianuros o sulfuros liberables, que cuando se expone a condiciones ácidas genera gases en cantidades mayores a 250 mg de ácido cianhídrico por kg de residuo o 500 mg de ácido sulfhídrico por kg de residuo.</p>
Explosivo	<p>Cuando es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva solo o en presencia de una fuente de energía o si es calentado bajo confinamiento.</p>
Tóxico ambiental	<p>Cuando exceda los límites máximos permitidos para los constituyentes tóxicos en el extracto PECT.</p>
Inflamable	<p>Es un líquido o una mezcla de líquidos que contienen sólidos en solución o suspensión que tiene un punto de inflamación inferior a 60.5°C, medido en copa cerrada.</p> <p>No es líquido y es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos a 25°C.</p> <p>Es un gas que, a 20°C y una presión de 101.3 kPa, arde cuando se encuentra en una mezcla del 13% o menos por volumen de aire, o tiene un rango de inflamabilidad con aire de cuando menos 12% sin importar el límite inferior de inflamabilidad.</p> <p>Es un gas oxidante que puede causar o contribuir más que el aire, a la combustión de otro material.</p>
Biológico infeccioso	<p>Cualquier microorganismo capaz de producir enfermedades cuando está presente en concentraciones suficientes (inóculo), en un ambiente propicio (supervivencia), en un hospedero susceptible y en presencia de una vía de entrada.</p>

Según el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos (2020), la generación de RP en México, para el periodo 2014-2017, fue de 2 447 596.58 t, El 94.7% de esos residuos proviene

de grandes generadores, el 4.7% de los pequeños generadores y el 0.6% de los microgeneradores. Los sectores industriales que más RP aportan son los prestadores de servicios (Figura 3):

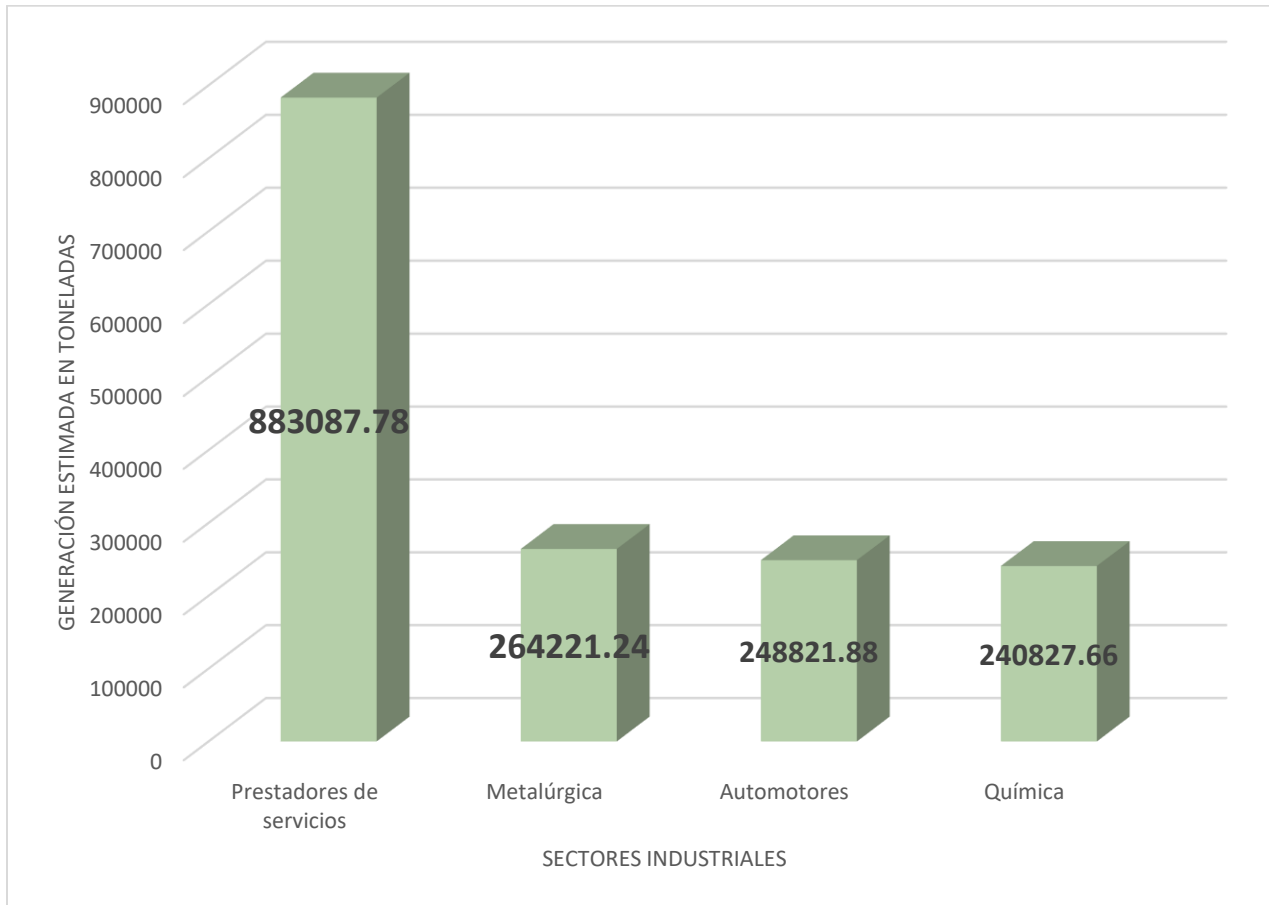


Figura 3. Principales generadores de RP en México durante el periodo 2014-2017. Los prestadores de servicios incluyen la reparación de máquinas, maquila, baños públicos, laboratorios, unidades médicas y cualquier otro giro que genere RP.

Los prestadores de servicios son la principal fuente generadora de RP en México, ya que es una categoría muy amplia que abarca muchos sectores. Después de este heterogéneo bloque, el principal sector que generan RP es el minero-metalúrgico. Es entendible este dato, ya que México se ubica entre los 10 primeros lugares en la producción de 16 diferentes metales,

destacando la plata, oro, plomo y cobre. Estas actividades representan el 8.2% del PIB Industrial (Secretaría de Economía, 2021).

Los RP reportados durante 2014-2017 por parte de la actividad minero-metalúrgica fueron de seis tipos (Tabla 3), con una generación total de 4 088 548 t. Además de tepetates, un tipo de residuo que se cataloga como no peligroso/peligroso. Esta ambigüedad se debe a que en el análisis para determinar su peligrosidad unas veces resulta positivo y otras veces negativo (DBGIR, 2020). El resultado depende de si posee o no las características de peligrosidad por toxicidad (SEMARNAT, 2005).

**Tabla 3.** Tipos de RP generados por el sector minero-metalúrgico (2014-2017).

Tipo de residuo	Cantidades producidas (t)	Destino final
Hollín	3	Confinamiento
Jales de flotación	4 088 000	<i>In situ</i> (en la presa de jales)
Lodos de limpieza de gases	150	Tratamiento
Patios de lixiviación	383	<i>In situ</i> (en patios de lixiviación en montones)
Terrón de escorias de aluminio	12	Confinamiento
Tepetates	25 617 502	<i>In situ</i>

La información de la generación de RP en el sector minero-metalúrgico es escasa y confusa, ya que hay corrientes de jales y tepetates registrados ante SEMARNAT como no peligrosos, a pesar

de que las mismas empresas los reportaron como peligrosos (DBGIR, 2020). En caso de que los tepetates resultaran peligrosos (con alguna de las características CRETIB), en realidad tendríamos 29 706 050 t de RP generadas a partir de un solo sector industrial. Además, también cabe aclarar que los datos que proporciona el DBGIR son tan sólo de 12 empresas, cuando en el Directorio del Sector Minero, que proporciona la Subsecretaría de Minería (2021), aparecen más de 60 empresas dedicadas a este giro. Por lo que la cantidad de RP, seguramente, aumentaría al tener los datos completos de todas las empresas.

### **I. 1. 2. Manejo de Residuos Peligrosos**

La entidad responsable del control y la gestión de los RP es el Gobierno Federal a través de la SEMARNAT. Aunque los niveles estatales y municipales también pueden participar gracias a la firma de convenios, en especial cuando se trata de microgeneradores. Si los RP son manejados de forma segura y adecuada, no necesariamente presentan un riesgo al ambiente o a la salud humana.

El Artículo 50 de la LGPGIR (2021) establece que el manejo de RP incluye el transporte, reciclado, aprovechamiento, co-procesamiento, reutilización, tratamiento, incineración, confinamiento, almacenamiento y acopio. El capítulo IV, de la misma ley, dispone las siguientes medidas a tomar en cuenta:

- 1. Se deberá evitar la mezcla de RP con otros materiales o residuos para no contaminarlos y no provocar reacciones.*
- 2. Los envases y embalajes que contuvieron materiales peligrosos serán considerados como RP.*
- 3. Se prohíbe el almacenamiento de RP por un periodo mayor de seis meses a partir de su generación.*



4. *Los responsables de procesos de tratamiento de RP en donde se lleve a cabo la liberación al ambiente de una sustancia tóxica, persistente y bioacumulable, estarán obligados a prevenir, reducir o controlar dicha liberación.*
5. *Deberán distinguirse los residuos por sus características, volúmenes de generación y acumulación, problemas ambientales e impactos económicos y sociales que ocasiona su manejo inadecuado.*
6. *En el caso del transporte y acopio de residuos se deberán observar medidas para prevenir y responder de manera segura y ambientalmente adecuada a posibles fugas, derrames o liberación al ambiente de sus contenidos.*
7. *Las instalaciones para el confinamiento de residuos peligrosos deberán contar con las características necesarias para prevenir y reducir la posible migración de los residuos fuera de las celdas.*
8. *La distancia mínima de las instalaciones para el confinamiento de RP deberá ser no menor a cinco kilómetros de zonas habitadas.*
9. *Está prohibido el transporte de residuos por vía aérea.*

De acuerdo con el DBGIR (2020) también podemos obtener los siguientes datos que no deben ignorarse a la hora de hablar acerca de RP: existen al menos 115 158 empresas registradas como generadoras de RP, la mayoría de ellas ubicadas en la Zona Metropolitana Valle de México (ZMVM); cinco entidades federativas y la ZMVM sobrepasan las 100 mil t de generación de RP (Chihuahua, Campeche, Nuevo León, Tamaulipas y Tabasco); existen 33 sectores generadores de RP, pero sólo cuatro de ellos abarcan el 66.9% de la generación; sólo existen 1 562 empresas autorizadas para la recolección y transporte de RP, 640 para el almacenamiento y acopio de RP, y 208 autorizadas para el reciclaje de RP. Con estas estadísticas podemos notar que existe un gran problema entre la generación y el acopio/tratamiento de RP en México.

## I. 2. Residuos generados por actividad minera

Dentro de los RP, los MP son de los que mayores problemas ocasionan. La contaminación por MP puede darse de forma natural a partir de actividad volcánica, terremotos, erosión de rocas. Sin embargo, han sido las actividades antrópicas, como la industria tecnológica, la agropecuaria, el uso de diversos fertilizantes químicos y la minería (Londoño-Franco et al., 2016), las que han potenciado la descarga de MP al ambiente.

Los residuos mineros (Tabla 4) son una fuente importante para la dispersión de MP. De acuerdo con Tayebi-Khorami et al. (2019), existen 3 500 instalaciones de desechos mineros activos en todo el mundo, en forma de botaderos de roca estéril o presas de jales. Los minerales se trituran o muelen, y sólo se recuperan aquellos fragmentos que tengan valor comercial, y el resto del material o subproductos de estas actividades (jal, colas, relaves) se desechan. Según datos de Canet y Camprubí (2006), más del 95% del material tratado se traslada a jales, donde permanecerán muchos años a merced de factores bióticos y abióticos.

Después de la explotación minera, los suelos quedan con un amplio abanico de materiales residuales: ácido sulfúrico, cal, carbonato de sodio, hidróxido de sodio, sulfato de cobre, cianuro de sodio, sulfuro de zinc, sulfuro de sodio, aceites, etcétera (Concepción Acosta, 2021).

**Tabla 4.** Principales residuos generados por un combinado minero metalúrgico (Rodríguez y García-Cortés, 2006).

Clasificación	Tipos de residuos
Estériles de mina	Sólidos (polvo, suelo, rocas).
Residuos metalúrgicos del proceso de concentración o beneficio	Sólidos, líquidos, gases.
Residuos de industria de refinado	Sólidos, líquidos, gases.

Residuos urbanos	Aguas residuales, desechos sólidos urbanos.
Residuos sólidos orgánicos	Materia orgánica.
Residuos sólidos industriales no peligrosos	Chatarra liviana (cilindro vacío), chatarra pesada, vidrios, llantas y jebes, PVC y HDPE, plásticos no contaminados, papeles y cartones no contaminados, residuo común, maderas (astilla, aserrín, etcétera).
Residuos sólidos industriales peligrosos	Baterías y pilas; focos, fluorescentes y lámparas; tierra contaminada con hidrocarburos.

De todos los tipos de residuos mineros que pueden generarse, las presas de jales son los que tienen, frecuentemente, mayores consecuencias ambientales adversas (Oldecop y Rodríguez, 2007). Las presas de jales pueden desarrollarse a partir de tres tipos básicos: aguas arriba, línea central y aguas abajo.

Estas presas de jales pueden presentar ocho tipos de fallas comunes (deslizamiento de talud, terremotos, sobrepaso, problemas de fundación, tubificación, falla por problemas en las estructuras auxiliares, erosión del dique, subsidencias o colapso del terremoto), aunque no son los únicos y muchas veces suelen ir combinadas (Oldecop y Rodríguez, 2007). Estas fallas estructurales provocan una alta liberación de contaminantes, dejándolos biodisponibles en el ambiente, por lo que esta forma de disposición no es la óptima para los ecosistemas (Aznar-Sánchez et al., 2018).

### **I. 2.1 Metales pesados**

Existen 70 elementos con características semejantes: elevados puntos de fusión y ebullición, solubles en el agua, aspecto brillante, maleables, buenos conductores de calor y electricidad, y se encuentran en estado sólido (excepto el Hg). A estos elementos los conocemos como metales

y, según su densidad, podemos clasificarlos en metales ligeros, metales ultra ligeros y metales pesados (Tirado et al., 2015).

El grupo de MP no es una clasificación precisa, incluso hay discrepancia respecto al uso de este concepto. Algunos prefieren el término *metales tóxicos* o *metales traza*. A modo general, se entiende por MP aquel elemento químico metálico que tiene una densidad atómica alta (> 5 g/cm<sup>3</sup>) y que tienen el potencial de causar toxicidad (Alloway, 2013).

El debate con esta definición es que dentro de los MP se encuentran elementos esenciales para el humano, ya que intervienen en algunas funciones bioquímicas. El cuerpo humano necesita alrededor de 20 elementos que podemos catalogar como esenciales, 10 de ellos son metálicos: Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Mo y I, mientras que, Si, V, Br y Sn se encuentran en discusión, si son agregados a la lista de esenciales o no (Zoroddu et al., 2019). En lo que sí parecen estar de acuerdo algunos autores es considerar al As, Cd, Hg y Pb como altamente tóxicos para animales y vegetales (Astuti et al., 2021; Ali y Khan, 2018; Zoroddu et al., 2019).

Los riesgos para la salud y el ambiente dependen de la cantidad (Tabla 5), la vía de exposición, el tiempo de exposición y la biodisponibilidad. Por ello la precisión de “potencial de causar toxicidad”, ya que no siempre representan una amenaza (Jiménez-Ramírez et al., 2017).

**Tabla 5.** Límites máximos permitidos de MP, según el tipo de suelo (SEMARNAT, 2007).

<b>Metal</b>	<b>Uso agrícola, residencial o comercial (mg/kg)</b>	<b>Uso industrial (mg/kg)</b>
Arsénico	22	260
Bario	5400	67000
Berilio	150	1900
Cadmio	37	450

Cromo hexavalente	280	510
Mercurio	23	310
Níquel	1600	20000
Plata	390	5100
Plomo	400	800
Selenio	3905	5100
Talio	5,2	67
Vanadio	78	1000

## I. 2. 2. Toxicidad de los MP

Para determinar si un MP se considera tóxico o no, primero se debe comprender que la toxicidad es una propiedad que tienen algunas sustancias (o mezcla de sustancias) para provocar efectos adversos en los ecosistemas o la salud humana. Esta información la obtenemos a través de un Procedimiento de Extracción de Constituyentes Tóxicos (PECT). La prueba nos dirá si el residuo excede los límites permitidos de acuerdo con la NOM-052-SEMARNAT-2005 (Tabla 6).

**Tabla 6.** Límites máximos permitidos en el extracto PECT (SEMARNAT, 2006).

Contaminante	LMP <sup>2</sup> (mg/L)
Arsénico	5.0
Bario	100.0
Cadmio	1.0
Cromo	5.0
Mercurio	0.2

Plata	5.0
Plomo	5.0
Selenio	1.0

La toxicidad puede presentarse de tres formas: toxicidad ambiental (Te) cuando una sustancia o mezcla de sustancias causan desequilibrio ecológico; toxicidad aguda (Th) cuando una sustancia o mezcla de sustancias puede provocar en un periodo corto de tiempo (o una sola exposición) efectos negativos o la muerte de un organismo; toxicidad crónica (Tt) cuando una sustancia o mezcla de sustancias puede provocar a largo plazo (o en exposiciones continuas) efectos cancerígenos, teratogénicos o mutagénicos (SEMARNAT, 2006).

Los MP y sus compuestos, por lo general, tendrán una Tt, aunque no se descarta una Th o Te, ya que suelen presentar más de una característica CRETIB, como los lodos que provienen de baños de cobrizado, niquelado o plateado, que además de ser tóxicos, son corrosivos (SEMARNAT, 2006).

Cada MP tiene características diferentes. Por ello, resulta importante conocerlos, ya que, aunque todos perjudican la salud humana, cada uno lo hace en grados y modos distintos. En la tabla 7 se presentan las consecuencias de la exposición a algunos MP (Martin y Griswold, 2009; Tirado et al., 2015; Covarrubias y Peña Cabriales, 2017):

**Tabla 7.** Efectos negativos de los MP a la salud de los humanos.

Metal	Efecto
Arsénico	Puede causar cáncer de piel, pulmones, hígado y vejiga.  La exposición a niveles más bajos puede causar náuseas y vómitos, disminución de la producción de glóbulos rojos y blancos, ritmo cardíaco anormal, daño a los vasos sanguíneos y una sensación de "hormigueo" en manos y pies.

Bario	<p>La exposición a corto plazo puede causar vómitos, calambres abdominales, diarrea, dificultad para respirar, aumento o disminución de la presión arterial, entumecimiento alrededor de la cara y debilidad muscular.</p> <p>La ingesta de grandes cantidades de bario puede causar presión arterial alta, cambios en el ritmo cardíaco, parálisis y posiblemente la muerte.</p>
Cadmio	<p>La ingestión de niveles muy altos irrita gravemente el estómago y provoca vómitos y diarrea.</p> <p>La exposición prolongada a niveles más bajos conduce a una acumulación en los riñones y una posible enfermedad renal, daño pulmonar y huesos frágiles.</p>
Cobre	<p>Alteraciones óseas en los niños con bajo peso al nacer. En el aspecto genético, se ha reportado que la existencia de mutaciones a nivel de las proteínas de unión al cobre puede favorecer el desarrollo de diabetes y daño neurológico.</p>
Cromo	<p>La ingestión de agua con altas cantidades de Cr puede ocasionar problemas intestinales, enfermedades gástricas y hepáticas.</p>
Mercurio	<p>La exposición a niveles altos puede dañar permanentemente el cerebro, los riñones y los fetos en desarrollo. Los efectos sobre el funcionamiento del cerebro pueden provocar irritabilidad, timidez, temblores, cambios en la visión o la audición y problemas de memoria.</p> <p>La exposición a corto plazo a altos niveles de vapores metálicos de mercurio puede causar daño pulmonar, náuseas, vómitos, diarrea, aumento de la presión arterial o frecuencia cardíaca, erupciones cutáneas e irritación ocular.</p>
Selenio	<p>La exposición oral a corto plazo a altas concentraciones puede causar náuseas, vómitos y diarrea.</p> <p>La exposición oral crónica a altas concentraciones puede producir selenosis. Los principales signos de selenosis son la caída del cabello, la fragilidad de las uñas y las anomalías neurológicas.</p>
Plata	<p>La exposición a altos niveles de plata en el aire ha provocado problemas respiratorios, irritación de los pulmones y la garganta y dolores de estómago.</p> <p>El contacto de la piel con la plata puede causar reacciones alérgicas leves como sarpullido, hinchazón e inflamación en algunas personas.</p>
Plomo	<p>La exposición a dosis elevadas de este elemento puede ocasionar una serie de efectos adversos a la salud, que incluyen daño cerebral severo e incluso la muerte. En mujeres embarazadas puede provocar aborto, mientras que en hombres altera la espermatogénesis.</p>

### **I. 2. 3. Persistencia de los MP en el ambiente**

Las sustancias tóxicas persistentes (STP) se caracterizan por no degradarse, al menos no con facilidad, ya que pueden pasar años o décadas hasta pasar a una forma menos peligrosa; además, son altamente tóxicas, pueden viajar grandes distancias por aire o agua (Fernández et al., 2004). Por otra parte, dada su biodisponibilidad, algunas STP resultan accesibles a los organismos, lo cual a su vez nos presentan nuevos retos: bioacumulación y biomagnificación.

La bioacumulación (Figura 4) es el proceso de captación y concentración de un químico por un organismo desde un medio biótico o abiótico. En otras palabras, la concentración de toxinas en los organismos será mayor a las disponibles en el ambiente (Crettaz et al., 2017). Mientras que la biomagnificación (Figura 5) es la transferencia de un químico (xenobiótico) de la fuente de alimento a un organismo, aumentando su concentración en diferentes niveles tróficos comparada con la concentración inicial (Escobar, 2010).

El transporte de STP dependerá de las características del medio: humedad, pH, permeabilidad, microflora presente, temperatura, etcétera.





Figura 4. Proceso de bioacumulación.

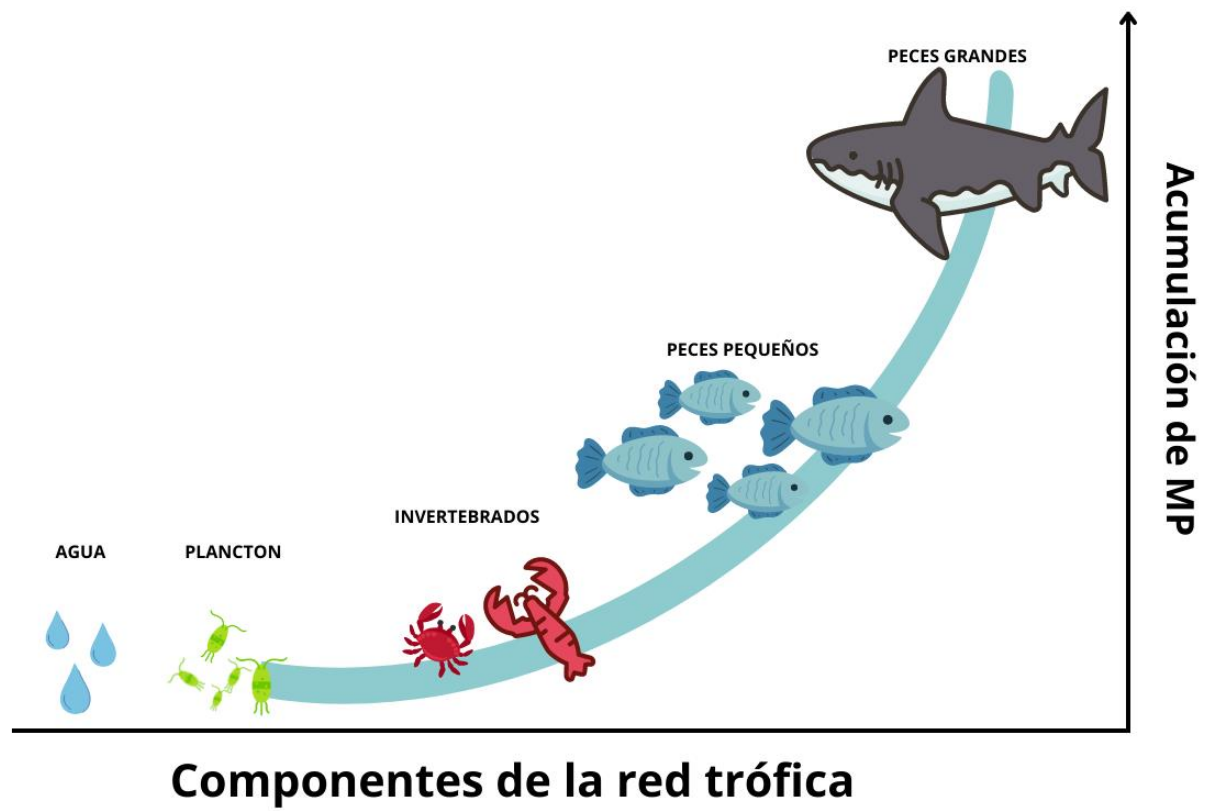


Figura 5. Proceso de biomagnificación.

### I. 3. Biorremediación

La biorremediación es una técnica de remediación de sitios contaminados por compuestos xenobióticos (Amaya, 2013), para transformarlos en productos no tóxicos (Herrera, 2019). Esta remediación suele hacerse a partir de cinco grupos de organismos: plantas, algas, bacterias, levaduras y hongos. Comparado con otras tecnologías de remediación, los tratamientos biológicos tienen algunas ventajas, aunque también desventajas (Tabla 8).

**Tabla 8.** *Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de tratamiento (Volke Sepúlveda y Velasco Trejo, 2002).*

Tratamiento	Ventaja	Desventajas
Biológico	<ul style="list-style-type: none"><li>-Tecnologías amigable con el ambiente.</li><li>-Bajo costo.</li><li>-Generalmente los contaminantes se destruyen.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Sólo se pueden usar si el tipo de suelo favorece el crecimiento de los organismos.</li><li>-El tratamiento requiere más tiempo.</li></ul>
Fisicoquímicos	<ul style="list-style-type: none"><li>-Menor tiempo para la obtención de resultados.</li><li>-El equipo que se utiliza es accesible.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Genera residuos secundarios que puede aumentar el costo del tratamiento.</li></ul>
Térmicos	<ul style="list-style-type: none"><li>-El tiempo que dura el tratamiento es el más corto.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Es el más costoso de los tratamientos.</li><li>-Requiere mano de obra intensiva.</li></ul>

La biorremediación utiliza las habilidades catalíticas de los organismos vivos para degradar o transformar los contaminantes. Se introduce una cepa bacteriana, por ejemplo, que posea rutas degradativas para metabolizar el residuo a eliminar. El porcentaje de éxito dependerá de factores abióticos como el pH, temperatura, humedad, tanto como de factores bióticos tales como la competencia microbiana, parasitismo, depredación (Garbisu et al., 2002).

### **I. 3. 1. Biorremediación *ex situ/in situ***

La biorremediación puede llevarse a cabo de dos formas: *ex situ* o *in situ*. La diferencia no es sólo el lugar en donde se realice el proceso, si no los factores que se deben tomar en cuenta. Cuando se lleva a cabo una biorremediación *ex situ* se hace en un laboratorio, o en un invernadero, tratando de emular las características ambientales en donde se implementará el tratamiento (Hernández, 2021).

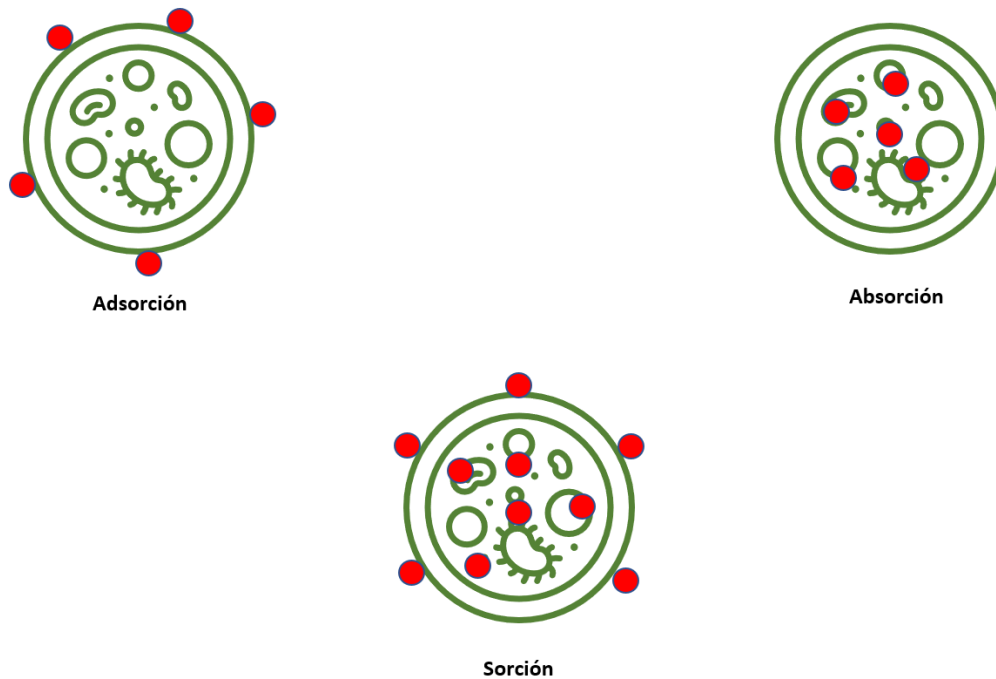
En cambio, la biorremediación *in situ*, se realiza en el mismo sitio que se pretende remediar. Existen cuatro métodos de biorremediación *in situ*: atenuación natural, bioventeo, bioestimulación y bioaumentación. Ello puede complicar más el trabajo, ya que pueden presentarse factores que no habían sido tomados en cuenta desde un principio. Digamos que, mientras el trabajo *ex situ* aborda factores ingenieriles, el trabajo *in situ* debe abordar los factores ecológicos (Cota Ruíz et al., 2019).

Tanto una forma como la otra no son opuestas, al contrario, se complementan. Lo ideal es trabajar desde las dos visiones para un mejor desempeño.

### **I. 3. 2. Adsorción / Absorción**

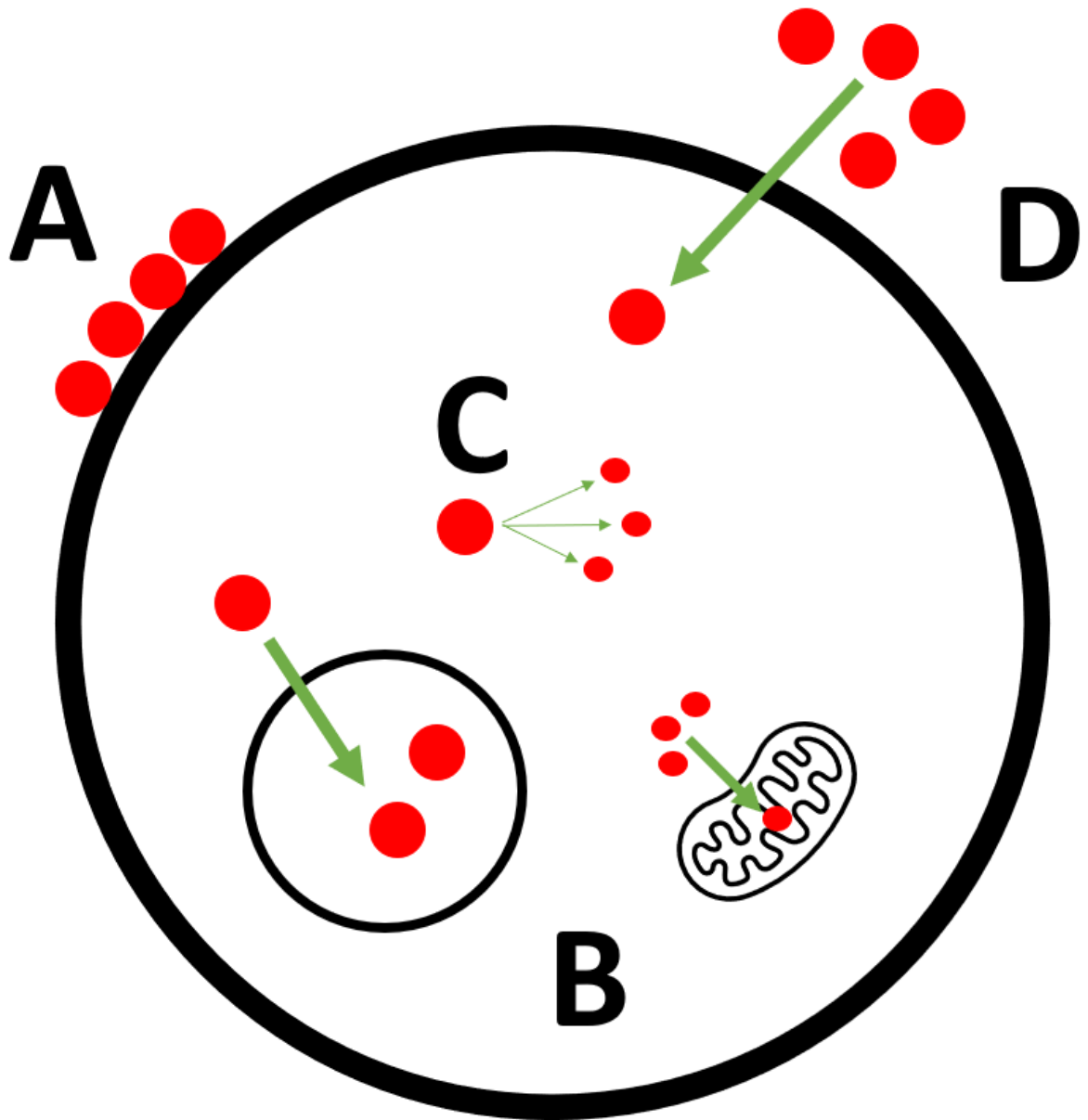
Así como existe una diferencia entre dónde se lleva a cabo la biorremediación, también es necesario hacer la precisión de que no todos los organismos eliminan al contaminante de la misma manera. La adsorción es un fenómeno fisicoquímico que consiste en la adhesión de un compuesto a la superficie de una partícula. Se pueden identificar dos tipos de adsorción, física y química. En la primera las interacciones entre adsorbente y adsorbato son a partir de fuerzas de van der Waals, mientras que en la segunda la interacción es a través de enlaces químicos (Tubert y Talanquer, 1997).

En cambio, durante la absorción, existe una penetración física (Figura 6). Puede que la adsorción sólo precede a la absorción o que se de forma simultánea. Pero es necesaria hacer esta aclaración para el momento de elegir un organismo y el tipo de contaminante que queremos eliminar.



**Figura 6.** El fenómeno de sorción en sus dos fases.

Los mecanismos de sorción son muy diversos, entre ellos existen cuatro principales (Figura 7) (Ruíz, 2010): El primero (A) representaría la unión del MP a la pared celular; el segundo (B) la compartimentalización del MP en vacuolas y otros organelos intracelulares; el tercero (C) sería la biotransformación por reducción u oxidación del MP; el cuarto (D) es el transporte a través de la membrana celular.



**Figura 7.** *Diferentes mecanismos de sorción de MP.*

### **I. 3. 3. Bioestimulación y bioaumentación**

La biorremediación puede emplearse de dos formas: bioaumentación o bioestimulación. En la bioaumentación se agregan microorganismos degradadores (nativos y no nativos) al sitio o

fuente a remediar. Por ejemplo, cuando se trata de fitorremediación, es común que, después de un análisis profundo, se opte por sembrar organismos adecuados para eliminar los contaminantes (Islas et al., 2016).

Durante la bioaumentación se agregan nutrientes que favorezcan el crecimiento de organismos degradadores (principalmente autóctonos), o para que aumenten sus actividades catalíticas y el proceso de biorremediación sea más rápido y eficiente (Pino et al., 2012). Ambos procesos son compatibles, la aplicación de uno u otro método dependerá de las capacidades técnicas disponibles.

#### **I. 3. 4. Micorremediación**

En biorremediación, cuando se utilizan hongos como principales organismos de la remediación, se le conoce también como micorremediación. La micorremediación es el uso de hongos para degradar o remover toxinas o tóxicos del ambiente (Medaura et al., 2013). Usar hongos para remediar suelos tiene ventajas ya que, se requiere sustratos muy baratos (por ejemplo, aserrín o salvado de arroz). Además de que no se generan residuos secundarios (Verma et al., 2017), contrario a los tratamientos físico-químicos (Ali et al., 2017).

Para la mayoría de los hongos que no son ligninolíticos (no tienen enzimas ligninolíticas) su principal ruta de degradación es la oxidación del anillo aromático vía citocromo P-450 (Catacora, 2019). En cambio, los hongos ligninolíticos (también llamados de podredumbre blanca), sí poseen un sistema enzimático capaz de degradar lignina (Cardona et al., 2009). Sin embargo, también existen hongos degradadores de madera (degradación café) que producen enzimas ligninolíticas, como es el caso de *Agaricus bisporus* (García-Delgado et al., 2013). Las enzimas ligninolíticas favorecen la biodegradación de contaminantes por lo que han sido los más usados en estudios de micorremediación.

Igiri et al. (2018) indican que los hongos pueden transformar MP y metaloides mediante biosorción, bioacumulación y biovolatilización. La biosorción es un proceso pasivo (metabólicamente independiente), por lo que el proceso se puede realizar mediante células vivas o biomasa muerta, en el caso de la bioacumulación es activa (metabólicamente dependiente) proceso que ocurre en células vivas y la biovolatilización implica la conversión de compuestos inorgánicos y orgánicos en sus derivados volátiles por reacciones enzimáticas intracelulares (Urík et al. 2007). Las especies más utilizadas para remediar sitios contaminados han sido *Phanerochaete chrysosporium*, *Bjerkandera adusta*, *Trametes versicolor* y *Pleurotus ostreatus*.

#### **I. 3. 4. 1. *Pleurotus ostreatus***

México es pionero en América Latina para el cultivo de hongos del género *Pleurotus* siendo el segundo hongo más cultivado (Acosta et al., 2016). En México podemos encontrar seis especies de este género, *P. djamor*, *P. smithii*, *P. levis*, *P. agaves*, *P. pulmonarius* y *P. ostreatus*. Algunas son cultivadas, como es el caso de *P. pulmonarius* (Bernabé-González et al., 2004) y *P. ostreatus* (de León-Monzón et al., 2004), y otros más son nativos, por ejemplo, de *P. djamor* (León Avendaño et al., 2013).

*Pleurotus ostreatus* (Figura 8), también conocida en México como “orejas de cazahuate”, es un macromiceto, que pertenece a la división Basidiomycota (Tabla 9). Se caracterizan por la presencia del píleo liso convexo con forma similar a la de una ostra o concha, así como un estípote corto, excéntrico, engrosado gradualmente hacia el píleo (Gómez, 2018). El diámetro de su cuerpo fructífero visible suele ser entre 5 y 20 centímetros. Es un hongo comestible de gran importancia comercial, debido a que el cultivo de este hongos presenta ventajas que le permiten ser uno de los principales hongos cultivados, dentro de dichas ventajas esta: el rápido crecimiento micelial, gran capacidad de colonización saprófita, técnica de cultivo sencilla y

económica, adaptación para crecer en diferentes condiciones climáticas y se desarrolla sobre desechos agroindustriales por lo que es una alternativa de conservación del ambiente, ya que mediante el cultivo de hongos se reciclan desechos de tipo lignocelulósico (Vogel y Salmones, 2000). Su clasificación taxonómica es la siguiente:

**Tabla 9.** Clasificación taxonómica de la especie *Pleurotus ostreatus*.

<b>Reino</b>	Fungi
<b>División</b>	Basidiomycota
<b>Subdivisión</b>	Agaricomycotina
<b>Clase</b>	Agaricomycetes
<b>Subclase</b>	Agaricomycetidae
<b>Orden</b>	Agaricales
<b>Familia</b>	Pleurotaceae
<b>Género</b>	<i>Pleurotus</i>
<b>Especie</b>	<i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.) P. Kumm

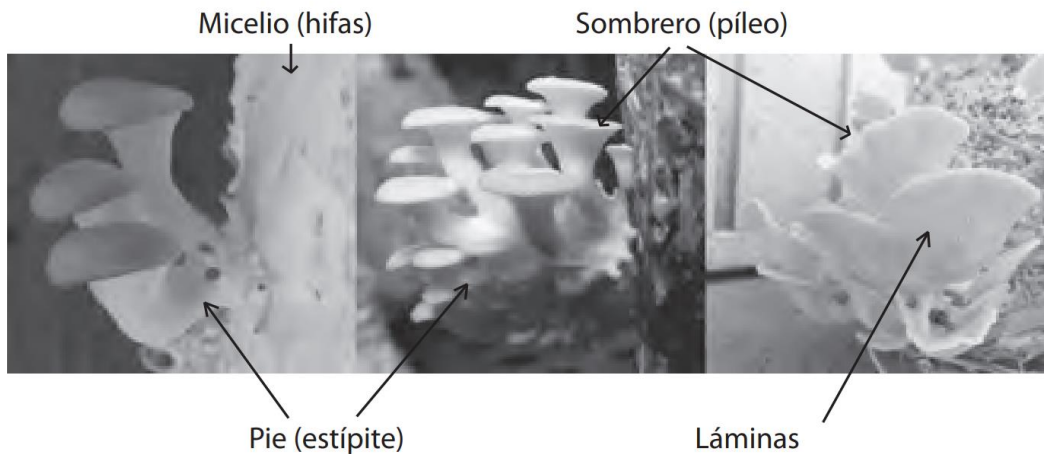




**Figura 8.** *Pleurotus ostreatus* creciendo sobre la corteza de un árbol (Wilson, 2020).

Su alimento lo obtiene de materia orgánica inerte, tiene una gran importancia ecológica al eliminar residuos del ecosistema y promueve el reciclaje de elementos esenciales, ya que pueden degradar algunos polisacáridos de difícil degradación (Talavera y Téllez-Téllez, 2016). De hecho, varios de sus nombres comunes, derivan del tipo de vegetación donde crecen: “orejas de cazahuate”, “hongo de nopal”, “hongo de copal”, “hongo de maguey”.

El hongo puede iniciar su desarrollo a partir de una espora o una fracción viable de hifa. Su crecimiento será de forma polarizada o apical, esta característica es lo que provoca la estructura cilíndrica de las hifas, esta red de hifas se le conoce como micelio (Figura 9). En condiciones de laboratorio, el hongo llegará hasta una fase estacionaria donde su crecimiento se detiene, aunque puede seguir consumiendo nutrientes y reiniciar su crecimiento si es resembrado en un medio (Villacís, 2013).



**Figura 9.** Algunas partes características del género *Pleurotus* (Talavera y Téllez-Téllez, 2016).

#### **I. 3. 4. 2. Micorremediación a partir de *Pleurotus ostreatus***

Los basidiomicetos saprófitos tienen gran variedad de enzimas extracelulares (lignolíticas y celulíticas) que están reguladas por MP a nivel de transcripción (Kapahi y Sachdeva, 2017). La capacidad de la biomasa fúngica se ha reportado como biosorbente para la eliminación de MP y radionúclidos de aguas contaminadas debido a sus excelentes propiedades de unión y tolerancia a metales, así como tolerancia al ambiente adverso como diversas condiciones de pH y temperatura. Además de que tienen la capacidad de modificar químicamente o afectar la biodisponibilidad de dichos compuestos (Salman et al., 2014; Prakash, 2017).

Los macrohongos, tienen cuerpos fructíferos que crecen a partir de una masa de micelio, pero en dicho cuerpo pueden acumular MP en altas concentraciones, por encima de las concentraciones máximas permisibles (Kalac y Svoboda, 2000). La alta capacidad de acumulación y una vida útil más corta son algunas de las ventajas de utilizar hongos como biosorbentes.

La composición de la pared celular es un rasgo característico de las especies de hongos y la composición llega a ser diferente entre los grupos taxonómicos, se ha reportado que puede estar compuesta hasta por un 90% de polisacáridos y muestran excelentes propiedades de unión a metales. Dentro de los constituyentes de la pared celular fúngica están: quitina (3-39%), quitosano (5-33%), poliuronida y polifosfatos (2-12%), lípidos (2-7%) y proteínas (0.5-2.5%), también se encuentran mananos, glucanos, melanina (Fourest y Roux, 1992). Javaid et al. (2011) reportan que los principales constituyentes de la pared celular de los hongos son la quitina y el quitosano y al parecer son los principales donantes de grupos amino (NH) y carboxilo (COOH), por lo que, se ha de asumir su papel clave en el proceso de eliminación de MP y que, el incremento en el porcentaje de eliminación de los MP está relacionado con el aumento de la biomasa, debido a disponer de más área de unión en la superficie.

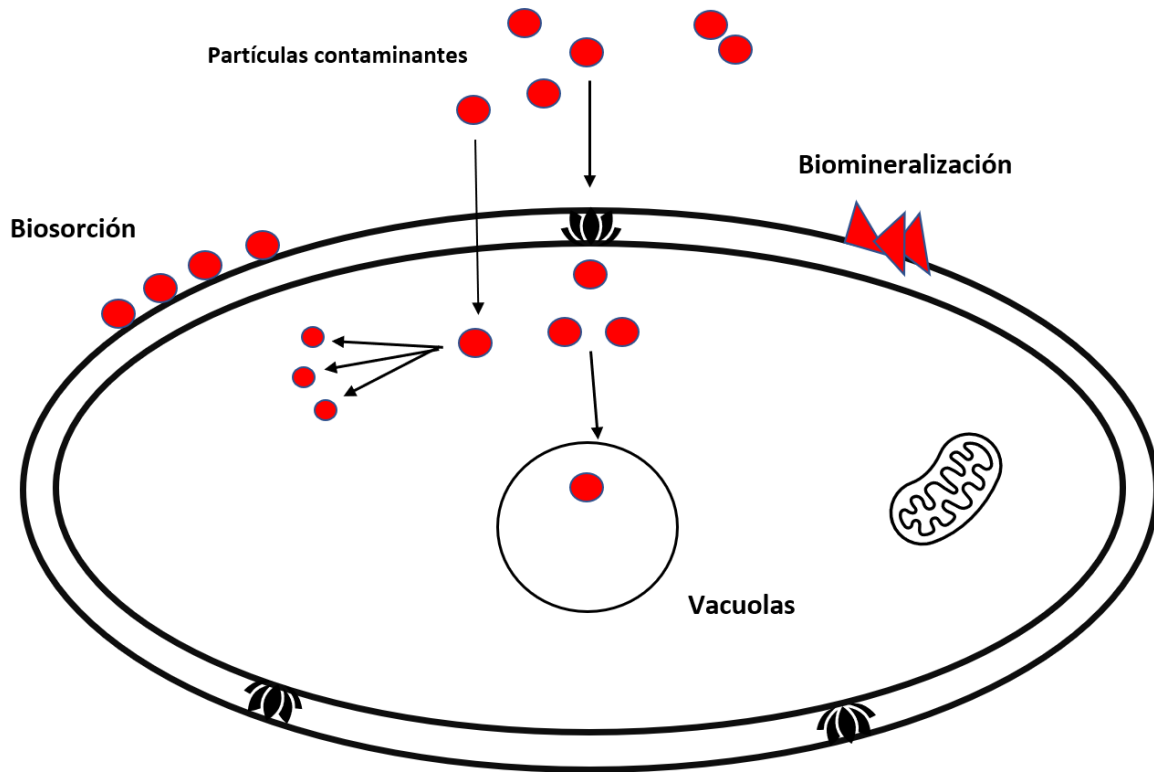
Cossich (2002) reportó que la biosorción se realiza en dos fases: 1) implica la captación activa (rápida) debido a la adsorción superficial, captación intracelular que depende del metabolismo celular, se realiza utilizando células vivas y el proceso puede verse afectado por factores abiótico, la interacción de los MP con los grupos funcionales de la superficie celular puede implicar intercambio de iones, complejación o simplemente adsorción física y 2) es una captación pasiva (lenta) implica la unión de iones metálicos a la superficie de la pared celular y es independiente del metabolismo celular.

La especie *Pleurotus ostreatus*, además de ser ampliamente distribuido por su uso comestible, también ha sido utilizado para temas de biorremediación. Los contaminantes tratados han sido de lo más variados. García Sánchez (2007) y Martínez-Berra (2007), utilizaron *P. ostreatus* para tratar un colorante azo directo; Byss (2008) lo utilizó para remover hidrocarburos aromáticos policíclicos. Y la lista continúa con plaguicidas, sulfatos, petróleo y metales pesados (Kapahi y Sachdeva, 2017).

Esto es gracias a sus enzimas lignolíticas: lacasas, que son glicoproteínas que catalizan la oxidación de difenoles, polifenoles, diaminas y aminas aromáticas; Manganese Peroxidase (Mnp), es capaz de catalizar la oxidación de Mn (II) a Mn (III); Versátil Peroxidase (VP), se encarga de catalizar compuestos fenólicos y no fenólicos-aromáticos, y de oxidar Mn (II) a Mn (III) (Mejía López, 2014).

La manera que tiene *P. ostreatus* para eliminar contaminantes es gracias a dos principales mecanismos (Ruíz, 2010) (Figura 10):

1. Pueden acumularse en las superficies de las células fúngicas a partir de biosorción
2. Pueden acumularse intracelularmente dentro de vacuolas u otros organelos



**Figura 10.** Ejemplo de cómo se da la eliminación de contaminantes en células fúngicas.

El hongo *P. ostreatus* tiene grupos carboxílicos, amino, tiol, fosfato e hidróxido en la pared celular que ayudan en la biosorción de MP (Banerjee y Nayak 2007; Javaid et al., 2011). Mediante la inmovilización de los cuerpos fructíferos de *P. ostreatus* en alginato de calcio se pudo eliminar Pb y Co (Xiangliang et al., 2005, 2009). También, se eliminaron iones de Ni> Cu> Cr> Zn de efluentes (Javaid y Bajwa, 2008). Se evaluó la capacidad de biosorción del micelio de *P. ostreatus* para la eliminación de diferentes MP de los desechos de un laboratorio químico, donde se reportaron que la mayor eficiencia de biosorción fue de Fe (80.52%) y Cu (45.20%) (Arbanah et al., 2012, 2013). Sin embargo, la absorción de MP tiene efectos deletéreos sobre el crecimiento, la productividad y las proteínas celulares, específicamente en *P. ostreatus* en presencia de Cd

(150 µg/mL) disminuyó el crecimiento del micelio, pero no lo inhibió por completo (Favero et al., 1991).

Por otro lado, Prasad et al., (2013) indican que para considerar que una especie de hongo es funcional como biosorbente, se debe tener en cuenta la desorción de los iones metálicos adsorbidos y la posterior reutilización y eficiencia de la biomasa en la biosorción. Se reportó que la desorción en una solución ácida es más eficiente que en una solución alcalina. Para el caso de *P. ostreatus* se recuperó 99% de Pb, mediante la desorción utilizando HCl durante 1 h (Prasad et al., 2013).

## **Capítulo II**

### **Justificación, objetivos y metodología**

## II. 1. Justificación

Los MP son causantes de deteriorar la salud ambiental ya que pueden degradar el suelo, lo cual disminuye su productividad, si la contaminación es excesiva, puede llegar a producir desertificación. La contaminación también se da a nivel de los ríos, lagos y cuencas (Eróstegui, 2009). La exposición a dosis elevadas de MP puede ocasionar una serie de efectos adversos a la salud, que incluyen daño cerebral severo e incluso la muerte. Por todo ello, resulta necesario y urgente realizar investigación sobre las diferentes alternativas de remoción de MP dispersos en el ambiente.

La biorremediación a partir de hongos, y en particular de *Pleurotus ostreatus*, ha sido una alternativa eficaz y coadyuvante con otras técnicas de remediación, para evitar toda una serie de consecuencias negativas hacia el ambiente y la salud humana. *Pleurotus ostreatus* es una especie de hongo de distribución muy amplia, no sólo a nivel nacional, sino internacional. Su cultivo es económico y sencillo, por lo que representa un gran valor económico y cultural para muchas comunidades. Es un organismo que, por sus características metabólicas, ha sido utilizado como agente biorremediador de plaguicidas, colorantes, hidrocarburos, así como MP, por lo que una revisión y análisis de los resultados obtenidos como agente biorremediador resulta relevante para generar nuevas estrategias de biorremediación.



## **II. 2 Objetivos**

### **II. 2. 1. Objetivo general**

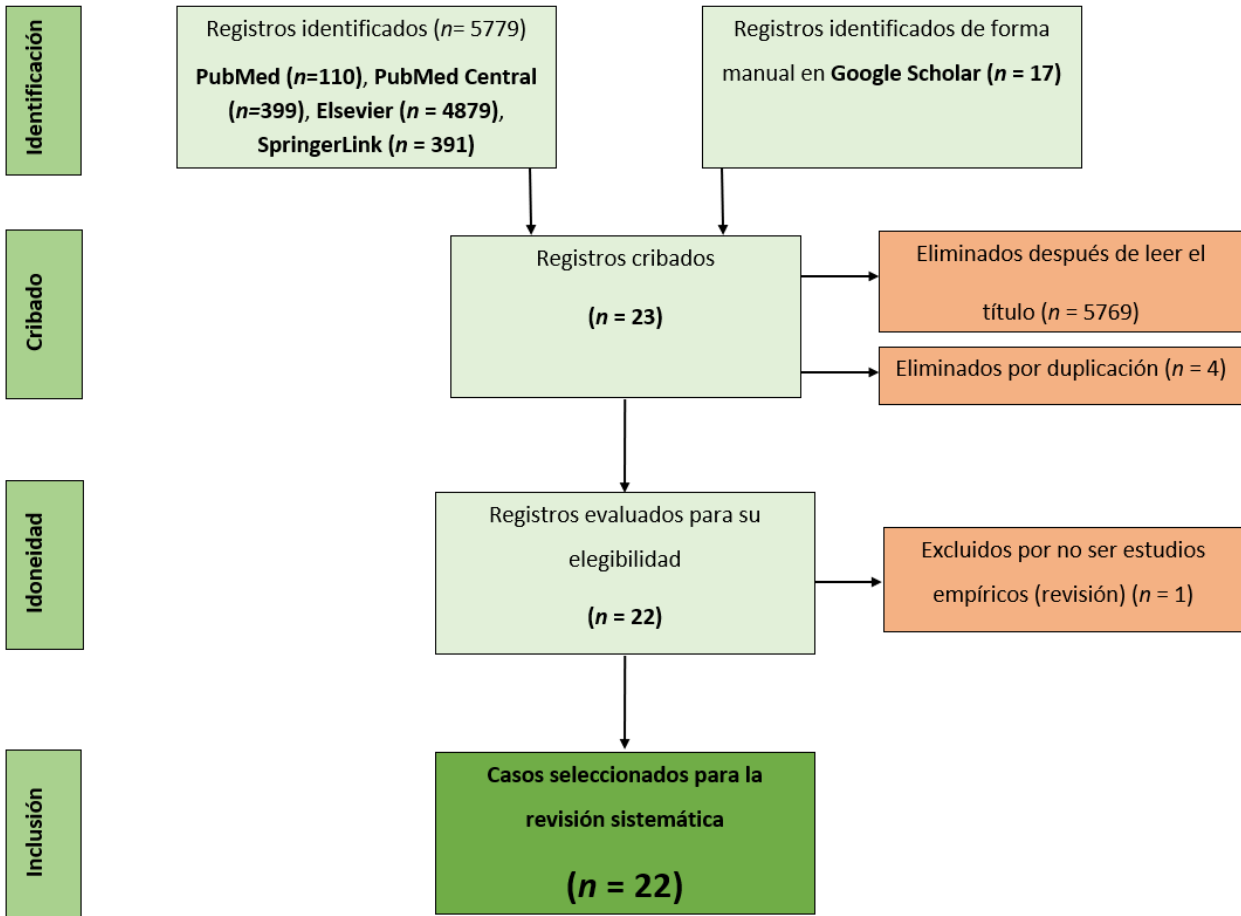
Analizar el uso de *Pleurotus ostreatus* como alternativa en la biorremediación de MP derivados de la actividad minera.

### **II. 2. 2. Objetivos específicos**

1. Describir los métodos reportados para la remoción de MP mediante micorremediación por *Pleurotus ostreatus*.
2. Analizar los estudios de remoción de MP por *P. ostreatus*.
3. Mencionar los MP que se pueden eliminar de los residuos de la actividad minera mediante *P. ostreatus*.

## II. 3. Metodología

Al tratarse de una investigación secundaria (Aguilera, 2014) se realizará una revisión sistemática de acuerdo con las directrices PRISMA (Urrútia y Bonfill, 2010). El proceso de selección se detalla en la Figura 11:



**Figura 11.** Diagrama de flujo PRISMA.

Se utilizó para las búsquedas las palabras clave: “*Pleurotus ostreatus*”, “*heavy metals*” en las bases de datos de PubMed, PubMed Central, Elsevier y SpringerLink. Las búsquedas arrojaron varios elementos, aunque, la mayoría, poco útiles para los objetivos de esta revisión (Tabla 10). De acuerdo con una búsqueda más amplia que se llevó a cabo desde el National Center for

Biotechnology Information (NCeBI), los trabajos en otras bases de datos son escasos o nulos, y los pocos estudios que podemos encontrar ahí, no aportan a la revisión, por lo que no fueron incluidos en el diagrama. Los resultados obtenidos fueron 5 779, 110 en PubMed, 399 en PubMed Central, 391 en SpringerLink y 4 879 en Elsevier.

Por último, se utilizó el metabuscador Google Scholar donde, utilizando los mismos términos de “*Pleurotus ostreatus*” y “*heavy metals*”, se lograban idénticos resultados, por lo que se decidió utilizar la combinación de “*Pleurotus ostreatus*” y “*metales pesados*”. Esta combinación nos permitió reconocer 17 trabajos más, tratándose en su mayoría de tesis de grado o posgrado.

**Tabla 10.** Criterios de inclusión y exclusión de las investigaciones.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Investigaciones empíricas.	Revisiones sistemáticas, libros o manuales.
Publicados entre 2011 y 2021.	Realizados con otras especies de hongos, aunque pertenezcan al mismo género ( <i>Pleurotus</i> ).
Que sea <i>Pleurotus ostreatus</i> el organismo biorremediador.	Estudios cuyo contaminante no sea un MP.
Que la técnica empleada sea aplicada sobre, al menos, un MP.	

De los estudios seleccionados se realizó una síntesis dando las características generales del experimento y los resultados obtenidos. Los trabajos, de acuerdo con el metal tratado, se distribuyen de la siguiente manera: 15 escritos relacionados a Pb, 10 para Cd, siete para Cr y Cu, cinco para Zn, cuatro para Co y Ni, tres para Hg y As, y uno para Mn, Fe, Sr, Ce, Ba, Tl, Sb, y Sn.

## **Capítulo III**

### **Resultados y conclusiones**

Algunos de los hallazgos importantes encontrados en esta revisión bibliográfica fueron:

- A) *P. ostreatus* ha sido una gran alternativa para utilizar con fines de biorremediación, debido a que es una fuente viable de producción de micelio para la biosorción de iones metálicos debido a la factibilidad de cultivo, alto rendimiento y naturaleza no peligrosa por ser un hongo comestible.
- B) La biomasa fúngica muerta puede estar disponibles en cantidades sustanciales de varios procesos de fermentación industrial, ya que, por ser el segundo hongo cultivado a nivel mundial y nacional, hay gran disponibilidad de sustrato agotado (sustrato con biomasa), por lo que, lo que se contaría como una fuente de suministro constante y económica de biomasa de hongo para la eliminación de MP.
- C) También se reportó que la eficiencia de sorción de la biomasa del hongo se puede optimizar al someterse a tratamientos físicos y químicos.

Los trabajos que se pudieron integrar a esta investigación comienzan desde 2005 hasta 2021, siendo Pb, Cd, Cr y Cu los MP en los cuales se enfocaron la mayoría de los documentos. En la tabla 11 se sintetizan las características del tratamiento y los resultados de cada una de las investigaciones que utilizaron *P. ostreatus* para tratar MP.

**Tabla 11.** Características generales de los estudios seleccionados.

Metales tratados	Característica del tratamiento	Resultado/Conclusiones	Autor
Pb, Cd, Cu y Co	Se tomaron muestras de terreno que contenían estos metales de dos áreas localizadas en el pueblo de Barceloneta. Las muestras fueron inoculadas con el hongo y la	Los resultados más relevantes fueron reportados para Co y Cd cuyas concentraciones fueron disminuyendo desde el principio hasta el final del período de investigación.	Rodríguez, 2005

	<p>cantidad de los metales presentes en ellas se midió antes de añadir el hongo, a los 15 días de añadir el hongo, y a los 30 días después de añadir el hongo.</p>	<p>*No menciona los parámetros</p>	
<p><b>Pb, Cu, Co y Cd</b></p>	<p>Se tomaron 12 muestras de suelo contaminado por MP. Se eliminó humedad y toda contaminación orgánica. Aproximadamente 1 g de cada muestra se colocó en un tubo de ensayo. A cada tubo se le colocó el inóculo de <i>P. ostreatus</i>.</p> <p>A los 15 y 30 días después se realizó una extracción y lectura de los MP de los tubos inoculados.</p> <p>*Para el hongo se prepararon 5 cultivos en el medio Sabouraud Dextrosa Agar (SDA) y 5 en extracto de malta (MEA), incubándolos a 25°C por 7 días. Sólo se utilizó la parte micelar.</p>	<p>La remoción de metales pesados resultó más efectiva en Co y Cd, y menos en Pb y Cu.</p> <p>*No menciona los parámetros</p>	<p>Coello, 2011</p>
<p><b>Cu, Ni, Zn y Cr</b></p>	<p>Se estudiaron diferentes parámetros operativos como el efecto del pH, dosis de biomasa, tiempo de equilibrio, intensidad de agitación, temperatura y concentraciones iniciales de iones metálicos.</p> <p>Las soluciones metálicas se prepararon disolviendo 1 g de metal puro (cobre, níquel, zinc y</p>	<p>La adsorción máxima de Cr (VI) ha tenido lugar a un pH de 2,5, mientras que para Ni (II), Cu (II) y Zn (II), el pH óptimo estaba en el rango de 4.5 a 5.0.</p> <p>La temperatura no tiene un efecto significativo sobre la biosorción en el rango de 20 a 45° C.</p> <p>La capacidad máxima de biosorción de los hongos fue de 8.06, 20.4, 3.2 y 10.8</p>	<p>Javaid et al. (2011)</p>

	<p>cromo) en ácido nítrico y diluyéndolo con agua bidestilada. Inicialmente, se prepararon soluciones madre con una concentración de 1000 mg L<sup>-1</sup> y posteriormente se diluyeron con la cantidad apropiada de agua destilada para obtener los estándares deseados. Además, se mezclaron las soluciones de muestra y la solución resultante se denominó "Sistema Multi Metal" (MMS). Compuesto por Cu (II) 23.6, Ni (II) 54.8, Zn (II) 42.9 y Cr (VI) 93.5 mg/L.</p> <p>El cultivo de <i>P. ostreatus</i> fue recolectado por Fungal Culture Bank, Institute of Plant Pathology, fue cultivado en 2% MEA, se incubaron a 25°C entre 10 y 12 días.</p>	<p>mg/g para Cu (II), Ni (II), Zn (II) y Cr (VI), respectivamente, mientras que, para los efluentes reales, estos fueron 2.73, 8.45, 0.88 y 4.45 mg g<sup>-1</sup> para iones Cu (II), Ni (II), Zn (II) y Cr (VI), en ese orden.</p>	
<p><b>Pb y Cr</b></p>	<p>Se utilizó una cepa de <i>P. ostreatus</i> adquirida de la Universidad de Costa Rica. El micelio se cultivó en MEA.</p> <p>Se preparó un cultivo sólido PDA adicionado con soluciones metálicas en concentraciones de 10, 20, 30, 40 y 50 mg/L.</p>	<p>Adsorción en promedio del 90 % de Pb. Adsorción de Cr, fue entre 30% y 59% de la concentración de la solución.</p>	<p>Marín-Castro et al.,2015</p>

	<p>Para los análisis se extrajeron alícuotas de 5 mL de cada matraz cada 48 horas durante 10 días.</p>		
<b>Cu y Cd</b>	<p>Se utilizó una cepa de <i>P. ostreatus</i> adquirida de la Universidad de Costa Rica. El micelio se cultivó en PDA.</p> <p>La masa miceliar fue separada y depositada en matraces Erlenmeyer con 200 mL de caldo micológico adicionado con soluciones metálicas de Cu y Cd a concentraciones de 100 ppm. Los matraces se incubaron durante 12 días a 25°C.</p> <p>Para los análisis se extrajeron alícuotas de 5 mL de cada matraz cada 48 horas durante 10 días.</p>	<p>La biomasa miceliar pudo adsorber o retener en promedio 61.7% de Cd, y 97.9% de Cu.</p>	<p>Marín Castro et al., 2015</p>
<b>Pb</b>	<p>Para el hongo se utilizó panca molida con cascarilla de arroz como sustrato.</p> <p>Se tomó la muestra de 5 puntos, muestreo <i>in situ</i> de la zona contaminada donde se encontró Pb a 94.8 mg/kg.</p> <p>Se realizaron 6 tratamientos con 4 réplicas para un total de 24 muestras. El experimento duró 30 días, después de ese periodo las</p>	<p>La concentración inicial fue de 136.3 mg/L de plomo, mientras que la concentración final fue de 90.78 mg/L de Pb; es decir que la remoción Pb fue de 45.5 mg/L en los 30 días.</p>	<p>Mejía Salas, 2016</p>



	muestras de suelo fueron analizadas.		
<b>Hg</b>	La muestra se obtuvo del suelo contaminado de la minería Santa Bárbara, un total de 108 kg.	La reducción de concentración fue de 1 090 mg/kg a 6.5 mg/kg de Hg obteniéndose un porcentaje de remoción de Hg fue de 99.4%	Ventura, 2016
<b>Mn, Zn, Ni, Cu, Co, Cr, Fe y Pb</b>	<p><i>P. ostreatus</i> se obtuvo de la Dirección de Investigación de Hongos, y se mantuvo en el medio MDA a una temperatura de 25°C y un pH de 6 a 6.5.</p> <p>Se diluyó el efluente del lavado de carbono con agua destilada en dos combinaciones, 50/50 y 25/75, y uno más puro, en matraces Erlenmeyer. Se inocularon 1,5-2 cm de discos de micelio en todos los medios que contenían diferentes porcentajes de contaminantes y se dejaron crecer durante 28 días.</p>	La eficiencia de <i>Pleurotus</i> para la remediación de MP fue mayor en el efluente diluido al 50% (57.2% Mn, 82.6% Zn, 98.0% Ni, 99.9% Cu, 99.3% Co, 99.1% Cr, 89.2% Fe y 35.6% Pb); seguido de efluente diluido al 25% (33.0% Mn, 55.1% Zn, 97.8% Ni, 99.7% Cu, 97% Co, 84.4% Cr, 87.1% Fe y 73.4% Pb); y en efluente crudo (23.3% Mn, 73.1 % Zn, 78.7% Ni, 87.5% Cu, 59.3% Co, 64.6% Cr, 34.6% Fe y 11.3% Pb) respectivamente.	Vaseem et al., 2017
<b>Cd y Cr</b>	<i>P. ostreatus</i> HAU-2 se obtuvo de la Academia de Ciencias Agrícolas de Henan, China. Se utilizó PDA sólido. El cultivo líquido utilizado (pH 4.5) consistió en 5.0 g/L de glucosa, 0.2 g/L KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 0.05 g/L MgSO <sub>4</sub> , 0.32 g/L (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 0.01 g/L CaCl <sub>2</sub> , solución inorgánica (1 mL/L y solución vitamínica (0.5 mL/L).	<p>Las tasas de eliminación de hongos de Cd y Cr variaron del 44.85% al 80.36% y del 14.49% al 45.55%, respectivamente.</p> <p>La capacidad de acumulación de Cd (15,6 mg kg<sup>-1</sup>) fue mayor en comparación con la del Cr (8,9 mg kg<sup>-1</sup>).</p>	Li et al., 2017

	<p>Se inocularon matraces que contenían 100 mL de medio líquido, ambos con Cd (0, 10, 20, 30, 40 o 50 mg/L) y Cr (0, 50, 100, 150, 200 o 250 mg/L). Cada tratamiento se realizó por triplicado. Luego de 10 días de incubación se filtraron los cultivos líquidos.</p> <p>Para determinar la tasa de eliminación de metales pesados, se analizaron las concentraciones de Cd y Cr en el sobrenadante mediante espectrometría de absorción atómica.</p>		
<b>Pb</b>	<p><i>P. ostreatus</i> se obtuvo por parte de la Universidad Nacional Agraria la Molina.</p> <p>2 kilos de suelo (10x10x30); cantidad que será distribuida entre los dos grupos que se trabajaran en el presente estudio: grupo control y grupo experimental. Se realizaron 4 tratamientos y 3 repeticiones.</p> <p>El suelo contenía Pb a 93 mg/L</p>	La concentración de Pb inicial fue de 93 mg/kg en el suelo, en el análisis final la concentración disminuyó a 65.3 mg/kg.	Jiménez, 2017
<b>Cu, Pb, As y Zn</b>	El micelio de <i>P. ostreatus</i> se obtuvo del laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias. Se colocó en granos trigo con solución de	Lodo + <i>Pleurotus ostreatus</i> + 60% cacao + 40% olote, reduce el 20.8% de las concentraciones de Cu.	Bayas y López, 2017

	<p>Bernomyl al 0.02%, y se incubó a temperatura de 28-30°C.</p> <p>Se obtuvo la cantidad de lodo seco de 70 kg que se homogenizó. Se repartieron 5 kg en cada celda de los dos tratamientos con cada repetición y dos de control. Las muestras provienen del relleno sanitario de la Provincia de Sucumbíos.</p>	<p>Lodo + <i>Pleurotus ostreatus</i> + 60% cacao + 40% olote, disminuye el 25.43% de Pb.</p> <p>Lodo + <i>Pleurotus ostreatus</i> +40% cacao + 60% olote, reduce el 12.1% de Zn.</p> <p>Con el As no hubo cambio en la concentración de este metal.</p>	
<b>Cd y Pb</b>	<p>El hongo se inoculó en agar PDA, se incubó a 28°C durante 8 días. El sustrato utilizado fueron 5 kg de cascara de cacao y 5 kg de tamo de cebada esterilizados. Allí se propagó el micelio durante 4 semanas.</p> <p>El suelo de prueba obtenido no recibió ningún tratamiento de esterilización y posteriormente se dispusieron en seis celdas de suelo agrícola donde se realizaron los debidos tratamientos con el respectivo sustrato y hongo utilizado en forma simultánea, el trabajo de investigación tuvo aproximadamente una duración de tres meses.</p>	<p><i>P. ostreatus</i> con el sustrato de cacao tiene la capacidad de remover hasta un 90.9 % de Cd y 55 % de Pb mientras que con el sustrato de cebada remueve 89.20 % de Cd y 44.5 % de Pb.</p>	Lemache, 2017
<b>Pb</b>	<p>Cada placa Petri de 9 cm de diámetro fue esterilizada a 150°C; se le agrego 36 g de relave minero, la muestra fue secada,</p>	<p>El primer tratamiento (3 trigos pelados con <i>P. ostreatus</i>) fue el más efectivo, ya que disminuyó la concentración inicial de Pb de 1 122.22 mg/kg a 792,00</p>	Zegarra, 2017

	<p>desagregada y tamizada; luego se agregó 4g de aserrín. Fue humedecida hasta alcanzar una humedad de 33%. Para realizar el tratamiento la dosis varía con 3, 6 y 9 trigos pelados con <i>P. ostreatus</i>; la muestra fue incubada a 22°C. Se registrará la colonización del suelo los días 4, 8 y 12 de incubación.</p>	<p>mg/kg reduciendo así en un 29.4% de Pb en el suelo.</p> <p>El tratamiento 2 lo redujo a 836,20 mg/kg y el tratamiento 3 a 849,67 mg/kg</p>	
<p><b>As, Cd, Cu, Pb, Sr, Ni, Ce, Ba, Co, Tl, Zn, Sb y Sn</b></p>	<p>El tiempo de cultivo fue de 25 días, se aplicó 4 tratamientos con 3 repeticiones y una muestra en blanco. Se aplicó un diseño experimental unifactorial, en el cual se evaluaron 4 tratamientos con 3 repeticiones, haciendo uso de macetas experimentales con capacidad de 1 kg.</p>	<p>Para metales como As se logró 78.04% de efecto positivo en la absorción; Cd con 77.23%; Cu con 40.07%; Pb con 68.97%; Sr con 69.20%; Ni con 66%; Ce con 82.73%; Ba con 87.60%; Co con 87.53%; Tl con 87.37%; Zn con 84.77%; Sb con 65.13% y Sn con 69.97%.</p> <p>Los metales como Ag, Fe, Hg, Mo y Se no tuvieron variación significativavever en cuanto a la absorción.</p>	<p>Reátegui, 2018</p>
<p><b>Cd, Cr, Ni, Pb, Zn y Hg</b></p>	<p>Se recogió lixiviado crudo y sin tratar del estanque del vertedero sanitario de Kuchyňky. Se recolectaron dos muestras (muestra de 0.5 L) en recipientes de recolección estériles.</p> <p>Los sustratos utilizados fueron: paja de trigo (100 g) mezclada con agua destilada (200 mL) (control) y paja de trigo (100 g) mezclada con lixiviado de vertedero (200 mL). Una vez que la paja alcanzó la temperatura ambiente, se realizó la</p>	<p>Se hicieron dos repeticiones (micelio 1 y 2). En todas las muestras, los valores de CE (coeficiente de enriquecimiento) para los elementos de metales pesados Cd, Cr, Ni, Pb, Zn y Hg fueron superiores a 1.0, lo que confirma un alto nivel de acumulación. El CE más alto se observó para Pb (52.9 – 97.7) en las muestras de micelio 1 y micelio 2.</p> <p>Los valores más altos en las muestras fueron Zn (9.94-28.1 mg/kg MS), los segundos valores más altos se</p>	<p>Vaverková et al., 2018</p>

	<p>inoculación con la semilla del hongo. Las muestras se vertieron en recipientes esterilizados de polietileno de alta densidad.</p> <p>Los hongos se recolectaron del sustrato cuando los sombreros maduraron por completo. Los hongos se separaron en micelio y frutos y se secaron en una incubadora Ecocell a <math>45\pm 1^\circ\text{C}</math> durante 24 h hasta que alcanzaron un peso constante y luego se homogeneizaron en una licuadora para romperlos en fragmentos más pequeños de 0.5-1 mm de diámetro. Las muestras separadas se llevaron al laboratorio para su análisis.</p>	<p>registraron para Ni (1.5-6.11 mg/kg MS) y el tercero fue Cr (2.98-3.68 mg/kg MS).</p>	
<p><b>Cr</b></p>	<p>Biosorción en medio sólido: se inocularon en placas de Petri que contenían agar contaminado con Cr (VI) en concentraciones de 10, 25, 50, 75, 100, 125 y 150 mg/L. Se dibujaron tres rayas en la parte inferior de cada placa, y luego las placas se incubaron en un DBO (Tecnal, TE 371) a <math>28\pm 2^\circ\text{C}</math> durante 10 días. Los experimentos se realizaron cinco veces cada 24 horas.</p> <p>Biosorción en medio líquido: La biosorción por biomasa fúngica</p>	<p>Biosorción en medio sólido: a mayor concentración de Cr (VI) en el medio, menor capacidad de desarrollo del hongo. Los principales mecanismos de resistencia que pueden presentarse son: producción de enzimas como la reductasa; inmovilización de metales debido a la formación de complejos tales como quelatos; y los resultantes de la bioacumulación o biosorción.</p> <p>Biosorción en medio líquido: Los mejores resultados se obtuvieron a las concentraciones de 10 y 25 mg/L, donde se observó la remoción total del metal</p>	<p>da Rocha Ferreira et al., 2019</p>

	<p>activa e inactiva ocurrió en la fase líquida en matraces cónicos que contenían 100 mL de medio compuesto por los siguientes componentes (en g/L): 22 g de glucosa, 13.2 g de NaNO<sub>3</sub>, 3.3 g de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 3.3 g de KCl, 1.1 g de MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 0.0022 g de FeSO<sub>4</sub> y 0.0022 g de ZnSO<sub>4</sub>. Cada matraz recibió la alícuota determinada para conformar las concentraciones de Cr (VI) de 10, 25, 50, 75, 100, 125 y 150 mg/L, junto con la muestra de control.</p>	<p>por el biosorbente. También se observaron valores significativos para la remoción de Cr (VI) a las concentraciones de 50 y 75 mg L<sup>-1</sup>, pero las concentraciones de 100, 125 y 150 mg/L mostraron valores reducidos para la remoción de Cr (VI), con la predicción que cuanto mayor sea la concentración de Cr (VI) en un medio líquido, menor será la tolerancia del hongo en presencia del contaminante.</p>	
<b>Pb</b>	<p>Se realiza una prueba preliminar para observar el comportamiento del micelio en el agar contaminado. Se trabajó con las siguientes concentraciones de Pb: 50, 150, 250, 350, 450 y 550 mg/L más el respectivo blanco o control.</p> <p>Luego de observar los resultados de la Prueba Preliminar, se decide modificar las concentraciones de Pb, siendo estas: 50, 150, 250, 350 y 400 mg/L, más el respectivo blanco o control y se decide incubar por 8 días.</p>	<p>El nivel de tolerancia al PB de <i>P. ostreatus</i> se determinó por su capacidad de crecer y desarrollarse en medio agar suplementado con diferentes concentraciones de Pb. <i>P. ostreatus</i> muestra inhibición a concentraciones sobre 450 mg/L.</p>	<p>Urrutia, 2019</p>
<b>Pb y Cd</b>	<p>La cepa de <i>P. ostreatus</i> y <i>Agaricus bisporus</i> se obtuvieron del tronco de un árbol ubicado en las instalaciones de la Universidad</p>	<p>Para la eficiencia con relación al Pb, los hongos que remedian con mayor porcentaje son <i>P. ostreatus</i> y <i>A. bisporus</i> con un porcentaje de 92%;</p>	<p>Rodríguez y Melendez, 2019</p>

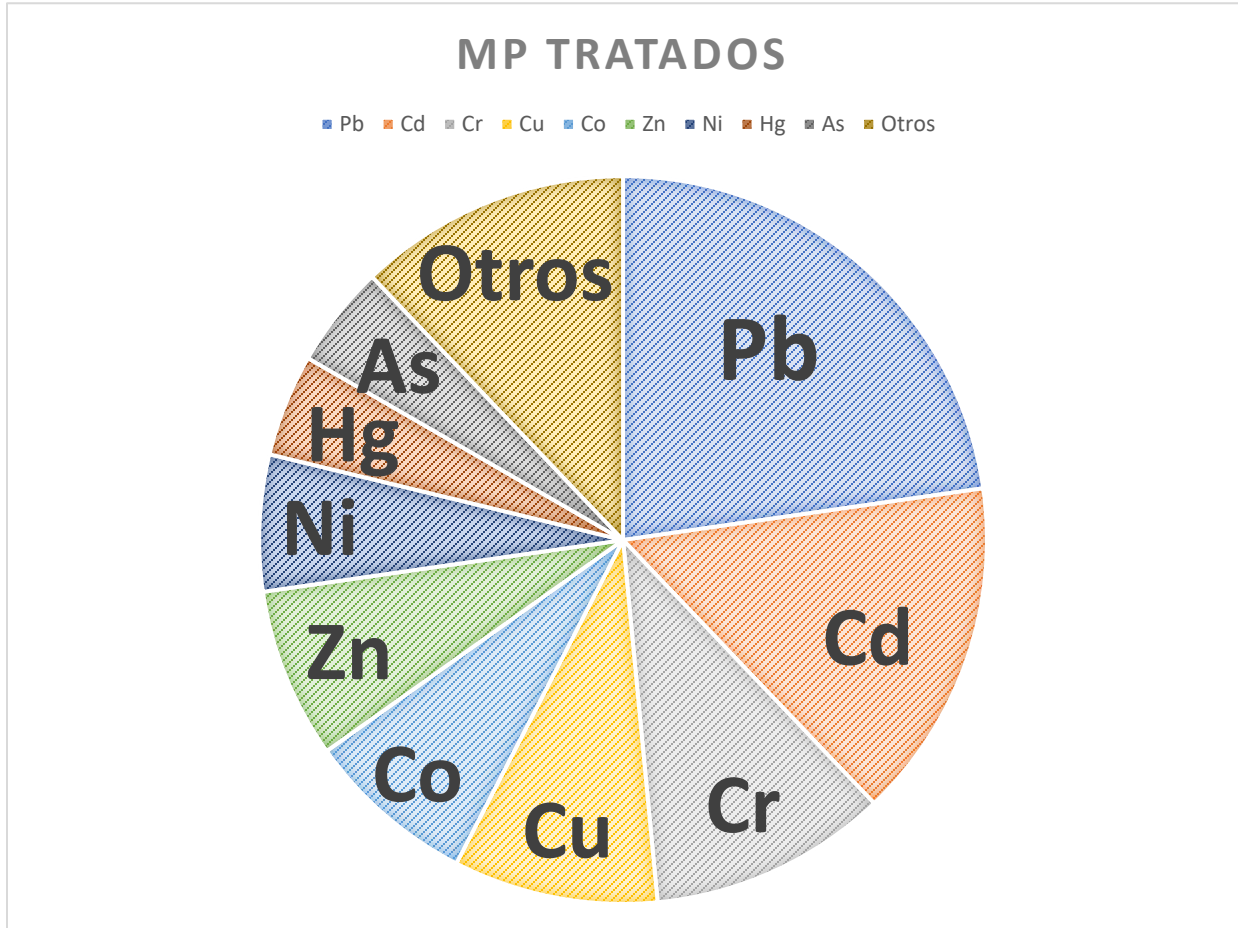
	<p>Agraria la Molina. Se inocularon en granos de trigo a 25°C.</p> <p>Las muestras de suelo provienen de la ciudad de La Oroya Antigua.</p> <p>Se realizaron tres repeticiones por cada hongo, cada cinco días, teniendo un total de 162 unidades experimentales.</p>	<p>mientras que para el Cd las tres especies fúngicas son eficientes con un porcentaje de remediación del 72%, utilizando para ambos paja como sustrato.</p>	
<b>As</b>	<p>Se tomó 1 kg de suelo alrededor de la fuente de agua. Se realizaron diluciones en base 10 con 10 g de suelo y 90 mL de agua. Se homogenizó la solución y se procedió a realizar diluciones seriadas.</p> <p>Se sembró el hongo en 6 cajas con duplicados de cada dilución, se incubó durante 24 horas para detectar presencia de bacterias y ocho días para hongos.</p>	<p><i>P. ostreatus</i> posee una buena capacidad biorremediadora a través del proceso de biosorción con 68.5 % de remoción de la concentración de As respecto a lo demás tratamientos, siendo un basiodimicete que trabaja bien en agua, pese que su hábitat es el suelo.</p> <p>La concentración inicial de As fue de 0.70 mg/L y la remoción fue de 0.48 mg/L</p>	<p>Imbago y Oña, 2019</p>
<b>Cd</b>	<p>La población está conformada por suelo proveniente de Junín del cual fue adquirido y contaminado a dos concentraciones (98.3 mg/kg y 138.5 mg/kg). Se planteó el trabajo bajo el diseño completo al azar con arreglo factorial (3x4), que constó de 3 tratamientos, 4 repeticiones y la toma de muestras el 5, 10, 15, 20 días, con la finalidad de determinar</p>	<p>Se determinó que la mayor biosorción se dio para el suelo con 138.4 mg/kg, disminuyendo a 93.5 mg/kg, un 32.5% de absorción.</p>	<p>Castillo, 2019</p>

	la eficiencia del tratamiento para ambas concentraciones de cadmio.		
<b>Hg y Pb</b>	Para realizar estudios de biosorción se describieron dos métodos: por lotes o continuo. Para el primero, se preparó en matraces Erlenmeyer el medio de crecimiento estéril suplementado con la solución de metal a la concentración deseada y se inoculó con la cantidad de hongo (cultivado previamente) establecida.	Remoción del 52.5% a 10 ppm para Hg y 99% a 5 ppm para Pb. Funciona eficazmente a concentraciones bajas.	Mancipe y Arias, 2020
<b>Pb, Cr y Cd</b>	La cepa de <i>P. ostreatus</i> fue obtenida del cepario del laboratorio de micología del Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas (DICA), y cultivado en PDA.  La adsorción de metales por el micelio en medio líquido se evaluó utilizando medio Kirk modificado, se cuantificaron las concentraciones retenidas durante 8 días en solución de 20 mg/L de cada elemento.	La adsorción de Pb (75%) fue la más eficiente, seguida de Cr (42%) y Cd (2.3%).  En el caso del Pb, además de ser adsorbido en la superficie de la biomasa miceliar, ingresó al interior de las células interfiriendo con el metabolismo causando alteraciones en la estructura y morfología.	Vallejo et al., 2021

Los metales pesados que más veces se utilizaron en las investigaciones realizadas fueron Pb, Cd, Cr y Cu, los cuales se presentan en el 59.1% (Figura 12). El Zn lo utilizaron en 7.6%, el Co



y el Ni en 6.1%, As y Hg en 4.5%, mientras que otros elementos como Mn, Fe, Sr, Ce, Ba, Tl, Sb y Sn, tiene un solo registro, representando cada uno, el 1.5% del total.



**Figura 12.** Distribución de los MP en los trabajos seleccionados. La mayoría trabajó con Pb 22.7%, Cd 15.2%, Cr 10.6%, y Cu 10.6%.

Lo medios de cultivo del hongo fueron Agar Papa Dextrosa (PDA), Sabouraud Dextrosa Agar (SDA) y extracto de malta (MEA). Un solo caso menciona que el cultivo se llevó a cabo a 22°C, y dos casos que lo hicieron entre 28 y 30°C, mientras que la mayoría reporta que el cultivo se realizó a 25°C. Los sustratos reportados fueron cascarilla de arroz, cáscara de cacao, cebada y paja de trigo. Los días en los que se tomaron muestras varía en los documentos consultados, los resultados los obtuvieron entre 4 y 30 días, aunque la constante que más se repite es la de 10

días. La concentración de los MP es otra variante, ya que va desde las 5 ppm (donde se registró un 99% de eficacia en remoción de Pb) hasta los 500 mg/L (a partir de 450 mg/L de Pb el hongo mostró inhibición). Debido a las particularidades de cada experimento es que los porcentajes de remoción son tan diversos (Tabla 12).

**Tabla 12.** Principales porcentajes de remoción (de mayor a menor) registrados de Pb, Cd, Cr y Cu.

MP	Porcentajes de remoción (%)				
Pb	99	97.74	92	90	75
Cd	90.9	80.36	77.23	72	61.7
Cr	100	64.6	59	45.55	42
Cu	97.9	87.5	40.1	34.2	20.1

El MP que más aparece en las investigaciones es Pb con 15 registros. Su porcentaje de remoción más alto fue de 99% en una solución de 5 mg/L de Pb. Su registro más bajo fue de 11.3% en un efluente crudo. Después del Pb, el Cd fue el MP más utilizado en las investigaciones con 10 registros. Su porcentaje de remoción más alto fue de 90.9% de un suelo con 3.32 mg/Kg de Cd, mientras que su porcentaje más bajo fue de 2.25% en una solución de 20 mg/L. Para Cr se registró un 100% de efectividad en concentraciones de 10 y 25 mg L<sup>-1</sup>, su porcentaje más bajo fue de 18.4% en lixiviado crudo y sin tratar. El Cu tuvo un 97.9% de remoción a 100 ppm, y su registro más bajo fue de 20.8% a 116 mg/kg de Cu.

De estos cuatro MP podemos observar que, a concentraciones relativamente bajas, su remoción resulta muy efectiva, sin embargo, conforme aumenta la cantidad del contaminante, el éxito de disminuye. A pesar de ello, podemos concluir que para Pb y Cd podría ser una buena estrategia ya que, sus resultados más altos, tienen una efectividad mayor al 75% para Pb y mayor a 61.7% para Cd.

Para el caso del Hg se obtuvo una remoción de 52.52% a 10 mg/L y de 98% a partir del lixiviado de un vertedero. Aún más sorprendente es el 99.41% de remoción a partir de 1090 mg/kg de Hg. Respecto al As, la efectividad más alta se logró con una remoción de 0.70 mg/L a 0.48 mg/L, representando un 68.57%. También existe un registro de remoción de 50 mg/kg a 26.4 mg/kg, representando un 52.8% de efectividad.

## Conclusiones

Las investigaciones de la última década han arrojado resultados favorables para remediar suelos contaminados por MP mediante *Pleurotus ostreatus*, enfocándose principalmente en Pb, Cd, Cr y Cu. El Pb, Cd, As y Hg son considerados los MP más peligrosos.

A partir de la revisión bibliográfica realizada en el presente trabajo, se puede concluir lo siguiente:

1.- Es posible considerar que *P. ostreatus* es una herramienta biotecnológica eficaz en la remoción de, al menos, Pb y Cd. En general, los porcentajes de efectividad fueron muy altos, entre 75 y 99% para Pb y entre 21 y 90% para Cd.

2.- *P. ostreatus* tiene potencial para coadyuvar en la eliminación de Cr y Cu. En medio líquido removió el 100% de Cr y el 97.9% de Cu.

3.- En medios líquidos y a concentraciones menores a 450 mg/L se obtienen mejores resultados.

Por lo tanto, *P. ostreatus* figura como un modelo ideal para ser utilizado en estudios de biorremediación de MP debido a que presenta varias ventajas como su facilidad de manipulación, su crecimiento, colonización y regeneración son rápidas por lo que este hongo representa un biosorbente útil. Más aún, la micorremediación resulta una estrategia biotecnológica económica, fácil de producir y que no genera contaminantes secundarios.

## Referencias bibliográficas

Acosta Urdapilleta, M. L., Téllez Téllez, M., Villegas, E., Estrada, A. y Díaz Godínez, G. (2016). Characterization of five species of *Pleurotus* grown in four culture media. *Mexican Journal of Biotechnology*, 1 (1), 1-11.

Aguilera Eguía, R. (2014). ¿Revisión sistemática, revisión narrativa o metaanálisis? *Rev Soc Esp Dolor*, 21 (6), 359-360.

Ali, A., Guo, D., Mahar, A., Wang, P., Shen, F., Li, R. y Zhang, Z. (2017). Mycoremediation of Potentially Toxic Trace Elements – a Biological Tool for Soil Cleanup: A Review. *Pedosphere*, 27 (2), 205-222.

Ali, H. y Khan, E. (2018). Bioaccumulation of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in freshwater fish. Risk to human health. *Environmental Chemistry Letters*, 16 (3), 903-917.

Alloway, B. J. (2013). *Heavy Metals in Soils*. Springer.

Amaya Márquez, A. I. (2013). Biorremediación de un plaguicida organofosforado con diferentes cepas fúngicas. [Tesis de pregrado]. Facultad de Ciencias UNAM, CDMX – México.

Arbanah, M., Miradatul Najwa, M.R. y Ku Halim, K.H. (2012). Biosorption of Cr (III), Fe (II), Cu (II), Zn (II) ions from liquid laboratory chemical waste by *Pleurotus ostreatus*. *Int J Biotechnol Wellness Ind*, 1, 152–162.

Arbanah, M., Miradatul Najwa, M.R. y Ku Halim, K.H. (2013). Utilization of *Pleurotus ostreatus* in the removal of Cr (VI) from chemical laboratory waste. *Int Refreed J Eng Sci*, 2 (4), 29–39.

Astuti, L. P., Warsa, A., Nurfiarini, A. y Tjahjo, D. W. H. (2021). Bioaccumulation of non-essential heavy metals in fish in Ir H Djuanda Reservoir, West Java. *International Symposium on Aquatic Sciences and Resources Management*, 1-7.

Aznar-Sánchez, J.A., García Gómez, J.J., Velasco Muñoz, J.F. y Carretero Gómez, A. (2018). Mining Waste and Its Sustainable Management: Advances in Worldwide Research. *Minerals*, 8 (7), 284.

Banco Mundial BIRF. (20 de septiembre de 2018). Informe del Banco Mundial: Los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes. Informe del Banco Mundial: Los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes

Banerjee A. y Nayak, D. (2007) Biosorption of no-carrier-added radio-nuclides by calcium alginate beads using 'tracer packet' technique. *Bioresour Technol*, 98, 2771–2774

Bayas Tiñe, F. R y López Bermello, A. D. (2017). Comparación de la efectividad del hongo *Pleurotus ostreatus* y *Trichoderma harzianum* en la disminución de concentración de metales pesados en lodos de lixiviación de un relleno sanitario (Tesis de grado). *Escuela Superior Técnica de Chimborazo*, Riobamba, Ecuador.

Bernabé-González, T., Cayetano-Catarino, M., Adán-Díaz, A. y Torres-Pastrana, M.A. (2004). Cultivo de *Pleurotus pullmonarius* sobre diversos subproductos agrícolas de Guerrero, México. *Scientia Fungorum*, (18), 77-80.

Byss, M., Elhottová, D., Triska, J. y Baldrian, P. (2008). Fungal bioremediation of the creosote – contaminated soil: Influence of *Pleurotus ostreatus* and *Irpex lacteus* on polycyclic aromatic hydrocarbons removal and soil microbial community composition in the laboratory – scale study. *Chemosphere*, 73, 1518-1523.

Calfa, B.A. y Torem, M.L. (2008). On the fundamentals of Cr (III) removal from liquid streams by a bacterial strain. *Minerals Engineering*, 21 (1), 48-54.

Camacho Martínez, F. J. (2013). Biorremediación de zonas contaminadas por hidrocarburos empleando hongos comestibles: efecto del antraceno sobre el crecimiento in vitro de *Pleurotus ostreatus*. [Tesis de maestría]. Colegio de Postgraduados, Puebla – México.

Canet Miquel, C. y Camprubí i Cano, A. (2006). *Yacimientos minerales: los tesoros de la tierra*. Fondo de Cultura Económica.

Cardona, M., Osorio, J. y Quintero, J. (2009). Degradación de colorantes industriales con hongos ligninolíticos. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 48, 27-37.

Castillo Palomino, S. (2019). Evaluación del efecto de la combinación de la paja de trigo e inóculos de *Pleurotus ostreatus* en la biosorción de cadmio en suelos, 2019 (Tesis de grado). *Universidad César Vallejo*, Lima, Perú.

Catacora Angulo, L. D. (2019). Micorremediación de suelos contaminados con aceite sucio de motor y su efecto sobre el crecimiento de *Chenopodium quinoa wild*. [Tesis de pregrado]. Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímicas, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz – Bolivia.

Chuquín Enríquez, C. A. (2012). Estudio de la viabilidad de crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus* aplicado en inóculo líquido para uso en biorremediación. [Tesis de pregrado]. Escuela Superior Técnica de Chimborazo, Riobamba – Ecuador.

Coello Paredes, J. M. (2011). Aplicación del hongo *Pleurotus ostreatus* como alternativa para la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados (Tesis de grado). *Escuela Superior Politécnica del Litoral*, Guayaquil, Ecuador.

Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo. (1992). *El Informe Brundtland: Nuestro Futuro Común*. Alianza Editorial.

Concepción Acosta, C. M. (2021). Asilamiento y caracterización de hongos endófitos aislados de *Prosopis laevigata* de los jales de Huatla, Morelos. [Tesis de maestría]. Centro de Investigación en Biotecnología UAEM, Morelos – México.

Cossich, E.S., Tavares, C.R. y Ravagnani, T.M. (2002). Biosorption of chromium (III) by *Sargassum* sp. Biomass. *Electronic Journal Biotechnology*, 5 (2), 6-7.

Cota Ruiz, K., Nuñez-Gastelúm, J. A., Delgado-Rios, M., y Martínez-Martínez, A. (2019). Biorremediación: Actualidad de conceptos y aplicaciones. *Biotechnia*, 21 (1), 37-44.

Covarrubias, S. A. y Peña Cabriales, J. J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 33, 7-21.

Crettaz Minaglia, M. C., Sedan, D. y Giannuzzi, L. (2017). Bioacumulación y biomagnificación de cianotoxinas en organismos acuáticos de agua dulce. En T. Petnenshsky (Ed.), *Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud*, 171-186. Ministerio de Salud de la Nación.

Crutzen, P. J. (2002). Geology of Mankind, *Nature*, 415, p. 23.

da Rocha Ferreira, G. L., Vendruscolo, F., y Antoniosi Filho, N. R. (2019). Biosorption of hexavalent chromium by *Pleurotus ostreatus*. *Heliyon*, 5(3), e01450. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01450>

DBGIR. (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. [DBGIR-15-mayo-2020.pdf \(www.gob.mx\)](#)

De León-Monzón, J.H, Sánchez, J.E. y Nahed-Toral, J. (2004). El cultivo de *Pleurotus ostreatus* en los Altos de Chiapas, México. *Scientia Fungorum*, (18), 31-38.

Devars Ramos, S. (2008). Mecanismos de tolerancia a metales pesados en *Euglena gracilis*. [Tesis de doctorado]. Facultad de Ciencias UNAM, CDMX – México.

Eróstegui Revilla, C. P. (2009). Contaminación por metales pesados. *Revista Científica Ciencia Médica*, 12 (1), 45-46.

Escobar Sánchez, O. (2010). Bioacumulación y biomagnificación de mercurio y selenio en peces pelágicos mayores de la costa occidental de Baja California Sur, México. [Tesis de doctorado]. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas IPN, Baja California Sur – México.

Favero, N., Costa, P. y Massimino, M.L. (1991). In vitro uptake of cadmium by basidiomycetes *Pleurotus ostreatus*. *Biotechnol Lett*, 13, 701-704.

Fernández Bremauntz, A., Yarto Ramírez, M. y Castro Díaz, J. (2004). *Las sustancias tóxicas persistentes en México*. Instituto Nacional de Ecología.

Figueroa, A., Solans, D., González, C. y Campaña, J. (2017). Seismic behaviour of tailing dams built by the downstream and centreline methods. *Obras y proyectos*, 21, 30-37.

Fourest, E. y Roux J.C. (1992). Heavy metal biosorption by fungal mycelial byproducts: mechanisms and influence of pH. *Appl Microbiol Biotechnol*, 37, 399-403.



Garbisu, C., Amézaga, I. y Alkorta, I. (2002). Biorremediación y Ecología. *Ecosistemas, revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*.

<http://www.aeet.org/ecosistemas/023/opinion1.htm>

García, C., Moreno, J.L., Hernández, M.T. y Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. *Ciencia y Medio Ambiente*, 125-138.

García-Delgado, C., Jiménez-Ayuso, N. y Eymar, E. (2013). Selección de residuos de la producción de setas comestibles para biodegradación de contaminantes orgánicos persistentes. *VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas: Innovar y Producir para el Futuro*, 2017-2022.

García Sánchez, L. (2007). Decoloración fúngica de efluentes industriales con colorantes azo en sistemas de biofiltración con diferentes empaques orgánicos. [Tesis de maestría]. Facultad de Ingeniería UNAM, CDMX – México.

Golovin, A.A., Samaev, S.B. y Sokolov, L.S., 2004. Modern approaches to ecological and geochemical assessment of urban territories. *Appl. Geochem.* 6, 51–63.

Gómez Velázquez, S. (2018). Efecto de extractos de cultivo sumergido de *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus djamor* y *Pleurotus agaves* sobre la activación in vitro de macrófagos. [Tesis de maestría]. Facultad de Farmacia UAEM, Morelos – México.

Hernández, C. E. O. (2021). El potencial de la biorremediación. *Herreriana*, 2 (2), 30-33.

Herrera Díaz, G. S. (2019). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando harina de sangre y composta como bioestimulantes. [Tesis de pregrado]. Facultad de Ingeniería UNAM, CDMX – México.

Igiri, B. E., Okoduwa, S. I., Idoko, G. O., Akabuogu, E. P., Adeyi, A. O., y Ejiogu, I. K. (2018). Toxicity and bioremediation of heavy metals contaminated ecosystem from tannery wastewater: a review. *Journal of toxicology*, 2018, 1-16.

Imbago Pulamarín, C. V. y Oña Lugmaña, E. A. (2019). Biorremediación de agua contaminada con arsénico proveniente de la Parroquia Toacaso, mediante el uso de *Pleurotus ostreatus*,

*Trichoderma harzianum* y *Pseudomonas aeruginosa*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.

Islas García, A., Peralta Rodríguez, M., Vega Loyo, L., López Aguilar, R. y Rodríguez Vázquez, R. (2016). Biorremediación por bioestimulación y bioaumentación con microorganismos nativos de un suelo agrícola contaminado con hidrocarburos. *Biotechnología y Sustentabilidad*, 82-85.

Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., y Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7 (2), 60-72.

Javaid, A., Bajwa, R., Shamique, U. y Anwar, J. (2011). Removal of heavy metals by adsorption on *Pleurotus ostreatus*. *Biomass and Bioenergy*, 35, 1675-1682.

Javaid, A. y Bajwa, R. (2008). Biosorption of electroplating heavy metals by some basidiomycetes. *Mycopath*, 6 (1&2), 1-6.

Jiménez Llacsahuanga, M. (2017). Biorremediación con Inóculos de *Pleurotus ostreatus* para recuperar suelos contaminados con metales pesados en La Florida Cajamarca, 2016. Universidad César Vallejo, Chiclayo, Perú.

Jiménez-Ramírez, C., del Carmen Cruz-Angulo, M., Juárez-Pérez, C.A., Chávez-Gómez, N.L., Gopar-Nieto, R., Marín-López, K.S., ... y Cabello-López, A. (2017). Enfermedad renal crónica en México y su relación con los metales pesados. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 55 (6), 725-734.

Kalac P. y Svoboda L. (2000) A review of trace element concentrations in edible mushrooms. *Food Chem*, 69, 273–281

Kapahi, M. y Sachdeva, S. (2017). Mycoremediation potential of *Pleurotus* species for heavy metals: a review. *Bioresources and Bioprocessing*, 4, 1-9.

Lemache Pérez, E. B. (2017). Determinación de la capacidad de remoción de cadmio y plomo por hongos de la podredumbre blanca *Pleurotus Ostreatus* en suelos de la zona el Timbre Cantón Quininde (Tesis de grado).

León-Avendaño, H., Martínez-García, R., Caballero Gutiérrez, P. y Martínez-Carrera, D. (2013). Caracterización de dos cepas de *Pleurotus djamor* nativas de Oaxaca, México. *Rev. Mex. Cien. Agric.*, 4 (6), 1285-1291.

Ley General de Salud 07/02/1984. *Diario Oficial de la Federación*. DOF - Diario Oficial de la Federación

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente 28/01/1988. *Diario Oficial de la Federación*. Original: Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. DOF 28-01-1988 (diputados.gob.mx)

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos 08/10/2003. *Diario Oficial de la Federación*. Original: Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. DOF 08-10-2003 (diputados.gob.mx)

Li, X., Wang, Y., Pan, Y., Yu, H., Zhang, X., Shen, Y., ... Zhang, S. (2017). *Mechanisms of Cd and Cr removal and tolerance by macrofungus Pleurotus ostreatus HAU-2*. *Journal of Hazardous Materials*, 330, 1–8.

Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T. y Muñoz-García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14 (2), 145-153.

Mancipe Calderón, N. G. y Arias Rodríguez, S. (2020). Remoción de mercurio y plomo contenido en efluentes de agua por el *Pleurotus ostreatus* inmovilizado en diferentes materiales (Tesis de pregrado). *Universidad de los Andes*, Bogotá, Colombia.

Marín-Castro, M., Tamaríz, V., Castelán, R. y Linares, G. (2015). Isotermas de adsorción de Pb y Cr por la biomasa de tres cepas del hongo de la pudrición blanca *Pleurotus* spp. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2 (5), 35-45.

Marín Castro, M., Tamaríz Flores, V., Castelán Vega, R., Linares Fleites, G. y Calderón, A. A. (2015). Adsorción de Cu y Cd por la biomasa miceliar de tres cepas *Pleurotus*, hongo de la pudrición blanca. *Revista Latinoamericana el Ambientes y las Ciencias*, 6 (14), 20-34.

Marrero-Coto, J., Díaz Valdivia, A. y Coto Pérez, O. (2009). Mecanismos moleculares de resistencia a metales pesados en las bacterias y sus aplicaciones en la biorremediación. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 41 (1), 67-78.

Martin, S. y Griswold, W. (2009). Human health effects of heavy metals. *Environmental Science and Technology for Citizens*, 1-6.

Martínez-Berra, C., Díaz, R., Sánchez-Minutti, L. y Díaz Godínez, G. (2018). Biodegradation of azo dyes by *Pleurotus ostreatus*. *Mexican Journal of Biotechnology*, 3 (1), 43-59.

Medaura, M.C., Guivernau, M., Boldú, F.P., Moreno Ventas, X. y Viñas Canals, M. (2013). Micorremediación y su aplicación para el tratamiento de suelos contaminados por hidrocarburos pesados. *Hacia un sistema de gestión integral de los residuos sólidos*.

Mejía López, M. P. (2014). Tratamiento de un efluente de la industria textil en biofiltros empacados con turba inoculados con *Pleurotus ostreatus*. [Tesis de maestría]. Facultad de Ingeniería UNAM, CDMX – México.

Mejía Salas, M. F. (2016). Uso del hongo *Pleurotus ostreatus*, para la remoción de Pb en los suelos de Carabayllo - Lima 2016 (Tesis de pregrado). *Universidad César Vallejo*, Lima, Perú.

Morton-Bermea, O. (2006). Contenido de metales pesados en suelos superficiales de la Ciudad de México. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 9 (1), 45-47.

Mungasavalli, D.P., Thiruvengkatachari, V. y Jin, Y.C. (2007). Biosorption of chromium from aqueous solutions by pretreated *Aspergillus niger*: Batch and columns studies. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 301 (1-3), 214-223.

Oldecop, L. y Rodríguez, R. (2007). Mecanismos de fallas de las presas de residuos mineros. *Ingeniería Civil*, 148, 181-189.

Pino Rodríguez, N.J., Carvajal, S., Gallo, A. y Peñuela, G. (2012). Comparación entre bioestimulación y bioaumentación para la recuperación de suelos contaminados con diésel. *Producción + Limpia*, 7 (1), 101-108.

Pérez Espejo, R., Ávila Foucat, S. y Aguilar Ibarra, A. (2010). *Introducción a las economías de la naturaleza*. Breviarios de investigaciones económicas.

Prakash, V. (2017). Mycoremediation of environmental pollutants. *Int J Chem Tech Res*, 10 (3), 149–155

Prasad, A.S.A., Varatharaju, G., Anushri, C. y Dhivyasree, S. (2013). Biosorption of lead by *Pleurotus florida* and *Trichoderma viride*. *British Biotechnology Journal*, 3 (1), 66-78.

Prigione, V., Zerlottin, M., Refosco, D., Tigini, V., Anastasi, A., y Varese, G. C. (2009). Chromium removal from a real tanning effluent by autochthonous and allochthonous fungi. *Bioresource Technology*, 100 (11), 2770-2776.

Reátegui de la Cruz, K. (2018). Efecto de la dosificación de *Pleurotus ostreatus* en la absorción de metales pesados en suelos contaminados, Shahuindo Cajamarca (Tesis de grado). *Universidad César Vallejo*, Trujillo, Perú.

Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M. y González, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16 (2), 66-77.

Rodríguez, R. y García-Cortés, A. (2006). *Los residuos minero-metalúrgicos en el medio ambiente*. Instituto Geológico y Minero de España.

Rodríguez Flores, A. E. y Melendez Campos, D. Z. (2019). Eficiencia de *Lentinus edodes*, *Pleurotus ostreatus* y *Agaricus bisporus* para la remediación de suelos contaminados por plomo y cadmio proveniente de La Oroya antigua, Lima - Perú, 2019 (Tesis de grado). *Universidad César Vallejo*, Lima, Perú.

Rodríguez Rosario, K. J. (2005). Eficacia del hongo *Pleurotus ostreatus* como biorremediador de suelos contaminados con metales pesados (Tesis de maestría). *Universidad de Puerto Rico*, Mayagüez, Puerto Rico.

Ruíz Vivar, J. (2010). Mecanismos de resistencia a metales pesados en bacterias, hongos, plantas y algas y sus posibles aplicaciones como estrategias de biorremediación. [Tesis de pregrado]. Facultad de Química UNAM, CDMX – México.

Salman, H.A., Ibrahim, M.I., Tarek, M.M. y Abbas, H.S. (2014) Biosorption of heavy metals—a review. *J Chem Sci Technol* 3(4):74–102.

Secretaría de Economía. (22 de abril de 2021). *El sector minero-metalúrgico en México contribuye con el 2.4 por ciento del Producto Interno Bruto nacional*. Minería | Secretaría de Economía | Gobierno | gob.mx (www.gob.mx)

SEMARNAT. (2003). NOM-087-ECOL-SSA1-2002. *Diario Oficial de la Federación*. NORMA Oficial Mexicana NOM (salud.gob.mx)

SEMARNAT. (2005). NOM-052-SEMARNAT-2005. *Diario Oficial de la Federación*. NORMA Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasifica (dof.gob.mx)

SEMARNAT. (2006). NOM-052-2005. *Diario Oficial de la Federación*. NORMA Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, El procedimiento de identificación, Clasifica (economia-noms.gob.mx)

SEMARNAT. (2007). NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. *Diario Oficial de la Federación*. Microsoft Word - NOM-147.DOC (profepa.gob.mx)

SEMARNAT. (2009). Guía para el cumplimiento de obligaciones contenidas en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y su Reglamento. GUÍA PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA LEY PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS Y SU REGLAMENTO (semarnat.gob.mx)

Simbaña Cazar, C. J. (2016). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de la Parroquia Taracoa en Francisco de Orellana, mediante el hongo *Pleurotus ostreatus*. [Tesis de pregrado]. Escuela Superior Técnica de Chimborazo, Riobamba – Ecuador.

Subsecretaría de Minería. (22 de mayo 2021). *Directorio del Sector Minero*. Directorio de Empresas del Sector Minero Metalúrgico (economia.gob.mx)

Talavera Ortiz, A. y Téllez-Téllez, M. (2016). Hongos patógenos, especies amigables con el ambiente. *Inventio*, 12 (27), 41-45.

Tayebi-Khorami, M., Edraki, M., Corder, G. y Golev, A. (2019). Re-Thinking Mining Waste through an Integrative Approach Led by Circular Economy Aspirations. *Minerals*, 9 (5), 286.

Tirado Amador, L.R., Gonzáles Martínez, F.D., Martínez Hernández, L.J., Wilches Vergara, L.A. y Celledón Suárez, J.N. (2015). Niveles de metales pesados en muestras biológicas y su importancia en la salud. *Revista Nacional de Odontología*, 11 (21), 84-94.

Tubert, I. y Talanquer, V. (1997). Sobre adsorción. *Educación química*, 8 (4), 186-190.

Urík, M., Čerňanský, S., Ševc, J., Šimonovičová, A., y Littera, P. (2007). Biovolatilization of arsenic by different fungal strains. *Water, air, and soil pollution*, 186 (1), 337-342.

Urrutia Alfaro, B. V. (2019). Tolerancia de *Pleurotus ostreatus* a diferentes concentraciones de plomo (Tesis de grado). Universidad Técnica Federico Santa María, Viña del Mar, Chile.

Urrútia, G. y Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135 (11), 507-511.

Vallejo Aguilar, M. L. A., Marín Castro, M. A., Ramos Cassellis, M. E., Silva Gómez, S. E., Ibarra Cantú, D. y Tamariz Flores, J. V. (2021). Biosorción y tolerancia de Pb, Cr y Cd por la biomasa de *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex Fr.) P. Kumm. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12 (2), 275-286.

Vaseem, H., Singh, V. K. y Singh M. P. (2017). Heavy metal pollution due to coal washery effluent and its decontamination using a macrofungus, *Pleurotus ostreatus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 145, 42-49.

Vaverková, M. D., Adamcová, D., Radziemska, M., Voběrková, S., Mazur, Z., y Zloch, J. (2018). *Assessment and Evaluation of Heavy Metals Removal from Landfill Leachate by Pleurotus ostreatus*. *Waste and Biomass Valorization*, 9(3), 503–511.

Ventura Huamán, D. K. (2016). Cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* para la remoción de mercurio en suelos de la comunidad minera Santa Bárbara – Huancavelica (Tesis de pregrado). *Universidad César Vallejo*, Lima, Perú.

Verma, T., Maurya, A., Tripathi, M. y Kumar Garg, S. (2017). Mycoremediation: An alternative treatment strategy for heavy metal-laden wastewater. *Developments in Fungal Biology and Applied Mycology*, 315-340.

Villacís Fajardo, J. J. (2013). Biorremediación de suelos contaminados con venzo(a)pireno empleando *Pleurotus ostreatus*. [Tesis de maestría]. Facultad de Química UNAM, CDMX – México.

Vogel F., D. Salmones, 2000. Análisis comparativo de la productividad de cepas de *Pleurotus* spp. cultivadas en una planta comercial. *Revista Iberoamericana de Micología* 17: 138–141.

Wilson, A.D. (2020). Delta Mushrooms in All Seasons: Winter Bloomers. *Delta Wildlife*, 28 (4), 36-37.

Volke Sepúlveda, T. y Velasco Trejo, J.A. (2002). Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología.

Xiangliang, P., Jianlong, W. y Daoyong, Z. (2005). Biosorption of Pb (II) by *Pleurotus ostreatus* immobilized in calcium alginate gel. *Process Bio Chem*, 40, 2799–2803.

Xiangliang, P., Jianlong, W. y Daoyong, Z. (2009). Biosorption of Co (II) by immobilised *Pleurotus ostreatus*. *Int J Environ Pollut*, 37, 289–298.

Zegarra Minaya, R. E. (2017). Capacidad del hongo *Pleurotus ostreatus* para la biorremediación de suelos contaminados por Plomo (Pb) en el laboratorio – 2017 (Tesis de grado). *Universidad César Vallejo*, Lima, Perú.

Zoroddu, M. A., Aaseth, J., Crisponi, G., Medici, S., Peana, M. y Nurchi, V. M. (2019). The essential metals for humans: A brief overview. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 195, 120-129.



Cuernavaca, Morelos a 11 de noviembre de 2022

**COMISIÓN REVISORA  
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS  
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **LUIS ROBERTO CALDERÓN GARCÍA**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10045262**, BAJO EL TÍTULO “ANÁLISIS DE LAS APLICACIONES DE *PLEUROTUS OSTREATUS* COMO ALTERNATIVA EN LA BIORREMEDIACIÓN DE RESIDUOS MINEROS”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

**A T E N T A M E N T E**  
*Por Una Humanidad Culta*

**FIRMA ELECTRÓNICA**

---

Dr. Alexis Joavany Rodríguez Solís



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**ALEXIS JOAVANY RODRIGUEZ SOLIS | Fecha:2022-11-11 12:57:41 | Firmante**

BhgSnjMQdAHyK+Stiye+uIBsGbXyDySwEZTTfj8Gk6ppRRkQEivbFc5wONzseQW1LgQk+pADQjcsVb2Jtj76XBrvmujHLXO63j656ghKu9jRUBIXAbN11GX2zGKbLNQr91uDhlaU  
b5VgYJkXa4qxiHV3hsWxXzBsi+27Lxj0HlwS3qPI2eGA7vfqj9kLhXv8LB9+lsbAJMX40So3dXnMTMX+ZZkhZ9F7TJZ8jyU1/Psd2zSGEbw4qh0AFMYQd2/FkepZOiqspG4M2jg  
xHeBi6IBVK9kB0Cpi5gXEbelEvBiYWuiueh7BJO8vo1ZdDM5wCJOA735huo3MRwt26wNQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



**26SaEIPop**

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/nLV4020Maa9hglvjwu8FWnBFBR02zPUz>



Cuernavaca, Morelos a 11 de noviembre de 2022

**COMISIÓN REVISORA  
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS  
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **LUIS ROBERTO CALDERÓN GARCÍA**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10045262**, BAJO EL TÍTULO “ANÁLISIS DE LAS APLICACIONES DE *PLEUROTUS OSTREATUS* COMO ALTERNATIVA EN LA BIORREMEDIACIÓN DE RESIDUOS MINEROS”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

**A T E N T A M E N T E**  
*Por Una Humanidad Culta*

---

Dra. María Luisa Castrejón Godínez



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**MARIA LUISA CASTREJON GODINEZ | Fecha:2022-11-11 10:46:09 | Firmante**

ho4bLRi9mLN7XhuaFKx0vK+IqkiHbbGOv0Y6I17xFSNILTjyOuZrKPEwU4cfNRAHsg92m/MqQ/sUX/jF+Dpvk1BIXXSLbEmw+H9lyplf9SC5GCRFWmZV5jcfbPKwQ39jbCDseN15iO4Sbjv7OaxgV4bgYcCGUjTnVbzKH0W26OUj8tp4gQB1JFsLooD3TdMYqkUQ7xWzhGn6o/LRhqj8wWfoOh4ZlgGBb17e4GgUqM3+G8DOzApUIG9RDF536ycniRwlrD3FQstgkJKGMNioYI8XhXILml+atu81yGbXu55tMCjJhP0el4uG8BzwEtEwdAnkkclK3QeuTePQ5TLlw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[nrw42dsPm](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/X648jEFRiVrutltANohZZaGEzMw43D63>



Cuernavaca, Morelos a 11 de noviembre de 2022

**COMISIÓN REVISORA  
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS  
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESIS, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESIS QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **LUIS ROBERTO CALDERÓN GARCÍA**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10045262**, BAJO EL TÍTULO “ANÁLISIS DE LAS APLICACIONES DE *PLEUROTUS OSTREATUS* COMO ALTERNATIVA EN LA BIORREMEDIACIÓN DE RESIDUOS MINEROS”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

**A T E N T A M E N T E**  
*Por Una Humanidad Culta*

---

Dra. Patricia Mussali Galante



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**PATRICIA MUSSALI GALANTE** | Fecha:2022-11-18 11:25:35 | Firmante

dleZGjwwj0TlChPp+TorrC8UhWnj2056todt3iLF48YBNTQwPJ1gJizKFCwPWlgpMrXom0zfQcHUuxiSKJqw4yAfaOraH1av+7npjQBQMnFE60iKkCnjr1gHH60N8GQLT7e+HBr4SZqSdszYbt6R8knz/tjsqeg+7EHOYDFKb3dRFQ3F2eyhrF2qEHLPe2d8tN/7bVGsV1Kh5gQLkkrko+yN3BnlZodoz9MB3+sjddDtISMyG0GfAoFNO4ain12XlzbXTwOAcMyDGyPmP+N/cgW4kgGM6tUvdDf6mfoMMdfXJlr0tTS1b8M2GD+9mDoaVS24ZnhUwnWrwWktfzEFQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[tAHXEUiR](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/EKLqEqi5W18qiFpE5r0quBTS20i8FBEj>



Cuernavaca, Morelos a 22 de noviembre de 2022

**COMISIÓN REVISORA  
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS  
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESIS, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESIS QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **LUIS ROBERTO CALDERÓN GARCÍA**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10045262**, BAJO EL TÍTULO “ANÁLISIS DE LAS APLICACIONES DE *PLEUROTUS OSTREATUS* COMO ALTERNATIVA EN LA BIORREMEDIACIÓN DE RESIDUOS MINEROS”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

**A T E N T A M E N T E**  
*Por Una Humanidad Culta*

---

Mtra. Ariadna Zenil Rodríguez





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**ARIADNA ZENIL RODRIGUEZ | Fecha:2022-11-25 08:18:08 | Firmante**

Y3ZbzwNubKMbgqOU9Xre7gZnkgqTO5svOpnQj2mDBml5QDfzUgFZtgzVwwwb1+4P37gmz8S0nmEhf6g5PuiHtG8QSRbPreLqqXq4YjXBCuOAZRd/yusftN9n0gAiiGrz07WHFY9DQuTWcNveRpPuUrTaxdhPvOBX5uCF15xVyS/XfQpBWYzoPV8vK4f7uxvREc7su4pdZE3kRHLHjRzEWhkVE7NQnU5v3i0j88ntt9lgSnyN8R7L8NNjrTofEoJNhtx8DXErQ5sgq5mKNLmnWGsPu4uy3Re02LqjSqT67clLXgMnrzuWT5Af0o4q7S82Sm4ySIZJ6MTH119iMVDfQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[bSWIyv1HU](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/JzdQg0JtvfB3VT0avvBWYIBInq6XbvNP>





Cuernavaca, Morelos a 22 de noviembre de 2022

**COMISIÓN REVISORA  
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS  
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESIS, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESIS QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **LUIS ROBERTO CALDERÓN GARCÍA**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10045262**, BAJO EL TÍTULO “ANÁLISIS DE LAS APLICACIONES DE *PLEUROTUS OSTREATUS* COMO ALTERNATIVA EN LA BIORREMEDIACIÓN DE RESIDUOS MINEROS”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

**A T E N T A M E N T E**  
*Por Una Humanidad Culta*

---

Mtro. Julio César Lara Manrique



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**JULIO CESAR LARA MANRIQUE** | Fecha:2022-12-08 01:48:09 | Firmante

H9a9/37ZZH9kY89wiZVSZC6pNhNONnSdY75prleo0J7F5UKk1vFu+kCHm+OMcPKUn+z0pjLDs4tYGJwWzE748ZufFNafi2G47k48HOaL13WbZ8SKvzzo0zsaz8H1+MmJ/XztNcNesVAJvsnzUZcsxSWGq89/A5J462VhS4XbAAhHqzH2w7se7axl8o4G.JgV1kT19kFJL00vVIQOScEyXFtLtoE6bqJHmve4LOpba+kIKrskiAgKTWXJC4yLOUvoPIDbUvgOLZRgAm32l31xb6NKWCyyRgAbBYryJR2h+NG4GhmzUMmFECA5/Ry8clcqQYoaOuxdfyuWLV9gw7+UQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[ySWXz4qNP](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/RmPe3bc95ZdQRRkK1MmQKeXpof7k7sO1>

