

Artículo de Investigación

# *Pleurotus ostreatus*, agente mineralizador y desintoxicante de residuos lignocelulósicos de colillas de cigarro

## *Pleurotus ostreatus*, mineralizing and detoxifying agent for lignocellulosic waste from cigarette butts

**Verónica Isela Vera-Marmanillo**<sup>1</sup>: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú.

[veronika.vera@unsaac.edu.pe](mailto:veronika.vera@unsaac.edu.pe)

**Renzo Rodrigo Quiñones Loayza**: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú.

[232791@unsaac.edu.pe](mailto:232791@unsaac.edu.pe)

**Adriana Zegarra Tupayachi**: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú.

[adriana.zegarra@unsaac.edu.pe](mailto:adriana.zegarra@unsaac.edu.pe)

**Fecha de Recepción:** 27/05/2024

**Fecha de Aceptación:** 27/07/2024

**Fecha de Publicación:** 10/09/2024

### Cómo citar el artículo:

Vera-Marmanillo, V. I., Quiñones Loayza, R. R. y Zegarra Tupayachi, A. (2024). *Pleurotus ostreatus*, agente mineralizador y desintoxicante de residuos lignocelulósicos de colillas de cigarro [Pleurotus ostreatus, mineralizing and detoxifying agent for lignocellulosic waste from cigarette butts]. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1-18. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-817>

---

<sup>1</sup>**Autor Correspondiente:** Verónica Isela Vera-Marmanillo. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú.

**Resumen:**

**Introducción:** En el marco de la economía circular, la valorización de residuos sólidos no aprovechables y potencialmente tóxicos, mediante la biotecnología, es indispensable. **Objetivo:** Determinar la efectividad en la mineralización y desintoxicación de las colillas de cigarro utilizando *Pleurotus ostreatus* para lograr un sustrato compostable, libre de sustancias contaminantes para el ambiente. **Metodología:** Se utilizó un hongo basidiomiceto comestible de amplia distribución y adaptación (*Pleurotus ostreatus*) capaz de desarrollarse en medios hostiles. Se inoculó micelios del hongo sobre el sustrato de colillas de cigarro en una relación de 2:1, considerando parámetros ambientales de T° y HR% controlados, siendo las más efectivas de 20°C y 75%. **Resultados:** El desarrollo de micelios se observó durante 75 días, donde el hongo llegó a su máximo crecimiento formando carpóforos bien desarrollados. Las evaluaciones realizadas fueron por SEM y EDS, antes y después de cada tratamiento, la primera evaluación a los 35 días evidenció una colonización absoluta del sustrato. Los elementos con mayor mineralización fueron: Cloro y Azufre. A los 75 días, Titanio, Silicio, Cloro, Azufre y Aluminio. **Discusión:** Los parámetros ambientales controlados son trascendentales para el desarrollo del basidiomiceto y la fuente de carbono disponible, el mayor factor de crecimiento. **Conclusiones:** Fueron evaluados cuerpos fructíferos para evidenciar bioacumulación de elementos químicos, resultando; Silicio, Aluminio, Azufre casi indetectables, Cloro no detectado.

**Palabras clave:** economía circular; basidiomiceto; bioacumulación; mineralización; desintoxicación; colillas de cigarro; SEM; EDS.

**Abstract:**

**Introduction:** Within the framework of the circular economy, the recovery of unusable and potentially toxic solid waste, through biotechnology, is essential. **Objective:** Determine the effectiveness in the mineralization and detoxification of cigarette butts using *Pleurotus ostreatus* to achieve a compostable substrate, free of substances contaminating the environment. **Methodology:** A widely distributed and adapted edible basidiomycete fungus (*Pleurotus ostreatus*) capable of developing in hostile environments was used. Mycelia of the fungus were inoculated on the substrate of cigarette butts in a ratio of 2:1, considering controlled environmental parameters of T° and RH%, the most effective being 20°C and 75%. **Results:** The development of mycelia was observed for 75 days, where the fungus reached its maximum growth, forming well-developed carpophores. The evaluations carried out were by SEM and EDS, before and after each treatment, the first evaluation after 35 days showed absolute colonization of the substrate. The elements with the highest mineralization were Chlorine and Sulfur. At 75 days, Titanium, Silicon, Chlorine, Sulfur and Aluminum. **Discussion:** Controlled environmental parameters are essential for the development of the basidiomycete and the available carbon source, the greatest growth factor. **Conclusions:** Fruiting bodies were evaluated to show bioaccumulation of chemical elements, resulting in; Silicon, Aluminum, Sulfur almost undetectable, Chlorine not detected.

**Keywords:** Circular economy; basidiomycete; bioaccumulation; mineralization; detoxification; cigarette butts; SEM; EDS.

## 1. Introducción

Valorizar un residuo sólido es el pilar de una economía circular, pero valorizar un residuo sólido no aprovechable es un reto que nos lleva a plantear estrategias de manejo a través de la biotecnología. Según Granda (2016) a medida que el cambio climático se va convirtiendo en el más grande desafío mundial, es de rigor el reciclaje y valorización de residuos; es por este motivo, que se ha considerado una necesidad la gestión transversal de residuos de las colillas

de cigarrillo presentes en el ambiente, siendo necesario un manejo específico. Las colillas de cigarro representan un elevado riesgo toxicológico para el ambiente y para quienes lo constituyen, desde su composición y el sinnúmero de sustancias químicas retenidas en el filtro y parte del tabaco al entrar en combustión, las pone en evidencia. Durante este proceso son generadas alrededor de 400 compuestos o conjugados de ellos, siendo por lo menos, 50 carcinogénicos, entre los que se describen al cianuro de hidrógeno, nitratos, amonio, acetaldehído, formaldehído, benceno, fenoles, piridinas y monóxido de carbono. Del mismo modo, se ha determinado la presencia de metales y metaloides como el cadmio, arsénico, plomo y níquel, los cuales tienden a bioacumularse y junto con el alquitrán y la nicotina, causan graves impactos sobre el ambiente. (Peña, 2017). La gran parte de las colillas de cigarrillo se arrojan en el medio ambiente y son transportadas por la lluvia, el viento y las corrientes marinas a las zonas costeras; por consiguiente, las colillas son el elemento más recolectado durante la limpieza de playas (Araújo y Costa *et al.*, 2019, Novotny *et al.*, 2009) y en las playas de algunas áreas del mediterráneo pueden representar hasta el 40% de la basura marina (Medaura *et al.*, 2013). Entre los residuos sólidos generados en las ciudades aproximadamente el 40% de estos corresponde a materiales celulósicos o lignocelulósicos que en su mayoría no reciben ningún tratamiento, como los filtros de cigarro y pañales desechables (Lizano, 2010). La biotecnología teniendo un enfoque de sistemas biológicos y organismos vivos como la micorremediación con hongos es una alternativa que posee un gran potencial de tratamiento de residuos lignocelulósicos de colillas de cigarro. La biotecnología requiere menores costos de inversión en comparación de los métodos que se vienen utilizando como son la extracción de solvente o la incineración (Peña, 2017). En consecuencia, el aprovechamiento de los hongos para la degradación de los compuestos tóxicos de las colillas de cigarro puede resultar para minimizar la toxicidad con un método natural, tal igual como lo hace la naturaleza (Delfín-Alcalá, 2003). La celulosa es uno de los componentes más abundantes de la biomasa vegetal y se conforma por cadenas poliméricas que, al ser hidrolizadas, liberan unidades de glucosa conjugada. Estos, asociados con fibras celulósicas y hemicelulósicas, forman polímeros de azúcares distintos de la glucosa ( $C_6H_{12}O_6$ ), como la xilosa ( $C_5H_{10}O_5$ ), y la manosa (Pavlik, 2013). La hidrólisis de la celulosa y la hemicelulosa depende de la estructura de la que forman parte (Higuchi, 2006), los monómeros que las componen y el tipo de enlace entre ellos (Harms y Schlosser, 2011; Iwamoto y Masao, 2001). La descomposición de la celulosa y sus compuestos asociados ocurre en la naturaleza a través de la hidrólisis catalizada por enzimas como las celulasas, así como varios complejos enzimáticos no asociados (Wolter, 1997) que también se pueden encontrar en actinomicetos, bacterias, hongos filamentosos y macromycetos (Ramos, 2019). Estos últimos teniendo un papel importante en las redes tróficas, así como en los diferentes ciclos biogeoquímicos y en la distribución de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos al ambiente, por lo que han sido considerados una fuente importante para la biorremediación, además de ser especies clave para el medio ambiente (Romero *et al.*, 2010; Ruiz, 2019). Updyke en el 2014, sostiene que el hongo *Pleurotus ostreatus*, tiene la virtud de poder absorber distintos metales pesados, la capacidad de degradar polímeros sintéticos parecidos al acetato de celulosa; en ese sentido, estos hongos podrían asimilar distintas sustancias tóxicas presentes en las colillas de cigarro para luego ser almacenados en su estructura de su cuerpo. *Pleurotus ostreatus* tiene la capacidad de biodegradar hidrocarburos aromáticos poniendo en evidencia la degradación de benzoantraceno, pireno y benzopireno. (Wolter *et al.*, 1997). Golian y colaboradores el 2022, observaron sinergismo de Se y Ni, Se y Co y Se y Hg, Pb y Cd, cepas con propiedades hiperacumulativas para un metal en particular y su posterior uso en la adición de cuerpos fructíferos fortificados. Con base en el estudio, es posible seleccionar cepas menos sensibles a la acumulación de metales peligrosos para la producción a gran escala, lo cual es importante desde la perspectiva de la seguridad alimentaria.

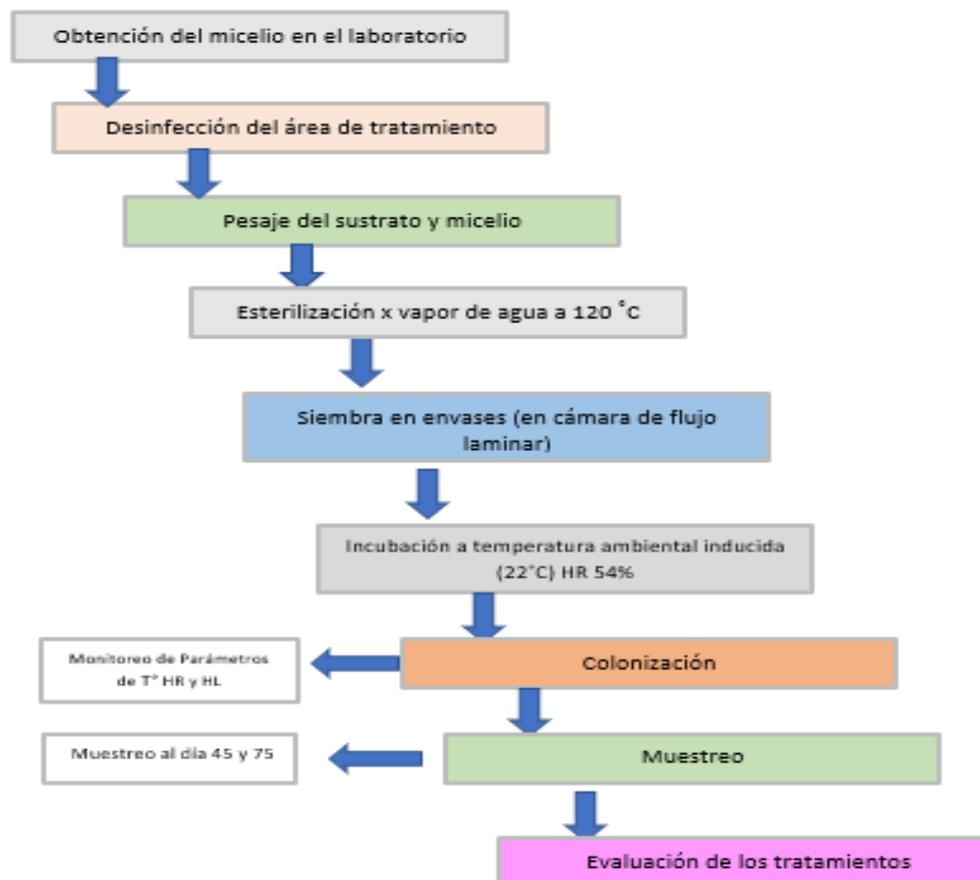
El objetivo de la investigación fue determinar la efectividad mineralizante de *Pleurotus ostreatus* implementando un protocolo propio en base a las características descritas de la especie (Aguilar *et al.*, 2019; Herrera, 2015) para garantizar su desarrollo y proliferación en el tratamiento de residuos lignocelulósicos de colillas y consecuente mineralización de sustancias tóxicas (Rigas *et al.*, 2005; León-Avendaño, 2013). Además, se intentan establecer las condiciones de humedad relativa (HR), temperatura (T) y horas de luz (HL) específicas para el desarrollo de *Pleurotus ostreatus*, verificando la desintoxicación de fibras de celulosa y hemicelulosa de los residuos degradados de las colillas de cigarrillos por este basidiomyceto.

## 2. Metodología

El estudio realizado corresponde a un tipo de investigación descriptiva de alcance cuantitativo y método observacional. La población estuvo conformada por 2500 colillas de cigarro, recolectadas en zonas aledañas a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco - UNSAAC, ubicada en el distrito y provincia de Cusco, donde se realizó el proceso de evaluación. Las colillas recolectadas sirvieron de sustrato lignocelulósico sometido a biodegradación. La muestra estuvo conformada por 5 grupos de colillas de cigarro en etapa mineralización y tratamiento, 2 de ellos extraídos de cada cámara de crianza y 1 testigo control sin tratamiento, los 5 grupos de colillas fueron evaluadas en dos fases, la primera a los 45 días y la segunda a los 75 días de tratamiento, en el que estuvieron expuestos a los micelios de *Pleurotus ostreatus*. Para el establecimiento las condiciones de Humedad Relativa (HR), Temperatura y Horas Luz (HL) específicas para el desarrollo de *Pleurotus ostreatus* en el tratamiento de residuos lignocelulósicos de colillas de cigarro se usaron termohigrómetros calibrados marca Deltatrak modelo 13307, con registro de lecturas máximas y mínimas, con resolución de 1% de HR y 0.1 °C, aguja de termistor externo IP67 con cable de extensión y película de capacitancia electrónica. El rango de humedad de 20%-90%. Las horas luz, fueron controladas en las cámaras de crianza de acuerdo con criterio monitor. Para la evaluación del crecimiento y desarrollo de micelios de *Pleurotus ostreatus* en los sustratos de colillas de cigarro se implementó una cámara de crianza del organismo lignocelulósico sobre el sustrato acondicionado a tratar registrando las ocurrencias del desarrollo en una bitácora de recolección de información en 2 fases, a los 45 y 75 días (Figura 1) y para la verificación de la mineralización de las fibras de celulosa del residuo biodegradado de colillas de cigarro por *Pleurotus ostreatus* y la bioacumulación a nivel de carpóforos se utilizaron las técnicas de Scanning Electron Microscope SEM de Energy dispersive spectroscopy EDS.

**Figura 1.**

*Diagrama de Flujo de la metodología del proceso para el tratamiento de residuos de colillas de cigarro*



**Fuente:** Elaboración propia (2024)

### 3. Resultados

Los resultados de investigación fueron evaluados en 2 fases, la primera fase a los 45 días de implementación del sustrato a mineralizar y la segunda fase a los 75 días.

#### 3.1. Resultados Fase I

El monitoreo sistemático de las condiciones ambientales de HR, T° y HL durante los 45 días, que duró la primera fase de evaluación donde las colillas de cigarro como residuos potencialmente tóxicos, fueron ofrecidos como sustrato a los micelios de *Pleurotus ostreatus* con la finalidad de evaluar las condiciones idóneas para el crecimiento y desarrollo de los micelios hasta la verificación del desarrollo de los primordios en las muestras elegidas aleatoriamente. En las muestras 1 y 2 se acondicionaron los sustratos de acuerdo con el plan de datos y por referencia bibliográfica, poniendo en contacto con los micelios de *Pleurotus ostreatus* a una relación de 2:1 (por cada 60 g de sustrato acondicionado, 120g de micelio) teniendo como resultados un promedio inducido de condiciones de T° de 22.17 °C y una HR de 52.46% para *P. ostreatus*.

### 3.1.1. Crecimiento y proliferación de micelios

Se evaluó el crecimiento y la proliferación de micelios de *Pleurotus ostreatus* en el sustrato de colillas de cigarro como agentes mineralizadores de la fibra de acetato de celulosa logrando una proliferación del 100%, adaptando el medio a condiciones ambientales inducidas en las cámaras de crianza.

**Tabla 1.**

*Análisis EDS (Energy dispersive spectroscopy) de la fibra de acetato de celulosa de colillas de cigarro sin tratamiento.*

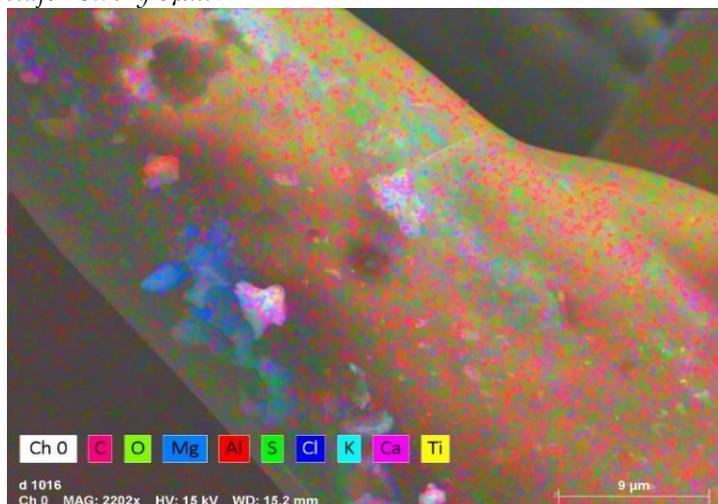
Element	At. No.	Netto	Mass Norm(%)	Atom (%)
Carbono	6	252642	0	0
Oxígeno	8	34759	76.39	89.21
Magnesio	12	2574	3.45	1.46
Aluminio	13	1506	2.75	0.65
Azufre	16	2077	2.81	0.80
Cloro	17	4210	3.43	1.62
Potasio	19	8391	7.26	3.61
Calcio	20	3970	3.26	2.11
Titanio	22	839	0.65	0.54
		<b>Sum</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

**Fuente:** Elaboración propia (2024).

Se realizó la evaluación EDS del espectro de elementos químicos presentes sin mineralizar de la muestra del sustrato de colillas de cigarro, siendo los identificados O: 89,21%, Mg: 1,46%, Al: 0,65% S: 0,80% K: 3,61%, Cl: 1,62% Ca: 2,11% y Ti: 0,54%, (Tabla 1) de acuerdo con el porcentaje atómico descrito en la fibra analizada con el espectrómetro de energía dispersiva marca BRUKER modelo XFlash 6160. La evidencia de la presencia de estos elementos pone en manifiesto un factor de toxicidad de alto riesgo (Figura 2).

**Figura 2.**

*Espectro de los elementos químicos analizados de la fibra de acetato de celulosa de colillas de cigarro sin tratamiento a alto voltaje 15kV y 9µm*



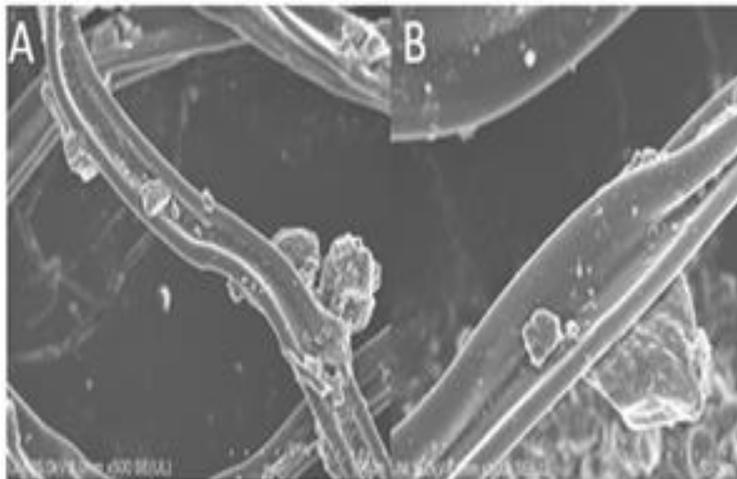
**Fuente:** Center for the Development of Advanced Materials and Nanotechnology – UNI

### 3.2. Mineralización de las fibras de celulosa. Fase I

La mineralización de las fibras de celulosa del sustrato biodegradado de colillas de cigarro por *Pleurotus ostreatus* observadas por Scanning Electrón Microscopy (SEM), se evidencian en las imágenes obtenidas con el equipo de marca Hitachi modelo SU8230 del laboratorio del *Center for the Development of Advanced Materials and Nanotechnology* – UNI. Las fibras de las muestras tratadas a alto voltaje (15.0 KV) y una magnificación de 50 y 100 $\mu$ m (Figura 3).

#### Figura 3.

Fibras de colillas de cigarro con tratamiento mineralizante con *Pleurotus ostreatus* (micelio rodeando las fibras) a los 45 días. A: 100  $\mu$ m-15kV B:50  $\mu$ m-15kV



**Fuente:** Center for the Development of Advanced Materials and Nanotechnology – UNI

Tras la evaluación a los 45 días, la muestra tratada con la *Pleurotus ostreatus*, describe a los elementos con relación a su porcentaje atómico en incremento o decremento del elemento analizado en la primera fase, por ejemplo, el oxígeno tuvo un incremento atómico porcentual de 89,21% a 97,21%, y el Ti un ligero incremento de 0,54% a 0,99%, el K tuvo un decremento de 3,61% a 1,01%, así como el S de 0,80% a 0,36%. La ocurrencia más significativa es la no evidencia de elementos como el Al, Ca, Mg, Cl. La mineralización de estos elementos, en contacto con el complejo enzimático de las celulasas de *Pleurotus ostreatus*, disminuyen su factor de toxicidad, debido a que las propiedades químicas estables de los elementos son potencializadas.

### 3.3. Resultados Fase II

El monitoreo sistemático de las condiciones ambientales de HR, T° y HL durante los 75 días posteriores a la implementación experimental, tiempo que duró la segunda fase de evaluación, donde los micelios de *Pleurotus ostreatus*, ya habían colonizado el 100% del sustrato y se veía el desarrollo de primordios y carpóforos (Figura 4) se continuó con la evaluación de las condiciones idóneas para el crecimiento y desarrollo de los primordios hasta la lograr el desarrollo de los cuerpos fructíferos.

**Figura 4.**

*Proliferación en sustrato, desarrollo de carpóforos y cuerpos fructíferos de P. ostreatus*



**Fuente:** Elaboración propia (2024)

### 3.4. Mineralización de las fibras de celulosa. Fase II

Tras la evaluación a los 75 días, la muestra tratada con la *Pleurotus ostreatus*, describe a los elementos con relación a su porcentaje atómico en incremento o decremento del elemento analizado en la segunda fase, por ejemplo, el oxígeno tuvo un ligero decremento atómico porcentual de 89,21% a 81,08%, el Mg tuvo un incremento de 1,46% a 2,68%, el S de 0,80% a 1,24%, el Ca de 2,11% a 4,04%. La ocurrencia más significativa es la no evidencia de elementos como el Al, Cl y el Ti (Tabla 2). La mineralización de estos elementos, en contacto con el complejo enzimático de las celulasas de *Pleurotus ostreatus*, disminuyen su factor de toxicidad, debido a que las propiedades químicas estables de los elementos son potencializadas.

**Tabla 2.**

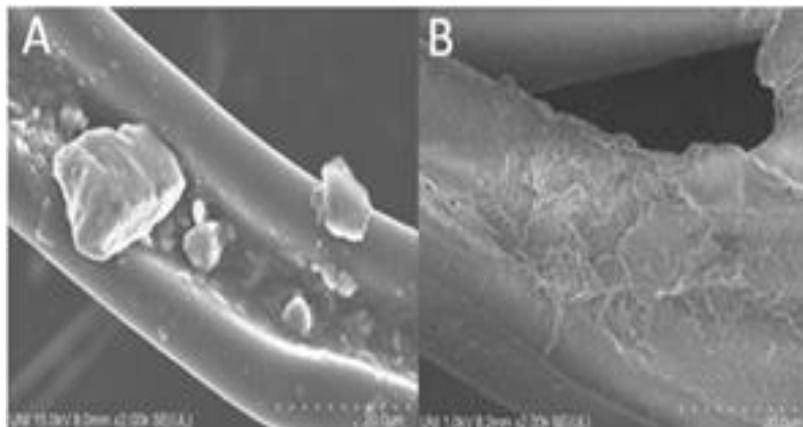
*Análisis EDS (Energy dispersive spectroscopy) de la fibra de acetato de celulosa de colillas de cigarro mineralizados por Pleurotus ostreatus – Fase I y Fase II*

Element	Mass (%) Fase I	Atom (%) Fase I	Mass (%) Fase II	Atom (%) Fase II
Carbono	0	0	0	0
Oxígeno	93.29	97.21	29.07	81.08
Potasio	2.37	1.01	4.96	5.66
Titanio	2.85	0.99	0	0
Azufre	0.7	0.36	0.89	1.24
Fosforo	0.79	0.43	2.69	3.88
Magnesio	0	0	1.46	2.68
Calcio	0	0	3.63	4.04
<b>Sum</b>		100		100

**Fuente:** Elaboración propia (2024).

**Figura 5.**

Fibra de acetato de celulosa mineralizada por *Pleurotus ostreatus* a los 75 días. Segunda fase. Espectro 2. A: 20  $\mu\text{m}$ -15kV B: 5  $\mu\text{m}$ -1.0kV (bajo voltaje)



**Fuente:** Center for the Development of Advanced Materials and Nanotechnology - UNI

### 3.5. Análisis de bioacumulación a nivel de carpóforos en *Pleurotus ostreatus*

Sin lugar a duda, uno de los resultados más promisorios fueron los evidenciados en los análisis por SEM y EDS de los cuerpos fructíferos de *Pleurotus ostreatus* con el fin de demostrar un factor de bioconcentración o bioacumulación tras el proceso de mineralización y desintoxicación de los residuos lignocelulósicos de colillas de cigarro (Fig. 5).

**Tabla 3.**

Espectrometría de los elementos químicos bioconcentrados a nivel de carpóforos de *Pleurotus ostratus*

Element	At. No.	Mass (%)	Atom (%)
Oxigeno	8	43,7	38,1
Carbono	6	51,6	59,9
Magnesio	12	0,1	0,1
Fósforo	15	1,4	0,6
Azufre	16	0,5	0,2
Potasio	19	2,6	5,66
Aluminio	13	0,2	0,9
		100.00	100.00

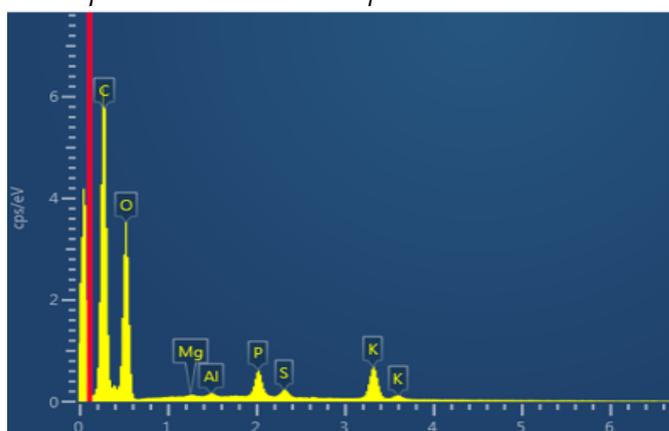
**Fuente:** Elaboración propia (2024).

Después de evaluar la presencia de los elementos químicos a nivel de carpóforos de *Pleurotus ostreatus* tras 75 días de crecimiento, se pudo evidenciar que, elementos como el aluminio estaba presente en un 0.9%, el azufre en 0.2% el magnesio en 0.1% y un incremento porcentual atómico del potasio en un 5.66% (Tabla 3). Esto pone en manifiesto que no hay evidencia de un factor de bioacumulación o bioconcentración en la estructura comestible del hongo basidiomiceto *Pleurotus ostreatus* y evidencia que realmente hubo una evidente biodegradación de los elementos potencialmente tóxicos, lo que nos revela un hallazgo científico de gran relevancia.

Habiendo demostrado una óptima mineralización del sustrato lignocelulósico de colillas de cigarro, se pudo rescatar una fibra de celulosa libre olores iridiscentes, de elementos potencialmente tóxicos y altamente contaminantes. (Figura 6)

**Figura 6.**

*Espectrometría de los elementos químicos mineralizados por Pleurotus ostreatus a nivel de carpóforos*



**Fuente:** Center for the Development of Advanced Materials and Nanotechnology – UNI

### 3.6. Principales elementos mineralizados

#### 3.6.1. Ion Aluminio

**Tabla 4.**

*Promedio del Porcentaje de mineralización del Al*

Cepas	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
PO 45	2	11.80	9.77	(6.41; 18.33)
PO 75	3	5.03	2.11	(0.51; 9.51)
Sin Tratamiento	2	0.5940	0.0778	(-4.8167; 6.1079)

**Fuente:** Elaboración propia (2024).

El intervalo de confianza IC al 95% demuestra que el porcentaje promedio de mineralización sobre la presencia de Al con *Pleurotus ostreatus* a 45 días, oscila entre -6,41% y 18,33%, con *Pleurotus ostreatus* a 75 días oscila entre 0,51% y 9,51% y sin tratamiento el porcentaje promedio de mineralización sobre la presencia de Al oscila entre -4,81% a 6,107% (Tabla 4).

**Tabla 5.**

*Prueba de Tukey para la homogeneidad del porcentaje de mineralización promedio del Al*

Cepas	N	Media	Agrupación
PO 45	2	11.82	A
PO 75	3	5.01	A
Sin Tratamiento	2	0.5950	A

**Fuente:** Elaboración propia (2024).

Todos los tratamientos muestran un porcentaje alto de mineralización, siendo primero *P. ostreatus* a 45 días y segundo *P. ostreatus* a 75 días (Tabla 5) donde se pone en manifiesto el porcentaje de efectividad sobre la presencia de Al en el tratamiento de residuos lignocelulósicos de colillas de cigarro.

### 3.6.2. Ion Azufre

**Tabla 6.**

*Promedio del Porcentaje de mineralización del S*

Cepas	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
PO 45	2	2.28	1.50	(1,03; 3,61)
PO 75	3	0.280	0.226	(-0,811; 1,381)
Sin Tratamiento	2	1.275	0.672	(0,059; 2,501)

**Fuente:** Elaboración propia (2024).

El intervalo de confianza IC al 95% demuestra que el porcentaje promedio de mineralización sobre la presencia de S con *Pleurotus ostreatus* a 45 días, oscila entre 1,03% y 3,61%, con *Pleurotus ostreatus* a 75 días oscila entre -0,811% y 1,381% y sin tratamiento el porcentaje promedio de mineralización sobre la presencia de S oscila entre 0,059% a 2,501% (Tabla 6).

**Tabla 7.**

*Prueba de Tukey para la homogeneidad del porcentaje de mineralización promedio del S*

Cepas	N	Media	Agrupación
PO 45	2	2.18	A
Sin Tratamiento	2	1.285	A
PO 75	3	0.270	A

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Fuente:** Elaboración propia (2024).

Para la prueba de Tukey, se concluye la formación de un grupo homogéneo de la efectividad de la aplicación de *Pleurotus ostreatus* sobre la mineralización de S en el tratamiento de residuos lignocelulósicos de colillas de cigarro. Todos los tratamientos muestran un porcentaje alto de mineralización, siendo primero *Pleurotus ostreatus* a 45 días y *Pleurotus ostreatus* a los 75 días, donde se pone en manifiesto el porcentaje de efectividad sobre la presencia de S en el tratamiento de residuos lignocelulósicos de colillas de cigarro (Tabla 7).

### 3.6.3. Ion Cloro

**Tabla 8.**

*Promedio del Porcentaje de mineralización del Cl*

Cepas	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
PO 45	2	0.610	0.537	(-0.924; 2.164)
PO 75	3	2.570	1.143	(1.349; 3.841)
Sin Tratamiento	2	2.530	1.287	(0.976; 4.084)

**Fuente:** Elaboración propia (2024).

El intervalo de confianza IC al 95% demuestra que el porcentaje promedio de mineralización sobre la presencia de Cl con *Pleurotus ostreatus* a 45 días, oscila entre -0,924% y 2,164 y a los 75 días 1,349% y 3,841% y sin tratamiento el porcentaje promedio de mineralización sobre la presencia de Cl oscila entre 0,976% a 4,084% (Tabla 8).

**Tabla 9.**

*Prueba de Tukey para la homogeneidad del porcentaje de mineralización promedio del Cl*

Cepas	N	Media	Agrupación
PO 75	3	2.470	A
Sin Tratamiento	2	2.450	A
PO 45	2	0.630	A

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

**Fuente:** Elaboración propia (2024).

Para la prueba de Tukey, se concluye la formación de un grupo homogéneo de la efectividad de la aplicación de *Pleurotus ostreatus* sobre la mineralización de Cl en el tratamiento de residuos lignocelulósicos de colillas de cigarro. Todos los tratamientos muestran un porcentaje alto de mineralización, siendo primero *Pleurotus ostreatus* a 75 días y segundo *Pleurotus ostreatus* a los 45 días, donde se pone en manifiesto el porcentaje de efectividad sobre la presencia de Cl en el tratamiento de residuos lignocelulósicos de colillas de cigarro (Tabla 9).

Si bien la fibra rescatada es altamente porosa y de no muy buena calidad por estar desnaturalizada, es un insumo más que eficiente para elaborar macetas biodegradables del residuo mineralizado por *Pleurotus ostreatus* material compostable fuente de nutrientes para devolverle la fertilidad al suelo.

## 4. Discusión

Se determinó la efectividad mineralizadora y desintoxicante de *Pleurotus ostreatus* en el tratamiento de residuos lignocelulósicos de colillas de cigarro, cuya evidencia se dio por imágenes SEM poniendo en manifiesto la mineralización, desintoxicación y actividad catalítica del complejo enzimático de las celulasas del basidiomiceto en las 2 fases de evaluación a los 45 días y 75 días de actividad biológica respectivamente. Caro et al, en el 2023 señala la importancia de implementar condiciones ambientales ideales. Las condiciones de HR, T° y HL específicas para el crecimiento y desarrollo de *Pleurotus ostreatus* teniendo como resultados el establecimiento de condiciones de T° promedio de 22.17 °C y una HR promedio de 52.46%. Fue evaluado el crecimiento y proliferación de micelios de *Pleurotus ostreatus* en los sustratos de colillas de cigarro de manera sistemática cada 3 días, observando una colonización al 100%, es una especie muy adaptable a medios hostiles e injuriosos, demostrando su efectividad como organismo mineralizador acetato de celulosa. Updyke en el 2014, pone en manifiesto la posibilidad de aplicar diversas especies del hongo, considerando *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus citrinopileatus* y *Pleurotus djamor*, así como Benitez en el 2012, investigó la capacidad de los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Trametes versicolor* para degradar contaminantes presentes en este residuo. La mineralización de las fibras de celulosa por SEM y EDS del residuo lignocelulósico por *Pleurotus ostreatus* como agente mineralizante en el tratamiento de residuos de colillas de cigarro, fue total y minuciosamente verificada, siendo *Pleurotus ostreatus* más eficiente en la mineralización y desintoxicación del acetato de celulosa a los 45 días. Delfín- Alcalá en el 2003, en su trabajo de investigación, Biodegradación de residuos urbanos lignocelulósicos, utilizó como sustrato de proliferación, pañales descartables, justificando la necesidad de dar un tratamiento adecuado a este tipo de residuos, llegando a la conclusión que el medio no acondicionado y potencialmente patogénico juega un papel muy importante en la proliferación miceliar, ya que el hongo en esta etapa, compite por la fuente de carbono con otros organismos. A diferencia de las colillas de cigarro, que pueden someterse previamente a un tratamiento de higienización con vapor de agua, en contraposición a lo manifestado, ya este tipo de residuos constituyen un foco potencialmente patogénico, encareciendo los procesos y costos de tratamiento. Tratar las colillas de cigarro, por micorremediación, constituye una alternativa low cost. En futuras investigaciones se sugiere incluir parámetros fisicoquímicos como pH y electroconductividad para poner en evidencia de la misma manera la presencia de minerales antes y después del proceso, dando más aristas en la interpretación de los resultados. La respuesta a la no bioacumulación de elementos tóxicos a nivel de tejido de *Pleurotus ostreatus* analizado en los carpóforos, abre las puertas de una alternativa de tratamiento, sin embargo, es indispensable realizar estudios con relación al factor de concentración en tejidos aéreos a mediano y largo plazo. Golian y colaboradores, en el 2022, ponen en manifiesto la capacidad del hongo ostra de bioacumular metales a nivel de cuerpos fructíferos, si bien evidenciamos en la investigación que los metales no eran perceptibles, no significa que no estén presentes, confirmando la dependencia de la absorción de metales dependiendo de la fortificación del sustrato, esto motiva a seguir indagando con la mineralización de los metales potencialmente tóxicos. Es de rigor identificar plenamente el complejo de las celulasas para evidenciar la actividad de éstas sobre este tipo de residuos, porque la actividad mineralizadora y desintoxicante se debe principalmente a este complejo. Una gran fortaleza en esta investigación fue analizar la capacidad de *Pleurotus ostreatus* de distribuirse globalmente - en diferentes latitudes - haciendo posible que la metodología sea implementada a toda escala y una limitante, que una inadecuada manipulación podría facilitar una contaminación cruzada del sustrato a tratar con otros organismos oportunistas (bacterias u otros hongos ambientales), que limiten el normal desarrollo del basidiomiceto a nivel miceliar. Con esta investigación se marca un hito en la economía circular, generando procesos sostenibles y de gestión integral de residuos sólidos. Así mismo, se sugiere seguir investigando con otras especies de hongos, a fin de enriquecer la información de los diferentes

basidiomycetos nativos de la zona (*Agaricus*, *Polyporus*, *Lentinula*, *Morchella*) cuya adaptación a medios hostiles y condiciones ambientales es más promisoría.

## 5. Conclusiones

Se determinó la efectividad mineralizadora de *Pleurotus ostreatus* en el tratamiento de residuos lignocelulósicos de colillas de cigarro, cuya evidencia se dio por imágenes SEM poniendo en manifiesto la mineralización, desintoxicación y actividad catalítica del complejo enzimático de las celulasas en las 2 fases de evaluación a los 45 días y 75 días de actividad biológica respectivamente. Las condiciones de HR, T° y HL específicas para el crecimiento y desarrollo de *Pleurotus ostreatus* en los sustratos experimentales tuvo como resultados el establecimiento de condiciones de T° promedio de 22.17 °C y una HR promedio de 52,46% y de T° promedio de 19.05°C. La mineralización de las fibras de celulosa por SEM y EDS del residuo lignocelulósico por *Pleurotus ostreatus* como agente mineralizador en el tratamiento de residuos de colillas de cigarro, fue total y minuciosamente verificada por espectro de energía dispersiva. Los elementos con mayor mineralización descrita estadísticamente fueron, el aluminio, el cloro y azufre respectivamente. Al realizar los primeros análisis a nivel de carpóforos y cuerpos fructíferos, se pudo evidenciar trazas de elementos mineralizados, poniendo en tapete la posibilidad de que no exista bioacumulación, el poder determinar el factor de bioconcentración nos dará más indicios de la capacidad de este basidiomiceto de poder mineralizar completamente elementos potencialmente tóxicos, esto sin duda apertura una puerta para seguir investigando sobre la actividad de las celulasas sobre residuos lignocelulósicos potencialmente tóxicos.

## 6. Referencias

- Aguilar-Pumahuilca F., Huamán-Huamán H. y Holgado-Rojas, M. (2019). Caracterización de *Pleurotus* sp. aislado de la comunidad nativa de Korimani, centro poblado de Kiteni-Echarate, la Convención, Cusco, Perú. *Ecología aplicada*, 18(1), 45-50. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v18i1.1305>.
- Araújo, M. C. B. y Costa, M. F. (2019). A critical review of the issue of cigarette butt pollution in coastal environments. *Environmental research*, 172, 137-149. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.005>
- Arias-Carbajal, G. M. O., García, G. B., Rodríguez, D. B., Álvarez, I. y González, A. L. (2005). Biotransformación de Residuos Lignocelulosicos con Hongos *Pleurotus*. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 36. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181220525083>
- Benítez, L. (2012). Degradación de los Residuos Sólidos del Cigarrillo por crecimiento de *Pleurotus ostreatus* (Jacq: Fr.) Kumm y *Trametes versicolor* (L.: Fr.) Pilát. Universidad nacional autónoma de México. <https://1drv.ms/b/s!AvMamKJBNbqPhV7yh5DVkYvE6daL>
- Caro, B. (2023). Degradación del acetato de celulosa presente en colillas de cigarro mediante el hongo *Pleurotus Ostreatus* Var Florida para su conversión a celulosa. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4). [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i4.7029](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7029)
- Cayetano-Catarino M., Bernabé-Villanueva G., Romero-Flores A. y Bernabé-González T. (2020). Rastrojo de tres plantas (Familia: Fabaceae) como sustrato para el cultivo de *Pleurotus Ostreatus* (Jacq.) P. Kummer., en México. *Journal Aplica. Nat. Ciencia*, 12, 156-158. <https://bit.ly/3Y3xj9W>

- Delfín-Alcalá, I. y Durán-De-Bazúa, C. (2003). Biodegradación de residuos urbanos lignocelulósicos por *Pleurotus*. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 19(1), 37-45. <https://www.redalyc.org/pdf/370/37019104.pdf>
- Díaz Muñoz, K. (2019). Producción de *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) ICFC 153/99 cultivadas sobre diferentes residuos lignocelulósicos. *Arnaldoa*, 26(3), 117-1184. <http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26322>
- Doroški, A., Anita K., Režek J. y Ilija D. (2022). Food Waste Originated Material as an Alternative Substrate Used for the Cultivation of Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus*). A review. *Sustainability Journal*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/su141912509>
- Faria, P. M., Muzzi, R. M., de Goes, R. H. de T. B. y Gressler, M. G. de M. (2022). Bioconversão de coprodutos agroindustriais utilizando fungos *Pleurotus ostreatus* e *Pleurotus sajor-caju* para alimentação de ruminantes. *Revista Acadêmica Ciência Animal*, 20. DOI.10.7213/acad.2022.20008
- Fufa B., Tadesse B. y Tulu M. (2021). Cultivo de *Pleurotus ostreatus* sobre desechos agrícolas y su combinación. *En t. J. Agrón.*, 202. <https://bit.ly/3Sddtp5>
- Golian M., Alžbeta H., Mezeyová I., Chlebová Z., Hegedús O. y Urminská D. (2022). Acumulación de elementos metálicos seleccionados en los cuerpos fructíferos del hongo ostra. *The Foods*, 11(1).1155-1167. DOI.10.3390/foods11010076
- Harms, H., Schlosser, D. y Wick, L. (2011). Potencial sin explotar: explotación de hongos en la biorremediación de productos químicos peligrosos. *Nat Rev Microbiol.*, 9, 177-192. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2519>
- Herrera, J., Naranjo, N., Páez, L., Cisneros, M., Gurrola, D., Ricario, R., Monreal, H. y Amparan, H. (2015). Los hongos de la pudrición blanca involucrados en la fertilidad del suelo. *Viduspra, Visión Científica*, 7(1), 22-25. <https://doi.org/10.30550/j.lil/2022.59.S/2022.08.11>
- Higuchi, T. (2006). Revise los estudios de bioquímica de la lignina. *Revista de Ciencia de la Madera.*, 52, 2-8. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2007000200008>
- Iwamoto, T. y Masao, N. (2001). Current bioremediation practice and perspective, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92(1), 1-8. [https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(01\)80190-0](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(01)80190-0)
- León Avendaño, H., Martínez García, R., Caballero, P. y Martínez Carrera, D. (2013). Caracterización de dos cepas de *Pleurotus djamor* nativas de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6, 1285-1291. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263128353019>
- Medaura, M., Guivernau, M., Boldu, F., Moreno, X. y Viñas, M. (2013). Micorremediación y su aplicación para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos pesados. En *V simposio Iberoamericano de residuos sólidos*.

- Melanouri, E., Dedousi, M. y Diamantopoulou, P. (2022). Cultivo de cepas de hongos *Pleurotus Ostreatus* y *Pleurotus Eryngii* en residuos agroindustriales en fermentación en estado sólido. Parte I: Detección de crecimiento, endoglucanasa, lacasa y producción de biomasa en la fase de colonización. *Recursos de carbono. Conversa.*, 5, 61-70. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223131465002.pdf>
- Nakazawa, T., Kawauchi, M. y Otsuka, Y. (2024). *Pleurotus ostreatus* as a model mushroom in genetics, cell biology, and material sciences. *Appl Microbiol Biotechnol*, 108. [DOI.10.1007/s00253-024-13034-4](https://doi.org/10.1007/s00253-024-13034-4)
- Omoni, V., Ibeto, N., Lag-Brotons, J., Bankole, O. y Semple, K. (2022). Impacto de los hongos de pudrición blanca inmovilizados en residuos lignocelulósicos en la mejora del desarrollo del catabolismo del <sup>14</sup>C-fenantreno en el suelo. *Ciencia. Medio ambiente total.*, 8(11). <https://bit.ly/4bJykas>
- Pavlik, M. y Pavlik Š. (2013). Actividad de descomposición de la madera del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) aislada in situ. *Revista Ciencias Forenses.*, 59(1), 28-33. <https://doi.org/10.17221/60/2012-JFS>
- Picco C., Suarez N. y Regenhardt S. (2023). Explorando el impacto de la composición del sustrato y los parámetros del proceso en biomaterial derivado del micelio del hongo *Pleurotus ostreatus* y desechos agrícolas. *MRS avanza*, 33-38. [DOI.10.1557/s43580-023-00623-0](https://doi.org/10.1557/s43580-023-00623-0)
- Quiñones, R. (2022). *Efectividad de Pleurotus ostreatus (cepa gris, blanco y rojo) como organismo biodegradador de celulosa y lignina en el tratamiento de residuos de colillas de cigarro.* Universidad Andina del Cusco. <https://bit.ly/3Wn2WK1>
- Rodríguez, D. T. (2003). El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos. *Revista Ecosistemas*, 12(2). <https://bit.ly/3Y5p1P1>
- Rigas, F., Dritsa, V., Marchant, R., Papadopoulou, K., Avramides, E. J. y Hatzianestis, I. (2005). Biodegradation of lindane by *Pleurotus ostreatus* via central composite design. *Environment international*, 31(2), 191-196. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.09.024>
- Roldan, B. J. (2016). *Descripción de las características macroscópicas, de cultivo in vitro de cepas de Pleurotus aisladas en Guatemala.* Universidad de San Carlos de Guatemala. <https://bit.ly/3LqC1qX>
- Romero, O., Huerta, M., Damián, M., Macías, A., Tapia, A., Parraguirre, J. y Juárez, J. (2010). Evaluación de la capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* utilizando hoja de plátano deshidratada (*Musa paradisiaca* L.) *Agronomía Costarricense.*, 34(1), 53-63 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43617800005>
- Ruiz, J. (2019). Degradación de colillas por medio del “hongo ostra” *Pleurotus ostreatus* var. crema BPR-1. *ResearchGate.*, 1-14 <https://bit.ly/4cJ3vE4>
- Senzosenkosi, M., Mthokozisi, C., Nkoana, I. y Ofentse Jacob, P. (2023). Bioprospección de los efectos biológicos del cultivo de hongos *Pleurotus ostreatus* a partir de desechos agrícolas seleccionados y suplementos de harina de maíz. *Journal of Food Biochemistry*, 16(2), 123-132. [DOI.10.1155/2023/2762972](https://doi.org/10.1155/2023/2762972)

- Širić, I., Pankaj, K., Bashir, A., Sami, A., Rakesh, B., Archana, B., Fidelis, O., Vinod, K. y Mostafa, A. (2022). Evaluación de riesgos de la aparición de metales pesados en dos hongos ostra silvestres comestibles (*Pleurotus* spp.) recolectados en el Parque Nacional Rajaji. *Journal of Fungi*, 8(10). [DOI.10.3390/jof8101007](https://doi.org/10.3390/jof8101007)
- Tagkouli, D., Bekiaris, G., Pantazi, S., Anastasopoulou, M., Koutrotsios, G., Mallouchos, A., Zervakis, G. y Kalogeropoulos, N. (2021). Perfil volátil de *Pleurotus Eryngii* y *Pleurotus Ostreatus* cultivados en subproductos agrícolas y agroindustriales. *Alimentos*, 10. <https://doi.org/10.3390/foods10061287>
- Updyke, R. (2014). *Biodegradation and Feasibility of Three Pleurotus Species on Cigarette Filters*. <https://bit.ly/464PNsS>
- Wolter, M., Zadrazil, F. y Martens, R. (1997). Degradación de ocho hidrocarburos aromáticos policíclicos altamente condensados por *Pleurotus* sp. Florida en sustrato de paja de trigo macizo. *Journal Applied Microbiology Biotechnology*, 48, 398-404. <https://doi.org/10.1007/s002530051070>
- Zárate-Salazar, J., Santos, M., Caballero, E., Martins, O. y Herrera, A. (2020). Uso de residuos lignocelulósicos de maíz y arroz como sustratos para el cultivo del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus* Jacq.). *AplicaSN Ciencia*, 2. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v39.n2.36768>

## CONTRIBUCIONES DE AUTORES/AS, FINANCIACIÓN Y AGRADECIMIENTOS

### Contribuciones de los/as autores/as:

**Conceptualización:** Vera-Marmanillo, Verónica Isela; Zegarra Tupayachi, Adriana  
**Validación:** Vera Marmanillo, Verónica Isela **Análisis formal:** Vera-Marmanillo, Verónica Isela; Zegarra Tupayachi, Adriana; **Curación de datos:** Quiñones Loayza, Renzo Rodrigo; **Redacción-Preparación del borrador original:** Quiñones Loayza, Renzo Rodrigo **Redacción-Re- visión y Edición:** Vera Marmanillo, Verónica Isela **Supervisión:** Vera-Marmanillo, Verónica Isela **Todos los/as autores/as han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito:** Vera-Marmanillo, Verónica Isela; Quiñones Loayza, Renzo Rodrigo; Zegarra Tupayachi, Adriana

**Financiación:** Esta investigación recibió financiamiento del VRIN-UNSAAC por resolución N°-VRIN-078-2022-UNSAAC.

**Agradecimientos:** A Universidad San Antonio Abad del Cusco-UNSAAC, a través del Fondo Especial de Desarrollo Universitario FEDU 2022-2023. Al Centro para el Desarrollo de Materiales Avanzados y Nanotecnología de la Universidad Nacional de Ingeniería-UNI, por las imágenes de la investigación.

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran no tener Conflicto de Intereses.

**AUTOR/ES:****Verónica Isela Vera-Marmanillo:**

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Bióloga, especialidad en Ecología y Ambiente, egresada de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco UNSAAC. Magíster en Docencia Universitaria, Magíster en Ingeniería Ambiental, Doctora en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, con posdoctorado en Innovación e Investigación, especialización en monitoreo de la calidad ambiental, evaluación de impacto ambiental, toxicología y contaminación ambiental. Docente investigadora de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

[veronika.vera@unsaac.edu.pe](mailto:veronika.vera@unsaac.edu.pe)

**Orcid ID:** <https://orcid.org/0000-0002-2777-2874>

**Scopus ID:** <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57211988379>

**Web of Science ID:** <https://www.webofscience.com/wos/author/record/KCL-7057-2024>

**Renzo Rodrigo Quiñones Loayza:**

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Ingeniero Ambiental egresado de la Universidad Andina del Cusco, especialista en SSOMA, estudiante de Maestría en Ecología y Gestión Ambiental en la UNSAAC.

[232791@unsaac.edu.pe](mailto:232791@unsaac.edu.pe)

**Orcid ID:** <https://orcid.org/0000-0003-4133-5088>

**Adriana Zegarra Tupayachi:**

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Bióloga, especialidad en Ecología y Ambiente. Maestría en Ciencias Ambientales, orientación en Gestión Ambiental. Consultora ambiental con experiencia en asesoría ambiental, sistemas de gestión ambiental ISO 14001, supervisión del medio ambiente, capacitación y sensibilización ambiental, elaboración de estudios de impacto ambiental, estudios de calidad de agua.

[adriana.zegarra@unsaac.edu.pe](mailto:adriana.zegarra@unsaac.edu.pe)

**Orcid ID:** <https://orcid.org/0000-0002-2165-3882>