

DOI: <https://doi.org/10.56124/allpa.v7i14.0078>

Efecto de un derivado hidrocarbúrico sobre el crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus*

Effect of a hydrocarbon derivative on the growth of the fungus *Pleurotus ostreatus*

Zanetta-Donoso Cristóbal ¹; Espinoza-Zambrano Paulina ¹; Ormaza-Lucas Mirabella ¹;
Mendoza-García Gregorio ^{1,2}; Velásquez-Ferrín Abraham ^{1,3*}

¹ Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnológicas, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
Manta, Ecuador.

² Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador.

³ Facultad de Ciencias Informáticas, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador.

*Correo de correspondencia: abraham.velasquez@uleam.edu.ec

Resumen

Los suelos están sujetos a contaminación antropogénica derivada de la explotación petrolera, a lo largo del tiempo se han estudiado diferentes estrategias convencionales y alternativas para eliminar esta clase de contaminantes. El objetivo de este estudio fue recopilar información preliminar sobre el crecimiento del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) en presencia de combustible con alcohol, uno de los derivados del petróleo más utilizados en el Ecuador, paralelo a esto, se evaluó la remoción de hidrocarburos totales provenientes del petróleo (HTP) en el sustrato utilizado. Para el estudio se consideró como factores de estudio el tiempo de cultivo (20 y 40 días) y la concentración del combustible (20 y 40%), además de cuantificar el número de hongos, su masa y su diámetro de sombrero, al final se obtuvo una poca significativa entre los tratamientos y una muy buena tolerancia a la presencia del contaminante que se evidencia en el crecimiento proporcional de los hongos.

Palabras clave: *Pleurotus ostreatus*, biorremediación, tratamiento de suelos, hidrocarburos, contaminantes orgánicos.

Abstract

Soils are subject to anthropogenic contamination derived from oil exploitation; over time, different conventional and alternative strategies have been studied to eliminate this class of contaminants. The objective of this study was to collect preliminary information on the growth of the oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in the presence of fuel with alcohol, one of Ecuador's most used petroleum derivatives. Parallel to this, the removal of total hydrocarbons from petroleum (HTP) in the substrate used. For the study, the cultivation time (20 and 40 days) and the fuel concentration (20 and 40%) were considered as study factors, in addition to quantifying the number of fungi, their mass, and their cap diameter, at the end the obtained a little significant between the treatments and an excellent tolerance to the presence of the contaminant that is evident in the proportional growth of the fungi.

Keywords: *Pleurotus ostreatus*, bioremediation, soil treatment, hydrocarbons, organic pollutants.

1. Introducción

En la actualidad, una de las mayores preocupaciones ambientales y de salud humana son los suelos contaminados con hidrocarburos. El petróleo representa la mayor proporción de la combinación energética (31,2 %) en todo el mundo. La estructura del petróleo consta de cientos de hidrocarburos alifáticos, ramificados y aromáticos, algunos constituyentes organometálicos y otros compuestos orgánicos (Arjoom, A. et al 2013; Azubuiké, C. C. et al 2019).

Los alcanos ramificados son componentes importantes del petróleo crudo y generalmente se consideran resistentes a la degradación microbiana; los alcanos ramificados o isoalcanos se pueden dividir en dos clases, alcanos altamente ramificados y alcanos simple-ramificados (Huang, S. et al., 2018). Los metales presentes en el petróleo pueden adoptar formas como compuestos de porfirina, combinados con compuestos aromáticos o alquenos, y heterocompuestos saturados (Kadiev, K. M. et al., 2015). Los hidrocarburos totales del petróleo (HTP) son definidos como una mezcla de compuestos de cadena abierta y cerrada provenientes de productos del petróleo crudo, que

son utilizados en la industria y el transporte. Estos pueden ser tóxicos para los microorganismos del suelo, pero pueden ser usados como fuente de carbono (Klimek, B. et al., 2016).

La remediación se refiere a la eliminación de contaminación o contaminantes del medio ambiente, ya sea en el suelo, las aguas subterráneas, el sedimento o las aguas superficiales; el uso de diferentes organismos para este proceso se conoce como biorremediación la cual ha demostrado ser efectiva y confiable debido a sus características ecológicas. La biorremediación puede llevarse a cabo ex situ o in situ, dependiendo de varios factores, que incluyen, entre otros, el costo, las características del sitio, el tipo y la concentración de contaminantes (Alegbeleye, O. O. et al 2017). La biorremediación se ha convertido en una alternativa para contrarrestar contaminaciones causadas por petróleo, mediante el uso de bacterias, cianobacterias, algas, hongos, protozoos (Hara & Uchiyama, 2013; Maruthi et otros, 2013; Nyinoh y Utume, 2021).

Pleurotus ostreatus presenta un sombrero de 5 a 20 cm de diámetro, con el pie desplazado hacia un lado y crece

habitualmente junto a otros ejemplares superpuestos. La superficie es lisa y brillante; de color gris o gris oscuro, y en ocasiones, es decir en algunas variedades como la *columbinus*, gris pardo o azulado. El margen del sombrero cambia con la edad, siendo enrollado en los ejemplares jóvenes y abierto en los adultos. Tiene las láminas apretadas, delgadas, decurrentes y de color blanquecino (Majesty, D. K. C et al., 2019).

Pleurotus ostreatus (Jacq.) P. Kumm. (Basidiomycota), de la familia Pleurotaceae, procede de China; sin embargo, hoy en día se distribuye por todo el mundo, excepto en el noroeste del Pacífico debido al clima ártico. *Pleurotus ostreatus* es un hongo y eucariota saprofito, que está compuesto por filamentos de hifas que prospera bien en condiciones húmedas y con materiales podridos, es un hongo comestible común y los estudios con *Pleurotus ostreatus* han demostrado diversas propiedades antimicrobianas, antivirales y anticancerígenas (Toghyani, M. et al., 2012). La especie del género *Pleurotus* se encuentra entre las especies de hongos cultivadas comercialmente más importantes del

mundo. A pesar de su importancia económica, la identidad taxonómica de los aislados comúnmente cultivados en la zona templada del norte (Asia, Europa y América del Norte) es nuclear (Pánek, M. et al., 2019).

Emplear el hongo *Pleurotus ostreatus* para biorremediar suelos contaminados por hidrocarburos, se enfoca en la habilidad de introducirse el suelo contaminado y producir enzimas extracelulares las cuales disminuyen a los contaminantes orgánicos y además logran capturar metales pesados (Piska, K. et al., 2017; Sadiq, S. et al., 2019). Las primeras investigaciones sobre biorremediación utilizando *Pleurotus ostreatus* en Ecuador fueron realizadas en los laboratorios de biología de la Universidad Católica de Quito en la década de los ochenta, Petroecuador con un 50% de fondos provenientes de una ONG europea, hizo las primeras contrataciones de este tipo de servicios a un alto costo, constituyéndose éste en factor limitante para la aplicación de esta técnica de remediación, sin embargo, se demostró que dicho hongo es una alternativa viable con beneficios de biorremediación y que es un método con capacidad de remover los metales

pesados, además de ser una opción económica para mejorar suelos contaminados (Coello Paredes, 2011).

En Ecuador, diversas actividades industriales y domésticas generan impactos negativos sobre el ambiente. Una de las principales problemáticas de contaminación ambiental está relacionada con el inadecuado manejo de las actividades hidrocarburíferas. Este problema es evidente en las zonas de explotación petrolera, donde las poblaciones cercanas se han visto afectadas por derrames durante la extracción y transporte de derivados del petróleo, así como por la mala disposición y tratamiento inadecuado de los suelos contaminados. Ante esta situación, surge la necesidad de explorar formas alternativas para la remediación

de suelos productivos y no productivos contaminados por combustibles. En este contexto, se investiga el crecimiento del champiñón ostra en presencia de combustible como una posible solución sostenible.

2. Metodología (materiales y métodos)

Las esporas de *Pleurotus ostreatus* fueron provistas por la empresa Fungi Andino de la ciudad de Quito, estas vienen mezcladas con sustrato (aserrín y restos orgánicos) en bloques de 1 kg listas para su cultivo. El combustible usado en este experimento fue gasolina EcoPaís (la misma tiene una mezcla de etanol con una mezcla de combustibles que alcanza un octanaje de 85). Para el montaje de ensayos tomamos en cuenta dos factores de cultivo más el testigo tal como se puede apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1. Factores en estudio

Factor		Nivel	
		1	2
A	Tiempo de cultivo	20 días	40 días
B	Concentración del combustible	20%	40%

Se considera también un testigo (C) al cuál no se le aplicó el factor B pero si el factor A para la comparación final, con esto nos da un total de seis tratamientos con 3 repeticiones cada uno (A1.B1 \

A1.B2 \ A2.B1 \ A2.B2 \ C.A1 \ C.A2), para un total de 18 unidades experimentales.

Después de cada cultivo se determinaron los siguientes aspectos:

- Número de setas de cada unidad experimental
- Diámetro promedio de los sombreros de las setas en cada unidad experimental
- Masa total de las setas de cada unidad experimental
- La fracción C6-C10 (cadenas de 6 a 10 carbonos) de HTP (Hidrocarburos Totales del Petróleo) para el sustrato en cada unidad experimental

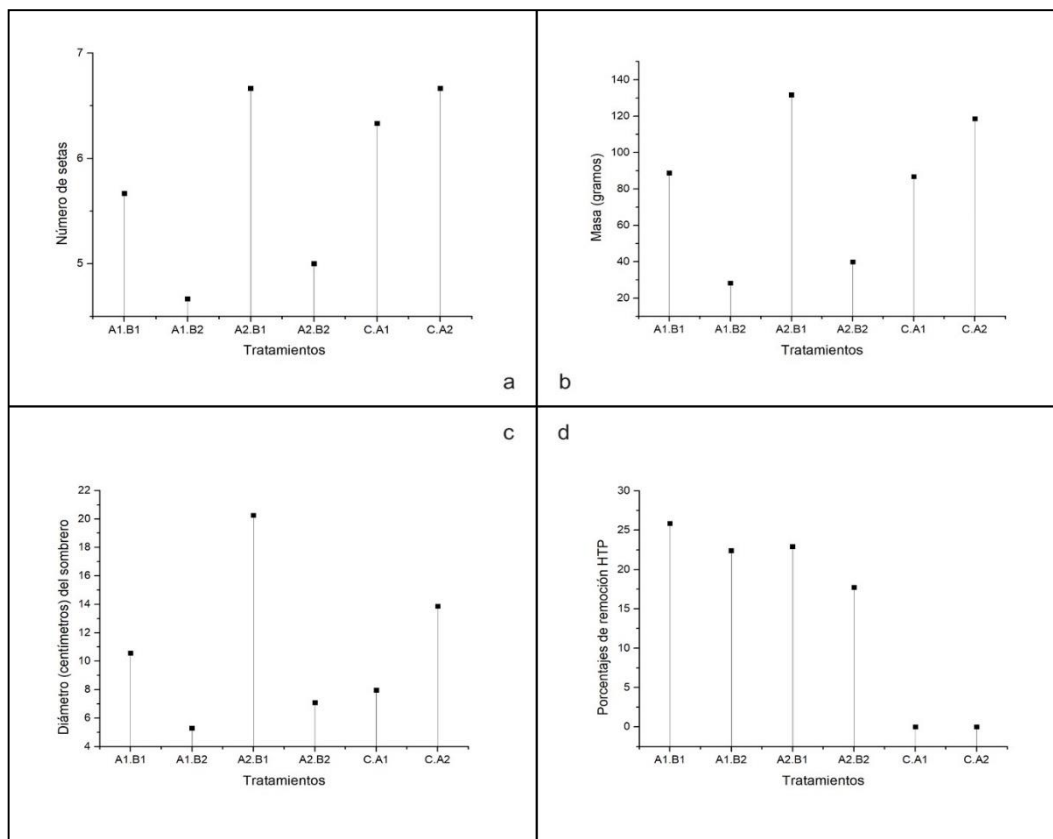
En cada uno de los aspectos mencionados se realizó una prueba de Tukey al 5% para ver la diferencia entre

tratamientos.

3. Resultados y discusión

En la figura 1 podemos ver el número promedio de setas en cada tratamiento con una menor cantidad en los tratamientos A1.B2 y A2.B2, estos mismos evidencian una menor biomasa promedio, con respecto al diámetro del sombrero el tratamiento A2.B1 alcanza una media muy superior a los demás, los porcentajes de remoción son muy similares entre tratamiento y no se evidencian valores para C.A1 C.A2 al no tener la presencia de combustible.

Figura 1. Variación de a. número de setas, b. masa (gramos), c. diámetro (centímetros) de sombrero y d. porcentajes de remoción HTP en cada uno de los tratamientos.



En la tabla 2 podemos observar que no existen diferencias significativas entre el número de setas en cada unidad experimental, a pesar que la empresa proveedora estima un crecimiento de entre 20 a 25 setas por cultivo, esto puede explicarse según lo descrito por (Kumar, S. et al., 2023; Zimmermann, A.

et al., 2017), quienes mencionan que existen varios escenarios en los que la temperatura, humedad e intensidad lumínica pueden afectar inicialmente los cultivos cuando estos son desarrollados en ubicaciones geográficas diferentes a las de su origen.

Tabla 2. Prueba de Tukey entre tratamientos para el número de setas, diámetro del sombrero, masa y porcentajes de remoción

Comparación de tratamientos	Número de setas		Diámetro del sombrero		Masa		Porcentajes de remoción	
	valor q	Significación al 0.05	valor q	Significación al 0.05	valor q	Significación al 0.05	valor q	Significación al 0.05
A1.B2 A1.B1	2.21565	0	12.25703	1	7.66853	1	1.98898	0
A2.B1 A1.B1	2.21565	0	22.57465	1	5.44705	1	1.68233	0
A2.B1 A1.B2	4.43129	0	34.83168	1	13.11558	1	0.30665	0
A2.B2 A1.B1	1.4771	0	8.06792	1	6.18965	1	4.6773	1
A2.B2 A1.B2	0.73855	0	4.18911	0	1.47888	0	2.68832	0
A2.B2 A2.B1	3.69274	0	30.64257	1	11.6367	1	2.99497	0
C.A1 A1.B1	1.4771	0	6.05094	1	0.25007	0	-----	-----
C.A1 A1.B2	3.69274	0	6.20609	1	7.41846	1	-----	-----
C.A1 A2.B1	0.73855	0	28.62559	1	5.69712	1	-----	-----
C.A1 A2.B2	2.9542	0	2.01698	0	5.93958	1	-----	-----
C.A2 A1.B1	2.21565	0	7.68004	1	3.77851	0	-----	-----
C.A2 A1.B2	4.43129	0	19.93706	1	11.44704	1	-----	-----
C.A2 A2.B1	0	0	14.89461	1	1.66854	0	-----	-----
C.A2 A2.B2	3.69274	0	15.74795	1	9.96816	1	-----	-----
C.A2 C.A1	0.73855	0	13.73097	1	4.02858	0	-----	-----

1=sin diferencias significativas | 0=diferencias significativas

Para el caso del diámetro del sombrero en la mayoría de los casos si existe diferencias significativas, a pesar de que todos los valores se encuentran entre los 5 a 20 cm que según la literatura es el tamaño promedio después de 30 días de cultivo (Dedousi, M et al., 2023; Silanikove, N. et al., 1988). Para la masa no existió diferencia significativa en 5 de los casos, compartimos resultados con lo expuesto por (Pardo Giménez, A. et al., 2008), donde se demuestra un incremento de la masa del cultivo en relación con el tiempo de su cultivo, por otro lado, se evidencia una reducción en la masa a medida de aumenta su exposición al contaminante, tal como se ha evidenciado ante la presencia de metales pesados y contaminantes farmacéuticos (Kózka, B. et al., 2020; Xu, F. et al., 2021).

La capacidad de remoción en la mayoría de los tratamientos es muy similar, únicamente el tratamiento A2.B2 (mayor tiempo de cultivo y mayor concentración del contaminante) tiene un comportamiento diferente frente a los demás, es evidente la capacidad de biodegradación del *Pleurotus ostreatus* sobre diferentes compuestos orgánicos (Brugnari, T et al., 2018; Kózka et al.,

2020; Melanouri, E. M. et al., 2022), y como se puede observar no hay diferencias significativas entre las unidades experimentales y los valores obtenidos son muy similares pudiendo ser producto de la asimilación únicamente de los nutrientes que necesita la especie en estudio (Wang, S. et al., 2022).

Pleurotus ostreatus puede degradar y absorber diferentes contaminantes, sin embargo, su uso en biorremediación requiere de un tratamiento posterior a su uso y no simplemente quemarlo (Esa, F. et al., 2014; Islam, M. R. et al., 2017). Los hongos saprofitos descomponen naturalmente moléculas complejas en compuestos más simples, que pueden ser utilizados por otros organismos o procesos (Kubartová, A. et al., 2009; Setälä & McLean, 2004). La red celular del hongo *Pleurotus ostreatus* crece en relación simbiótica con los materiales que lo alimentan, sin embargo, en presencia de metales pesados, se acumula en su red celular (Pelletier et al., 2013). A pesar de ser un hongo comestible, su uso para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos aumenta la posibilidad de

bioacumulación de metales pesados (Mohamad Nor, N. et al., 2013).

Recientemente se han desarrollado materiales basados en micelio de *Pleurotus ostreatus*, como materiales de construcción y paneles acústicos (Haneef, M. et al., 2017; Somarriba Sokolova, L. N. et al., 2018). Por ejemplo, Appels, F V. W. et al. (2019) fabricaron bloques de construcción utilizando *Pleurotus ostreatus* en una combinación de paja, aserrín y desechos de algodón. Otro ejemplo es el de Bruscato, C. et al., 2019, que han desarrollado bioespumas para sustituir el poliestireno expandido (EP), muy utilizado en embalajes y aislamiento de edificios. En todos los ejemplos que podemos encontrar sobre el tratamiento de residuos de *Pleurotus ostreatus* existe un tratamiento químico previo para eliminar metales pesados (Joshi, K. et al., 2020).

4. Conclusiones

Pleurotus ostreatus tiene la capacidad de crecer en un ambiente contaminado con un derivado del petróleo, en este caso combustible mezclado con etanol, a pesar de que el mismo sufrió por el cambio de las condiciones ambientales del cultivo.

Los estudios realizados de HTP demostraron que el *Pleurotus ostreatus* utiliza el contaminante presente en el sustrato, así como los nutrientes de este a la par sin mayor significancia hasta un 20% del contaminante, pero al llegar al 40% esta tolerancia al mismo disminuye, lo cual se puede apreciar en la disminución de su masa y su diámetro de sombrero.

Finalmente, podemos mencionar que *Pleurotus ostreatus* es un hongo con buena capacidad de biorremediación, existen varias investigaciones en las que se ha utilizado en diferentes sustratos y ha logrado la eliminación de contaminantes, principalmente orgánicos, derivados de hidrocarburos, pesticidas y metales pesados, estos últimos se bioacumulan, pero también existen diversas alternativas para eliminarlos antes de reutilizar el hongo.

Agradecimientos

A los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías (ULEAM) por prestarnos las instalaciones, al grupo de investigación AQUATAG (ULEAM) y a las ingenieras Delgado Rodríguez Jamileth y Párraga Guadamud Bella por la colaboración brindada.

Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Bibliografía

- Alegbeleye, O. O., Opeolu, B. O., & Jackson, V. A. (2017). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: A Critical Review of Environmental Occurrence and Bioremediation. *Environmental Management*, 60(4), 758–783. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0896-2>
- Appels, F. V. W., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M. B., Dijksterhuis, J., Krijgsheld, P., & Wösten, H. A. B. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites. *Materials & Design*, 161, 64–71. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2018.11.027>
- Arjoon, A., Olaniran, A. O., & Pillay, B. (2013). Co-contamination of water with chlorinated hydrocarbons and heavy metals: Challenges and current bioremediation strategies. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10(2), 395–412. <https://doi.org/10.1007/s13762-012-0122-y>
- Azubuiké, C. C., Chikere, C. B., & Okpokwasili, G. C. (2016). Bioremediation techniques—classification based on site of application: principles, advantages, limitations, and prospects. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 2016 32:11, 32(11), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2137-X>
- Brugnari, T., Pereira, M.G., Bubna, G.A., de Freitas, E.N., Contato, A.G., Corrêa, R.C.G., Castoldi, R., de Souza, C.G.M., Polizeli, M. de L.T. de M., Bracht, A., Peralta, R.M., 2018. A highly reusable MANAE-agarose-immobilized *Pleurotus ostreatus* laccase for degradation of bisphenol A. *Science of The Total Environment* 634, 1346–1351. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.051>
- Bruscato, C., Malvessi, E., Brandalise, R. N., & Camassola, M. (2019). High performance of macrofungi in the production of mycelium-based biofoams using sawdust — Sustainable technology for waste reduction. *Journal of Cleaner Production*, 234, 225–232. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.06.150>
- Coello Paredes, J.M., 2011. Aplicación del hongo *Pleurotus ostreatus* como alternativa para la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados. *Escuela Superior*

- Politécnica del Litoral, Guayaquil.
<https://core.ac.uk/outputs/12410999?source=oai>
- Dedousi, M., Melanouri, E.-M., Diamantopoulou, P., 2023. Carposome productivity of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* growing on agro-industrial residues enriched with nitrogen, calcium salts and oils. *Carbon Resources Conversion* 6, 150–165. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2023.02.001>
- Esa, F., Tasirin, S. M., & Rahman, N. A. (2014). Overview of Bacterial Cellulose Production and Application. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 113–119. <https://doi.org/10.1016/J.AASPRO.2014.11.017>
- Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., & Athanassiou, A. (2017). Advanced Materials From Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties. *Scientific Reports*, 7(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep41292>
- Hara, E., & Uchiyama, H. (2013). Degradation of Petroleum Pollutant Materials by Fungi. In *Fungi as Bioremediators* (pp. 117–133). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33811-3_5
- Huang, S., Shan, M., Chen, J., Penttinen, P., & Qin, H. (2018). Contrasting dynamics of polychlorinated biphenyl dissipation and fungal community composition in low and high organic carbon soils with biochar amendment. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(33), 33432–33442. <https://doi.org/10.1007/S11356-018-3271-9/TABLES/2>
- Islam, M. R., Tudryn, G., Bucinell, R., Schadler, L., & Picu, R. C. (2017). Morphology and mechanics of fungal mycelium. *Scientific Reports*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13295-2>
- Joshi, K., Meher, M. K., & Poluri, K. M. (2020). Fabrication and Characterization of Bioblocks from Agricultural Waste Using Fungal Mycelium for Renewable and Sustainable Applications. *ASC Applied Biomaterials*, 3(4), 1884–1892. <https://doi.org/10.1021/ACSABM.9B01047>
- Kadiev, K. M., Gyl'Maliev, A. M., & Khadzhiev, S. N. (2015). Quantum-chemical modeling of strength of organometallic bonds in oil. *Petroleum Chemistry*, 55(8), 609–617. <https://doi.org/10.1134/S0965544115080071>
- Kózka, B., Nałęcz-Jawecki, G., Turło, J., Giebułtowicz, J., 2020.

- Application of *Pleurotus ostreatus* to efficient removal of selected antidepressants and immunosuppressants. *J Environ Manage* 273, 111131. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111131>
- Klimek, B., Sitarz, A., Choczyński, M., & Niklińska, M. (2016). The Effects of Heavy Metals and Total Petroleum Hydrocarbons on Soil Bacterial Activity and Functional Diversity in the Upper Silesia Industrial Region (Poland). *Water, Air, and Soil Pollution*, 227(8). <https://doi.org/10.1007/s11270-016-2966-0>
- Kubartová, A., Ranger, J., Berthelin, J., & Beguiristain, T. (2009). Diversity and decomposing ability of saprophytic fungi from temperate forest litter. *Microbial Ecology*, 58(1), 98–107. <https://doi.org/10.1007/S00248-008-9458-8/FIGURES/5>
- Kumar, S., Bhushan, B., Wakchaure, G.C., Dutta, R., Jat, B.S., Meena, K.K., Rakshit, S., Pathak, H., 2023. Unveiling the impact of heat stress on seed biochemical composition of major cereal crops: Implications for crop resilience and nutritional value. *Plant Stress* 9, 100183. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100183>
- Majesty, D. K. C., Winner, K., Univeristy, R., Prince, O., & Ijeoma, E. (2019). Nutritional, Anti-nutritional, and Biochemical Studies on the Oyster Mushroom, *Pleurotus ostreatus*. *EC Nutrition*, 14(1), 36–59. https://www.researchgate.net/publication/333220567_Nutritional_Anti-nutritional_and_Biochemical_Studies_on_the_Oyster_Mushroom_Pleurotus_ostreatus
- Mohamad Nor, N., Lau, L. C., Lee, K. T., & Mohamed, A. R. (2013). Synthesis of activated carbon from lignocellulosic biomass and its applications in air pollution control—a review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(4), 658–666. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2013.09.017>
- Melanouri, E. M., Dedousi, M., Diamantopoulou, P., 2022. Cultivating *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* mushroom strains on agro-industrial residues in solid-state fermentation. Part I: Screening for growth, endoglucanase, laccase and biomass production in the colonization phase. *Carbon Resources Conversion* 5, 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2021.12.004>
- Nyinoh, I. W., & Utume, L. N. (2021). Bioremediation of spent engine oil-contaminated soil: Biostimulatory effects of *Pleurotus ostreatus* spent substrate in bioremediation of

- spent engine oil-contaminated soil. IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT), 15(March), 9–19.
https://www.researchgate.net/publication/350372782_Biostimulatory_effects_of_Pleurotus_ostreatus_spent_substrate_in_bioremediation_of_spent_engine_oil-contaminated_soil
- Pánek, M., Wiesnerová, L., Jablonský, I., Novotný, D., & Tomšovský, M. (2019). What is cultivated oyster mushroom? Phylogenetic and physiological study of *Pleurotus ostreatus* and related taxa. *Mycological Progress*, 18(9), 1173–1186.
<https://doi.org/10.1007/S11557-019-01515-0/FIGURES/2>
- Pardo Giménez, A., Perona Zamora, M.A., Pardo Núñez, J., 2008. Utilización de fibra de kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) en la elaboración de sustratos específicos para cultivo de *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) Kummer. *Rev Iberoam Micol* 25, 57–61.
[https://doi.org/10.1016/S1130-1406\(08\)70015-9](https://doi.org/10.1016/S1130-1406(08)70015-9)
- Piska, K., Sułkowska-Ziaja, K., & Muszyńska, B. (2017). Edible mushroom *Pleurotus ostreatus* (Oyster mushroom) – Its dietary significance and biological activity. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 16(1), 151–161.
<https://doi.org/10.24326/asphc.2017.1.0>
- Sadiq, S., Mahmood-ul-Hassan, M., Ahad, K., & Nazir, S. (2019). Bioremediation of hexachlorocyclohexane (HCH) in soil using spent mushroom compost of *Pleurotus ostreatus*. *Bioremediation Journal*, 22(3–4), 126–135.
<https://doi.org/10.1080/10889868.2018.1516615>
- Setälä, H., & McLean, M. A. (2004). Decomposition rate of organic substrates in relation to the species diversity of soil saprophytic fungi. *Oecologia*, 139(1), 98–107.
<https://doi.org/10.1007/S00442-003-1478-Y/FIGURES/4>
- Silanikove, N., Danai, O., Levanon, D., 1988. Composted cotton straw silage as a substrate for *Pleurotus* sp. cultivation. *Biological Wastes* 25, 219–226.
[https://doi.org/10.1016/0269-7483\(88\)90081-X](https://doi.org/10.1016/0269-7483(88)90081-X)
- Somarriba Sokolova, L. N., Ermakova, E. V., & Rynkovskaya, M. (2018). A Review of Agro- waste Materials as Partial Replacement of Fine Aggregate in Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 371(1), 012012.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/371/1/012012>

- Toghyani, M., Tohidi, M., Gheisari, A., Tabeidian, A., & Toghyani, M. (2012). Evaluation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) as a biological growth promoter on performance, humoral immunity, and blood characteristics of broiler chicks. *Journal of Poultry Science*, 49(3), 183–190.
<https://doi.org/10.2141/jpsa.011068>
- Wang, S., Li, W., Liu, L., Qi, H., You, H., 2022. Biodegradation of decabromodiphenyl ethane (DBDPE) by white-rot fungus *Pleurotus ostreatus*: Characteristics, mechanisms, and toxicological response. *J Hazard Mater* 424, 127716.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127716>
- Xu, F., Chen, P., Li, H., Qiao, S., Wang, J., Wang, Y., Wang, X., Wu, B., Liu, H., Wang, C., Xu, H., 2021. Comparative transcriptome analysis reveals the differential response to cadmium stress of two *Pleurotus* fungi: *Pleurotus cornucopiae* and *Pleurotus ostreatus*. *J Hazard Mater* 416, 125814.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125814>
- Zimmermann, A., Webber, H., Zhao, G., Ewert, F., Kros, J., Wolf, J., Britz, W., de Vries, W., 2017. Climate change impacts on crop yields, land use and environment in response to crop sowing dates and thermal time requirements. *Agric Syst* 157, 81–92.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.07.007>