

Use of the fungus *Pleurotus ostreatus* in *Triticum* straw and *Zea mays* crown substrates to bioremediate soils contaminated with cadmium

Genesis Edith Velarde Chacón¹ , Moraima Felicita Martinez Guillen¹ , and Magda Velásquez Marín, Mtr¹ 
¹Universidad Privada del Norte (UPN), Av. Tingo María 1122, Cercado de Lima, Perú, N00248106@upn.pe, N00207632@upn.pe, magda.velasquez@upn.edu.pe

Abstract– Soil constitutes a finite and irrecoverable natural resource and is crucial as a foundation for agricultural practice; Improper handling could cause adverse consequences. The extraction of minerals such as zinc (Zn), lead (Pb), and copper (Cu), the prolonged application of phosphate fertilizers, and the production of batteries and PVC generate considerable emissions of cadmium (Cd). Therefore, the objective of our research was to determine the effectiveness of *Pleurotus ostreatus* in the bioremediation of soils contaminated with cadmium. The research methodology used was quantitative using an experimental design of soil management with two substrates: *Triticum* straw and *Zea mays* crown. Experimental observation and inferential analysis techniques are mentioned, as well as the use of SPSS software to process the data. This research has certain limitations, including the possibility of the substrate being contaminated with environmental fungi that could affect the development of *Pleurotus ostreatus*. Furthermore, in relation to the results, a removal of 15.60% was observed in treatment B (*Zea mays* crown), whereas treatment A (*Triticum* straw) showed a removal of 14.98%. The importance of the substrates used for optimal growth of the fungus is highlighted. On the other hand, it was concluded that the 15-day treatment period was short because the cadmium concentration was not lower than the standards established by the ECA-Soils.

Keywords– Mycoremediation, substrate, *Pleurotus ostreatus*, contaminated soil y cadmio.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Uso del hongo *Pleurotus ostreatus* en sustratos de paja de *Triticum* y de coronta de *Zea mays* para biorremediar suelos contaminados con cadmio

Genisis Edith Velarde Chacón¹, Moraima Felicita Martinez Guillen¹, and Magda Velásquez Marín, Mtr¹

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Av. Tingo María 1122, Cercado de Lima, Perú, N00248106@upn.pe, N00207632@upn.pe, magda.velasquez@upn.edu.pe

Resumen- El suelo constituye un recurso natural finito e irrecuperable y es crucial como cimiento para la práctica agrícola; su indebido manejo podría ocasionar consecuencias adversas. La extracción de minerales como zinc (Zn), plomo (Pb) y cobre (Cu), la aplicación prolongada de fertilizantes fosfatados, y la producción de baterías y PVC generan considerables emisiones de cadmio (Cd). Por tal motivo, el objetivo de nuestra investigación es determinar la eficiencia del hongo *Pleurotus ostreatus* en la biorremediación de suelos contaminados con cadmio. La metodología de investigación empleada es cuantitativa utilizando un diseño experimental de manejo de suelos con dos sustratos: paja de *Triticum* y coronta de *Zea mays*. Se mencionan técnicas de observación experimental y análisis inferencial, así como el uso de software SPSS para procesar los datos. Esta investigación presenta ciertas limitaciones, entre las cuales se incluye la posibilidad de que el sustrato se contamine con hongos ambientales que podrían afectar el desarrollo del hongo *Pleurotus ostreatus*. Además, en relación con los resultados, se observó una remoción del 15.60% en el tratamiento B (coronta de *Zea mays*), mientras que el tratamiento A (paja de *Triticum*) mostró una remoción del 14.98%. Se resalta la importancia de los sustratos empleados para el óptimo crecimiento del hongo. Por otra parte, se concluye que el período de tratamiento de 15 días es breve, ya que la concentración de cadmio no es menor a los estándares establecidos por el ECA-Suelos.

Palabras clave-- Mycoremediation, substrate, *Pleurotus ostreatus*, contaminated soil, micorremediación y cadmio.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, las preocupaciones sobre la polución del aire, suelo y agua, acrecientan, siendo mayoritariamente atribuibles a acciones humanas [1]. Dentro de estas actividades, se resalta que un 57% de la contaminación proviene de la minería, un 21% por la agricultura, un 9% por aguas residuales, un 8% de las industrias y un 5% por residuos sólidos municipales [2].

Según Burbano [3] el suelo se caracteriza como un recurso natural limitado e irreversible que desempeña diversas funciones ecológicas y ambientales. Es una estructura altamente dinámica, que experimenta cambios y evoluciona desde sus etapas iniciales hasta lograr un balance armónico en el ambiente. Por ello, el suelo presenta propiedades físicas, químicas y biológicas únicas [4]. De acuerdo con Silva y Correa [5] el uso inapropiado del suelo tiene consecuencias negativas, ya que impide la producción óptima de este recurso.

De acuerdo con lo establecido por Food and Agriculture Organization (FAO) [6], el impacto del suelo en el medio ambiente puede tener consecuencias devastadoras y negativas

para todas las formas de vida. Un ejemplo de esto es la contaminación del suelo, que puede ocasionar la liberación de contaminantes en las aguas subterráneas. Estos contaminantes pueden acumularse en los tejidos de las plantas y ser consumidos posteriormente por los animales que se alimentan de ellas, llegando finalmente al hombre a través del consumo de productos de origen vegetal y animal.

Según International Labour Organization [7] alrededor del 80% de la actividad minera a nivel global corresponde a la Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) De acuerdo al estudio llevado a cabo por Goñi et al. [8], se encontró que, en Colombia, aproximadamente el 87% de las Unidades de Producción Minera (UPM) operan en condiciones informales. Se considera que un suelo se encuentra en estado de contaminación cuando ha sobrepasado su amplitud de amortiguación para una o más sustancias, según lo planteado por Macías [9] existe una estrecha relación entre los metales pesados y los peligros relacionados con la contaminación del suelo, se ha observado que la existencia de metales pesados en el suelo tiene el potencial de generar toxicidad en las plantas y provocar consecuencias adversas para la calidad de los recursos naturales y el ambiente. Esto incluye la acumulación de dichos metales en los organismos vivos, como lo mencionan Oyarzun et al. [10].

De acuerdo con el Ministerio del Ambiente [11], la contaminación causada por metales pesados se produce como resultado de actividades antropogénicas como el refinamiento de minerales, la liberación de efluentes industriales, la minería a pequeña escala y emisiones de vehículos al ambiente. La degradación del suelo, relacionada con la actividad industrial y minera, se destaca como las principales causantes, debido a la generación de desechos sólidos y una gestión inapropiada de los suelos [12]; teniendo como consecuencia, la degradación del suelo debido al incremento de la erosión, la salinización, la disminución de la fertilidad y el deterioro general de su calidad [13].

De acuerdo con Díaz [12] una vez que los agentes contaminantes ingresan al suelo, se dispersan y pueden ser transportados a través del aire, el agua o los depósitos de residuos; el suelo contaminado actúa como un reservorio donde estos contaminantes se dispersan debido a la influencia del aire y el agua, convirtiéndose así en una fuente de contaminación. La capacidad de desplazamiento de dichos contaminantes se encuentra influenciada por diversos factores ambientales, incluyendo el tipo de suelo, su estructura, el nivel de agua

subterránea, la temperatura y la composición química del suelo. Asimismo, el control de la contaminación es una función crucial desempeñada por los procesos del suelo. Por ejemplo, el pH del suelo actúa como un amortiguador, la presencia de materia orgánica afecta las propiedades físicas y químicas, la precipitación y disolución de compuestos, la volatilización de sustancias, la oxidación-reducción que involucra la transferencia de electrones y la formación de compuestos de sulfato y sulfito, los cambios iónicos y los procesos de adsorción y desorción.

Como alternativa de solución se considera que el género *Pleurotus* ha adquirido una significativa relevancia debido a su notable capacidad para remediar áreas contaminadas por hidrocarburos y metales pesados como plomo, cobre y cadmio. Este tipo de hongo, conocido también como hongo ostra, se desarrolla en la madera y comprende diversas especies como *Pleurotus ostreatus*, *P. sajor-caju*, *P. sapidus*, *P. pulmonar*, *P. platypus*, *P. cornucopie* y *P. ostreatoroseus*, según lo mencionado por Kapahi [14]. La efectividad del hongo *Pleurotus ostreatus* ha sido comprobada en el estudio realizado por Kocaoba et al. [15], en el cual se evaluó el potencial del hongo inmovilizado en bentonita para eliminar metales pesados traza en un sistema de flujo continuo. El procedimiento implica la captura de Plomo III y Cadmio II mediante una columna de bentonita que contiene hongos inactivos. Los resultados obtenidos revelaron una adsorción del 95%, con un pH óptimo de 5 para todos los metales, y se concluyó que el proceso es relativamente rápido. Además, según Cervantes et al. [16], se observó que el micelio, al estar expuesto a una solución metálica de cromo, presenta la ruptura de las hifas, lo cual indica que el metal interactuó con el metabolismo celular y se produjo una acumulación biológica en el interior del micelio.

Basándonos en estos fundamentos, es necesario llevar a cabo una investigación para evaluar la efectividad del hongo *Pleurotus ostreatus* en la restauración de suelos contaminados con cadmio.

Por ende, el tema de estudio dispone con una interrogante donde se busca dar una solución y se formula de la siguiente forma: ¿Cuál es la eficiencia de utilización del hongo *Pleurotus ostreatus* en la biorremediación de suelo contaminados con cadmio? Teniendo como objetivo determinar la eficiencia del hongo *Pleurotus ostreatus* en la biorremediación de suelos contaminados con cadmio.

II. METODOLOGÍA

A. Tipo de investigación

- Enfoque

Creswell [17] indica que la investigación cuantitativa es una metodología de investigación que se concentra en la obtención y análisis de datos numéricos para abordar preguntas específicas de investigación y poner a prueba hipótesis formuladas previamente. Se caracteriza por su diseño predefinido, la utilización de muestras representativas y el uso de técnicas estadísticas para el análisis de datos.

Por lo que, se puede afirmar que el enfoque de investigación utilizado en este estudio es de tipo cuantitativa, experimental y

que se busca responder la pregunta de investigación analizando diversos datos.

- Diseño

Experimental puro; en la presente investigación se intervino en el suelo utilizando dos sustratos: paja de *Triticum* y coronta de *Zea mays*. A través del análisis, se obtendrá el porcentaje de remoción de Cd (variable respuesta).

Al azar; dos tratamientos con tres réplicas para cada tratamiento.

TABLA I
TRATAMIENTOS APLICADOS EN LA INVESTIGACIÓN

TRATAMIENTOS	TIEMPO	NÚMERO DE REPETICIONES	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
TRATAMIENTO A (CON SUSTRATO DE PAJA DE TRITICUM)	15 DÍAS	1	TASCM1	100 gr de suelo no estéril + 1% gr de inóculo + 15 de paja de <i>Triticum</i>
		2	TASCM2	100 gr de suelo no estéril + 1% gr de inóculo + 15 gr de paja de <i>Triticum</i>
		3	TASCM3	100 gr de suelo no estéril + 1% gr de inóculo + 15 gr de paja de <i>Triticum</i>
TRATAMIENTO B (CON SUSTRATO DE CORONTA DE ZEA MAYS)	15 DÍAS	1	TBSCM1	100 gr de suelo no estéril + 1% gr de inóculo + 15 gr de coronta de <i>Zea mays</i>
		2	TBSCM2	100 gr de suelo no estéril + 1% gr de inóculo + 15 gr de coronta de <i>Zea mays</i>
		3	TBSCM3	100 gr de suelo no estéril + 1% gr de inóculo + 15 gr de coronta de <i>Zea mays</i>

- Tipo

La investigación adopta un enfoque explicativo, de nivel descriptivo y tienen un enfoque práctico. En una investigación de naturaleza explicativa, se siguen las etapas fundamentales de una investigación experimental. Estas etapas incluyen el estudio del fenómeno o realidad, la formulación de hipótesis, la selección de una metodología apropiada, el diseño de la investigación, la elección de instrumentos de medición, la recopilación de datos obtenidos a través de experimentación, la organización de los datos y finalmente la redacción del informe [18].

B. Población y muestra

- Población

Se identificó suelo contaminado con Cadmio (Cd) en la localidad de Yarusyacan, perteneciente a la provincia de Cerro de Pasco, en el departamento de Pasco, a una altitud de 4050 msnm.

- Muestra

Se utilizó una muestra de suelo contaminado con un peso de 6 kg para llevar a cabo el estudio.

a. Criterio de inclusión

Suelo proveniente de la población de Yarsyacan.

b. Criterio de exclusión

Suelo que estuviera alejado de las coordenadas del punto de muestreo y se considerara libre de contaminación por relaves mineros.

C. *Técnicas e instrumentos de recolección de datos y análisis de datos*

- Técnicas

Se utilizó la técnica de observación experimental, la cual permitió recopilar resultados confiables basados en la investigación científica. Según el autor Smith [19], la observación experimental es una técnica de recolección de datos en la investigación científica que implica la observación directa y sistemática de fenómenos o eventos bajo condiciones controladas. Esta metodología permite obtener información detallada y objetiva sobre las variables y sus relaciones, lo que contribuye a la generación de conocimiento científico riguroso.

- Instrumentos

Según Castillo [20] los instrumentos utilizados en una investigación incluyen fichas de registro específicas para cada variable examinada, además de técnicas de filmación. El método utilizado para la recolección de datos en este estudio fue de naturaleza experimental y cuantitativa, con la ficha de observación como principal instrumento para recolectar y organizar información clave del trabajo de investigación.

D. *Procedimiento*

- Análisis de cadmio antes del tratamiento:

Para cuantificar la concentración de cadmio en la muestra de suelo antes de aplicar el tratamiento, se utilizó el equipo ICP Óptico en el laboratorio GreenLab Perú S.A.C., siguiendo el método EPA 207.

- Distribución de tratamientos:

Para distribuir las muestras, se utilizaron 12 recipientes de vidrio esterilizados, cada uno con un agujero en la tapa sellado con cinta microporosa. Estos frascos se colocaron en un recipiente grande de 60 cm por 20 cm por 40 cm, donde se controlaban las condiciones climáticas, como la temperatura y la humedad.

- Obtención del inóculo del hongo *Pleurotus ostreatus*:

Los micelios derivados de la cepa madre se obtuvieron de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Estos micelios se inocularon en granos de cebada en una cantidad aproximada de 1 kg. Antes de ser tratados con suelos contaminados, los granos de cebada se almacenaron en el refrigerador a una temperatura de 15°C.

- Preparación del sustrato:

La paja de *Triticum* y coronta de *Zea mays* se sometieron a un proceso de secado durante 20 días, posteriormente se trituraron en fragmentos más pequeños. Tras este paso, se llevó a cabo una inspección minuciosa para eliminar impurezas o residuos no deseados. Después, ambos sustratos se sumergieron en agua por 24 horas con el fin de lograr un nivel de humedad entre el 80% y el 90%. Finalmente, los sustratos se escurrieron durante aproximadamente una hora.

- Esterilización del sustrato:

Una vez que los sustratos están humedecidos, se colocan en bolsas de propileno de 3 kg. En la apertura de cada bolsa, se inserta un pequeño trozo de algodón y luego se sella con una banda elástica para evitar la entrada de microorganismos. Después de sellar las bolsa se someten a un ciclo de autoclave a 105°C durante dos horas.

- Inoculación del hongo a sustrato esterilizado:

Luego de completar la esterilización, se toman 300 gramos del hongo *Pleurotus ostreatus* de la cepa madre utilizando un mechero y un asa de siembra para evitar posibles contaminaciones. El hongo se deposita cuidadosamente en las bolsas de sustrato esterilizado, que luego son selladas herméticamente con una banda elástica y un pequeño trozo de algodón. Para favorecer un crecimiento óptimo, las bolsas inoculadas fueron trasladadas a un cuarto oscuro donde la temperatura se mantenía entre 23 y 24°C, y con una humedad controlada de 75-80%. Se deja que el micelio se expanda por completo en el sustrato antes de proceder al trasplante a las macetas que contenían suelo contaminado.

- Inoculación del hongo + sustrato en las muestras de suelo contaminado:

Tras un período de 20 días y verificar que el micelio se haya expandido completamente y que todo el sustrato adquiera una tonalidad blanca, se pesaron 15 gramos de sustrato junto con el hongo y se transfirieron a las macetas de suelo que contenían 100 gramos de suelo estéril previamente pesado. Este procedimiento se repite tanto para el sustrato de *Triticum* como para el de coronta de *Zea mays*. Luego, los frascos se sellan y se ubican en un recipiente que proporcionaba las condiciones climáticas adecuadas para la fructificación del hongo.

- Monitoreo de parámetros edafoclimáticos:

En la ficha de registro se anota parámetros como humedad, temperatura de forma interdiaria.

- Determinación de Cd al final del tratamiento:

Pasado el tratamiento y a fin de determinar el porcentaje de eficiencia y remoción del metal Cd en las muestras de suelo, se utilizó el equipo ICP Óptico en el laboratorio de Greenlab Perú S.A.C., método EPA 207.



Fig. 1 Procedimiento de desarrollo del hongo *Pleurotus ostreatus*: (a) Esterilización de los sustratos de paja de *Triticum* y coronta de *Zea mays*; (b) Inoculación del hongo de la cepa madre a los sustratos esterilizados; (c) Día 6 de crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus*; (d) Día 13 del crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus*.

E. Validez

Las esterilizaciones de los sustratos y el análisis de la muestra de suelo se darán en el laboratorio Greenlab Perú S.A.C. acreditado por INACAL para su validación y confiabilidad, basándose en el método EPA 207. Asimismo, se tomó como referencia los diseños experimentales propuestos por Guanilo y Silva [21], Lemache [22] y Villota [23].

III. RESULTADOS

Determinación de la eficiencia del hongo Pleurotus ostreatus en sustratos de paja de Triticum y de coronta de Zea mays para biorremediar suelos contaminados con cadmio.

TABLA II
RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE PRUEBA T DE STUDENT EN SPSS

	Diferencias emparejadas				Significación			
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia Inferior Superior	t	gl	P de un factor	P de dos factores
CI- TRATAMIENTO A	18.38	2.53	1.46	12.08 24.68	12.55	2	0.003	0.006
CI- TRATAMIENTO B	17.76	1.27	0.73	14.60 20.92	24.18	2	0.001	0.002

Nota: En la tabla 2 se evidencia que el P-valor para el tratamiento A con sustrato de paja de trigo es =0.006 y para el tratamiento B con sustrato de coronta de maíz =0.002, siendo los dos <0.05, se acepta la Hi: Es eficaz el uso del hongo *Pleurotus ostreatus* en sustratos de paja de *Triticum* y de coronta de *Zea mays* para biorremediar suelos contaminados con cadmio.

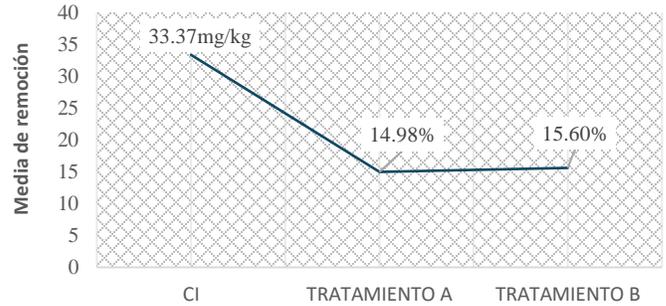


Fig. 2 Eficiencia del uso del hongo *Pleurotus ostreatus* en los dos tratamientos.

Nota: En la figura 2 se observa que el tratamiento A y B son eficaces ya que hubo una disminución de 14.98% y 15.60% respectivamente, en la concentración del metal cadmio en los suelos contaminados.

Concentración de cadmio en suelos contaminados antes de y después de la biorremediación, para compararlo con la norma N° 011-2017-MINAM.

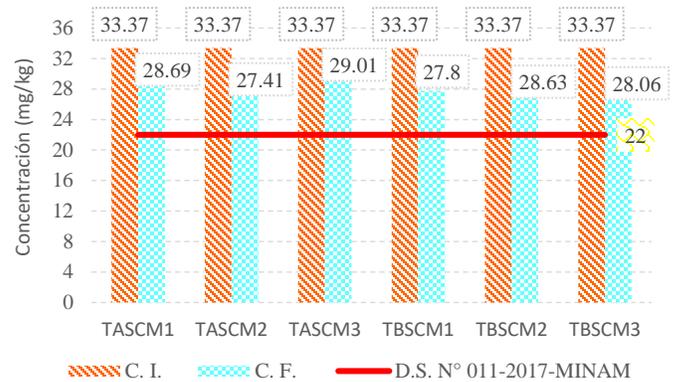


Fig. 3 Concentración y final de los tratamientos

La figura 3 muestra que la concentración inicial de cadmio para ambos tratamientos fue de 33.37 mg/kg y que las concentraciones finales para el tratamiento A (sustrato de paja de *Triticum*) fueron 28.69, 27.41, y 29.01 mg/kg). Para el tratamiento B (sustrato de Coronta de *Zea mays*), las concentraciones finales registradas fueron 27.8, 28.63, y 28.06 mg/kg. Además, se destaca la concentración límite de cadmio para suelos extractivos según la normativa ECA Suelos (D.S. N° 011-2017-MINAM), que es de 22 mg/kg

Evaluación de las características del suelo como tipo de suelo, pH y conductividad antes y después de la biorremediación.

Se observa en la figura 4 el valor de pH para todas las muestras y se infiere que hay una disminución significativa para cada repetición, siendo la disminución más alta el del Tratamiento B.

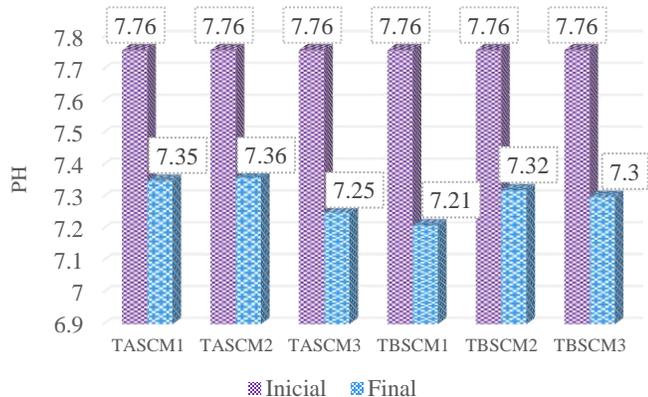


Fig. 4 Resultados del análisis inicial y final de pH del suelo contaminado con cadmio

La figura 5 muestra los valores de conductividad para todas las muestras analizadas, indicando una reducción en cada caso. Al comparar los resultados, se observa que hay una reducción de conductividad en cada muestra, el Tratamiento B presenta la mayor disminución.

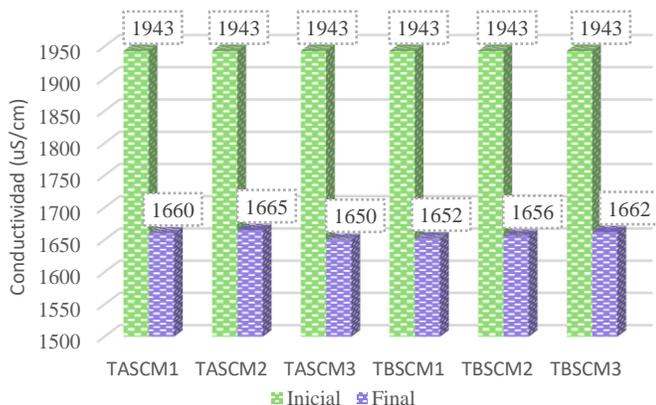


Fig. 5 Gráfico del resultado de análisis de conductividad antes y después del tratamiento

Control de características climáticas: humedad y temperatura, para un óptimo crecimiento de Pleurotus ostreatus.

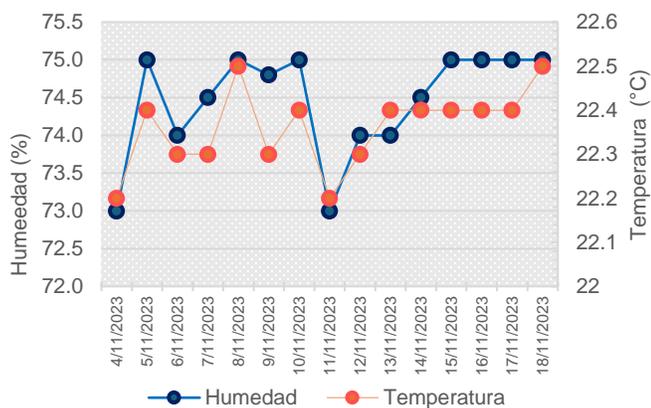


Fig. 6 Gráfico de monitoreo diario de humedad y temperatura edafoclimáticas

Nota: Las muestras sometidas a tratamientos fueron mantenidas en un recipiente cerrado, con humedad y temperatura controladas, durante un período de 15 días. Para medir y registrar estos datos se utilizó un termohigrómetro, que permitió garantizar la estabilidad de las condiciones ambientales a lo largo del experimento.

Influencia del tipo de sustrato (paja de Triticum o coronta de Zea mays) en la biorremediación de suelos contaminados con cadmio.

En la tabla 3 se muestra las medias de % de remoción para cada tratamiento, así como Normalidad, desviación estándar y media error estándar.

La media del tratamiento A (sustrato de paja de *Triticum*) es de 14.9833 y del tratamiento B (sustrato de coronta *Zea mays*) 15.6028, evidenciando que el segundo tratamiento muestra mayor % de reducción del metal cadmio.

TABLA III
RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE PRUEBA T DE STUDENT EN SPSS PARA RESULTADOS EMPAREJADOS

	MEDIA	N	DES.V. ESTÁNDAR	MEDIA DE ERROR ESTÁNDAR
CI	33.3700	3	0.00000	0.00000
TRATAMIENTO A	14.9833	3	2.53615	1.46424
CL	33.3700	3	0.00000	0.00000
TRATAMIENTO B	15.6028	3	1.27222	0.73452

IV. DISCUSIÓN

Se observa una diferencia significativa entre la concentraciones previas y posteriores al tratamiento: con el tratamiento A (sustrato de paja de *Triticum*) se logró reducir 4,68 mg/kg, verificando una remoción de 14.98%. En el estudio realizado por Castillo [20] que empleó *Pleurotus ostreatus* y paja de trigo durante un período de 20 días para reducir la concentración de cadmio en suelos contaminados, obtuvo una remoción del 32.50% y 31.95%: las concentraciones iniciales de cadmio fueron de 98.30 mg/kg, disminuyendo a 66.89 mg/kg para la primera concentración y de 138.45 mg/kg a 93.45 mg/kg para la segunda. Aunque el tiempo de tratamiento en nuestro estudio difiere, coincidimos en que el hongo *Pleurotus ostreatus* tiene un impacto positivo en la remoción de este metal pesado. En el caso del tratamiento B, utilizando coronta de *Zea mays* como sustrato, se logró una reducción de 5.21 mg/kg, representando un 15.60%. En un análisis realizado por Lemache [22] que evaluó la capacidad de eliminación de cadmio y plomo mediante sustratos de cacao y cebada, se observaron resultados significativos. La remoción de cadmio alcanzó un valor del 90.20% con el sustrato de cacao y del 89.20% con el de cebada; y para plomo, la reducción fue del 55% para el primer sustrato y del 44.5% para el segundo. Si bien, los sustratos empleados en nuestra investigación difieren, se corrobora la eficiencia del hongo *Pleurotus ostreatus* como agente eliminador de metales pesados, atribuyendo este alto rendimiento a la capacidad de las hifas de este hongo para adherir la mayor concentración de contaminantes presentes en suelos contaminados en su pared celular.

La concentración inicial de Cadmio en la muestra de suelo proveniente de Cerro de Pasco es de 33.37 mg/kg. Considerando que este suelo pertenece a la categoría comercial/industrial/extractiva, de acuerdo con el D.S. N° 011-2017-MINAM, el límite máximo permitido para este metal es de 22 mg/kg. Por lo tanto, se observa que esta muestra de suelo supera los estándares nacionales, lo cual se atribuye a la influencia de una actividad minera cercana al punto de muestreo. Después de 15 días, se evidencia que el hongo de pudrición blanca ha logrado reducir los niveles de cadmio, aunque no lo suficiente como para cumplir con los criterios establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelos.

En la evaluación inicial del pH, las seis muestras presentaron un valor de 7.76; después de someterlas al tratamiento con el hongo *Pleurotus ostreatus*, se observaron valores que fluctúan entre 7.21 y 7.36. Actualmente, no existe una normativa peruana que especifique los valores de pH para suelos de extracción. Sin embargo, el Decreto Supremo N° 005-2022-MIDAGR proporciona una referencia para tierras de capacidad de uso mayor, donde el pH de referencia varía de 4.5 a 7. De manera similar, no hay límites establecidos para la conductividad, pero se aprecia una disminución de los valores iniciales de 1946 uS/cm a valores que oscilan entre 1650 y 1665 uS/cm.

La humedad se mantuvo constante en el rango del 70 al 80% a lo largo de todo el periodo de tratamiento. Se registraron niveles de humedad del 73% en la primera semana y del 75% en la segunda semana. Este hecho contrasta con la investigación de García [24] que resalta la importancia de ciertos rasgos y parámetros de cultivo, incluida la humedad, ajustada a un nivel del 65%. En cuanto a la temperatura, las muestras se mantuvieron en condiciones ideales gracias al clima cálido del distrito de Breña, alcanzando una temperatura de 22.2°C en la primera semana y 22.5°C en la segunda semana. Esto difiere de la investigación de Zegarra [25] quien menciona condiciones ambientales para mantener el *Pleurotus ostreatus* en un rango de temperatura que va desde los 20 hasta los 26°C.

Si bien se determinó que el tratamiento B presentaba una diferencia mínima pero significativa en comparación con el tratamiento A, se observa que ambos sustratos desempeñan un papel crucial en el crecimiento óptimo del hongo *Pleurotus ostreatus*. Este hallazgo se alinea con la investigación de Molina y Espín [26] que sugiere que el sustrato actúa como una fuente nutritiva que promueve el desarrollo de los hongos de pudrición blanca.

Limitaciones

La limitación encontrada para el presente estudio se relaciona con la escasez de información específica sobre la producción del hongo *Pleurotus ostreatus* a nivel laboratorio, la mayoría de los datos disponibles se centran en la producción a gran escala, destinada a fines comerciales y alimenticios. Como resultado de esta limitación, dos de nuestros ensayos fueron contaminados por hongos presentes en el entorno. Además, no se encontraron tesis que abordaran la eficiencia del hongo *Pleurotus ostreatus* en sustratos de coronta de *Zea mays*.

Algunas limitaciones significativas al momento de la recolección de la muestra y experimentación fueron:

- La inoculación del hongo *Pleurotus ostreatus*, resultó en la contaminación del sustrato en dos ocasiones, lo que llevó a la eliminación de las muestras de estudio y la necesidad de reiniciar el proceso.
- Fue necesario realizar una limpieza meticulosa de los equipos durante la experimentación debido a la repetición del procedimiento en varias ocasiones.
- El monitoreo diario de los parámetros de temperatura y humedad fue esencial, ya que las condiciones edafoclimáticas debían mantenerse constantes para favorecer un crecimiento óptimo del hongo.

Implicaciones

La tesis planteada acerca de la micorremediación con el hongo *Pleurotus ostreatus* demuestra su eficiencia y la posibilidad de sustituir diversas metodologías que involucran el uso de productos químicos. Esta propuesta no solo ofrece una alternativa de remediación de suelos, sino que también contribuye a la preservación de la biodiversidad, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad a largo plazo. La investigación destinada a la remoción de cadmio en suelos contaminados no solo aborda las consecuencias presentes de la contaminación, sino que también sienta las bases para un entorno futuro más saludable y equilibrado para las generaciones venideras.

V. CONCLUSIONES

Basándonos en los resultados obtenidos, se examinó la capacidad del hongo *Pleurotus ostreatus* para reducir la concentración de cadmio en suelos contaminados mediante dos tipos de sustratos, además de concluir que el tratamiento B (coronta de *Zea mays*) demostró ser más efectivo, alcanzando un 15.60% de remoción, en comparación con el Tratamiento A (paja de *Triticum*), que logró una reducción del 14.98%.

La concentración inicial de Cadmio es de 33.37 mg/kg excediendo lo establecido por D.S. N° 011-2017-MINAM (22 mg/kg), al final del tratamiento la concentración si bien ha disminuido, esta aún no cumple con lo establecido por el ECA Suelos, concluimos que un periodo de tratamiento de 15 días es insuficiente.

Tanto las características como la temperatura y la humedad fueron monitoreadas y controladas para el óptimo crecimiento del hongo, utilizamos un termohigrómetro calibrado para mantener las muestras de tratamiento en condiciones adecuadas, facilitando así el crecimiento del hongo y su capacidad para absorber de manera efectiva el cadmio del suelo.

Los valores de pH y conductividad experimentaron una leve reducción; en el caso del pH, el Tratamiento B logró una disminución significativa a 7.27, en contraste con el Tratamiento A que registró un pH de 7.32. En cuanto a la conductividad, se observó una disminución en ambos tratamientos, pero no se detectaron diferencias significativas entre ellos.

El Tratamiento B (coronta de *Zea mays*) mostró una diferencia ligera pero significativa con respecto al Tratamiento A (paja de *Triticum*). No obstante, se llega a la conclusión de que los sustratos empleados son esenciales para el crecimiento óptimo del hongo de pudrición blanca, ya que proporcionan los nutrientes necesarios.

AGRADECIMIENTOS

A nuestra alma mater por ser la base de nuestra formación, a nuestra asesora por su guía y paciencia, a nuestros padres por su amor, apoyo y confianza incondicional, a nuestras hermanas y hermanos por estar siempre a nuestro lado, a Jorge y Carolina, gracias.

REFERENCIAS

- [1] A. Castro, L. Lince, y O. Riaño, “Determinación del riesgo a la erosión potencial hídrica en la zona cafetera del Quindío, Colombia”. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 8, no. 1, 2017, [En línea]. Disponible en: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/issue/view/180/80>
- [2] I. García y C. Dorronsoro, “Contaminación por metales pesados”, Tesis de Grado, Departamento de Edafología y Química Agrícola, Gradand, España, 2005. [En línea]. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/conta/tema00/progr.htm>
- [3] H. Burbano, “The soil and its relationship with ecosystem services and food security”, *Revista de ciencias agrícolas*, vol.33, n.2, pp.117-124, 2016. ISSN 0120-0135. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
- [4] A. Pérez, y N. Vásquez, “Influencia de la concentración de semilla inoculada con *Pleurotus ostreatus* en la absorción de metales pesados en suelos contaminados, Algamarca Cajamarca”, Tesis de grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú, 2018. [En línea]. Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/36075>
- [5] S. Silva y F. Correa, “Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica”. *Semestre Económico - Universidad de Medellín*, vol. 12, no. 23, pp 13-34, 2009. ISSN 0120-6346. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v12n23/v12n23a2.pdf>
- [6] Food and Agriculture Organization (FAO), “Alianza Global Soil Partnership”, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/globalsoilpartnership/resources/highlights/detail/es/c/1127957/>. (Consultado 2 Junio, 2023).
- [7] International Labour Organization, Social and Labour Issues in Small-Scale Mines, Geneva, 1999 [En línea]. Disponible en: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---sector/documents/meetingdocument/wcms_714371.pdf
- [8] E. Goñi, A. Sabogal y R. Asmat, “Minería informal aurífera en Colombia”, *Fedesarrollo*, 2014. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11445/368>
- [9] F. Macías, “Contaminación de suelos; hechos y perspectivas”. V Reunión Nacional de Geología Ambiental Ordenación del Territorio. 1993, pp. 53-74. [En línea]. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3263625>
- [10] R. Oyarzun, P. Higuera y J. Lillo, Minería ambiental: Una introducción a los impactos y su remediación, 1ra edición, Lima, Perú, 2011. [En línea]. Disponible en: https://eprints.ucm.es/id/eprint/14046/1/Libro_Mineria_MA.pdf
- [11] MINAM, “Salud y ambiente”, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/educacion/wpcontent/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-1.-Texto-de-consulta-M%3C%B3dulo-1-1.pdf>. (Consultado 17 Junio, 2023).
- [12] W. Díaz, “Estrategia de gestión integrada de suelos contaminados en el Perú”. *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas - UNMSM*, Vol. 19, no. 38, pp. 103 – 110, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/13575>
- [13] MINAM, “Diagnóstico Ambiental del Perú. Grupo de Trabajo Multisectorial”, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/diagnostico-ambiental-peru>. (Consultado 17 Junio, 2023).
- [14] M. Kapahi, & S. Sachdeva, “Mycoremediation potential of *Pleurotus* species for heavy metals: a review”, *Bioresources and Bioprocessing*, vol. 4, no. 32, 2017. [En línea]. Disponible en <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0162-8>
- [15] S. Kocaoba & M. Arisoy, “Biosorption of cadmium (II) and lead (II) from aqueous solutions using *Pleurotus ostreatus* immobilized on bentonite”, *Separation Science & Technology*, vol. 53, no. 11, 2018. [En línea]. Disponible en <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1442477>
- [16] C. Cervantes, A. E. Espino, F. Acevedo, I. L. León-Rodríguez, M. E. Rivera-Cano, M. Avila, & R. Moreno, “Interacciones microbianas con metales pesados”, *Revista latinoamericana de microbiología*, vol. 48, no. 2, pp. 203-210, abr – jun 2006. [En línea]. Disponible en <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=11476>
- [17] J. W. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, California: Sage Publications, 4th ed., 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_609332/objava_105202/fajlovi/Creswell.pdf
- [18] W. Rodríguez, “Guía de investigación científica”. Universidad de Ciencias y Humanidades, 1ra edición. Lima, Perú, Ed. Asociación Civil Universidad de Ciencias y Humanidades, 2011, cap. 5, pp. 138-141 [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uch.edu.pe/handle/20.500.12872/23>
- [19] P. Wood y J. Smith, “Investigar en educación. Conceptos básicos y metodología para desarrollar proyectos de Investigación”. *Revista Interuniversitaria*, vol. 32, no. 1, pp. 153 – 154, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=27454937015>
- [20] S. Castillo, “Evaluación del efecto de la combinación de la paja de trigo e inóculos de *Pleurotus ostreatus* en la biosorción de cadmio en suelos”, Tesis de grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú, 2019. [En línea]. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/50960>
- [21] A. Guanilo y L. Silva, “Remediación mediante *Pleurotus ostreatus* y *Trametes versicolor* en suelos contaminados por Metamidofos y Cadmio en la zona de Ninabamba-Cajamarca 2019”, Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú, 2019. [En línea]. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/36355>
- [22] E. Lemache, “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, Facultad de ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, 2017. [En línea]. Disponible en <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/8540>
- [23] V. Villota, “Eficiencia de los hongos *Pleurotus ostreatus* Y *Aspergillus niger* en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados”. Tesis de maestría, Facultad de Investigación y posgrado, Universidad Estatal de Milagro, Milagro, Ecuador, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/6074/3/VILLOTA%20GARCIA%20VERONICA%20PAOLA.pdf>
- [24] J. Garcia “Efecto de la proporción de viruta de *Pinus Sylvestris L.*, viruta de *Eucalyptus Globulus L.* y coronta de *Zea Mays*, en la formulación de sustratos, sobre la capacidad productiva de *Pleurotus Ostreatus*”. Tesis de grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/8982>
- [25] R. Zegarra, “Capacidad del hongo *Pleurotus Ostreatus* para la biorremediación de suelos contaminados por Plomo (Pb) en el laboratorio – 2017”, Tesis de grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú, 2017. [En línea]. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/17493>
- [26] C. Molina y N. Espín “Obtención de Extractos Enzimáticos con Actividad Ligninolítica y Celulolítica a partir del Crecimiento del Hongo *Lentinusedodesen* Aserrín Tropical”. *Revista Politécnica*, vol. 33, no. 1, 2014. [En línea]. Disponible en: https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/120