

Pleurotus ostreatus: una seta con potencial.

Pleurotus ostreatus: a mushroom with potential

Astrid Stefanía Duarte Trujillo¹, Julio Amilcar Pineda Insuasti², Magdiel García Juárez³, Camila Alejandra González Trujillo³

¹ Organización Micológica Internacional (OMI). Florencia, Colombia.

² Centro Ecuatoriano de Biotecnología y Ambiente (CEBA). Ibarra, Ecuador.

³ Productora de Champiñones Carbonero-Jacales. Veracruz, México.

⁴ Universidad de los Llanos. Villavicencio, Colombia.

Autor para correspondencia: stefan-ing.agroind@hotmail.com

Recibido: julio 15 de 2018

Aceptado: agosto 26 de 2018

RESUMEN

Pleurotus ostreatus es el segundo hongo más cultivado a nivel mundial, por ello, este artículo pretende abarcar información relacionada con su producción y propiedades medicinales. Se concluyó que es una seta con gran potencial en la industria farmacéutica, gracias a los diferentes metabolitos bioactivos que produce.

PALABRAS CLAVE: actividad biológica, FES, FEL, seta ostra.

ABSTRACT

Pleurotus ostreatus is the second most cultivated mushroom in the world, therefore, this article aims to cover information related to its production and medicinal properties. It was concluded that it is a mushroom with great potential in the pharmaceutical industry, due to the different bioactive metabolites that it produces.

KEYWORDS: biological activity, SSF, LSF, oyster mushroom.

INTRODUCCIÓN

La tasa de mortalidad mundial para el 2014 fue de aproximadamente 7,89 muertes por cada mil habitantes (CIA, 2014), lo que representa según cálculos de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2012) alrededor de 56 millones de personas. Un 23% de las muertes se ocasionaron por enfermedades transmisibles, principalmente las provocadas por virus y bacterias, que según estadísticas tuvieron más impacto en países subdesarrollados y en vía de desarrollo; situación que se ve agravada por el

auge de las enfermedades tropicales. A esto se suma el envejecimiento acelerado de la población y el aumento de la carga de enfermedades crónicas, lo que ha creado conciencia de la importancia del mejoramiento y preservación de la salud (Mitra y Rodríguez-Fernandez, 2010; OMS, 2015).

Estudios epidemiológicos desarrollados por más de 50 años han manifestado que tales inconvenientes pueden ser contrarrestados con una alimentación balanceada (Terry *et al.*, 2001), de ahí que el mercado mundial de

alimentos funcionales esté aumentando a una tasa anual del 8-14 % (Agriculture and Agri-Food Canada, 2009).

Los hongos comestibles son considerados alimentos funcionales, ya que presentan propiedades tanto nutricionales como medicinales que permiten mejorar las funciones biológicas y por lo tanto la salud del consumidor (Valverde, Hernández-Perez, y Paredes-López, 2013)

La seta ostra (*Pleurotus spp.*), también llamada orellana, es el segundo hongo comestible más cultivado en el mundo, después del champiñón blanco (*Agaricus bisporus*), que abarca aproximadamente el 64% de la producción. Se reporta una producción mundial de orellanas de 1,5 millones de toneladas por año, que sigue en aumento debido a las propiedades nutricionales y medicinales que se le han otorgado (AMRC, 2014; Shah, Ashraff y Ishtiaq, 2004; Suárez y Nieto, 2016).

Pleurotus spp. produce varias sustancias bioactivas, dentro de las cuales Stamets (2002) destaca tres: la estatina (3-Hidroxi-3-metilglutaril-coenzima A-reductasa), que al ser un análogo de la lovastatina promueve la disminución del colesterol en la sangre (Bobek, Ozdín, y Mikus, 1995); la ubiquitina, que es una proteína con acción inhibitoria sobre la actividad del VIH (Wang y Ng, 2000); y el pleurán, un β -glucano que es inmunomodulador (Milos Jesenak et al., 2013).

Dada la actividad inmunomoduladora de los betaglucanos de *Pleurotus spp.* se reconoce su potencial en la industria farmacéutica para combatir las enfermedades transmisibles, ya que tras un mal uso a largo plazo de los medicamentos convencionales los patógenos han mutado genéticamente y creado resistencia (Gao, Zhou, Wang, y Xu, 2003; Mazodier y Davies, 1991). Así mismo, los otros constituyentes del hongo representan una forma natural promisorio de contrarrestar las enfermedades crónicas debido a la versatilidad de actividades biológicas reportadas.

Bajo este contexto, el objetivo de este artículo es abarcar información relacionada con la producción y propiedades medicinales de *Pleurotus ostreatus* que promuevan su aprovechamiento.

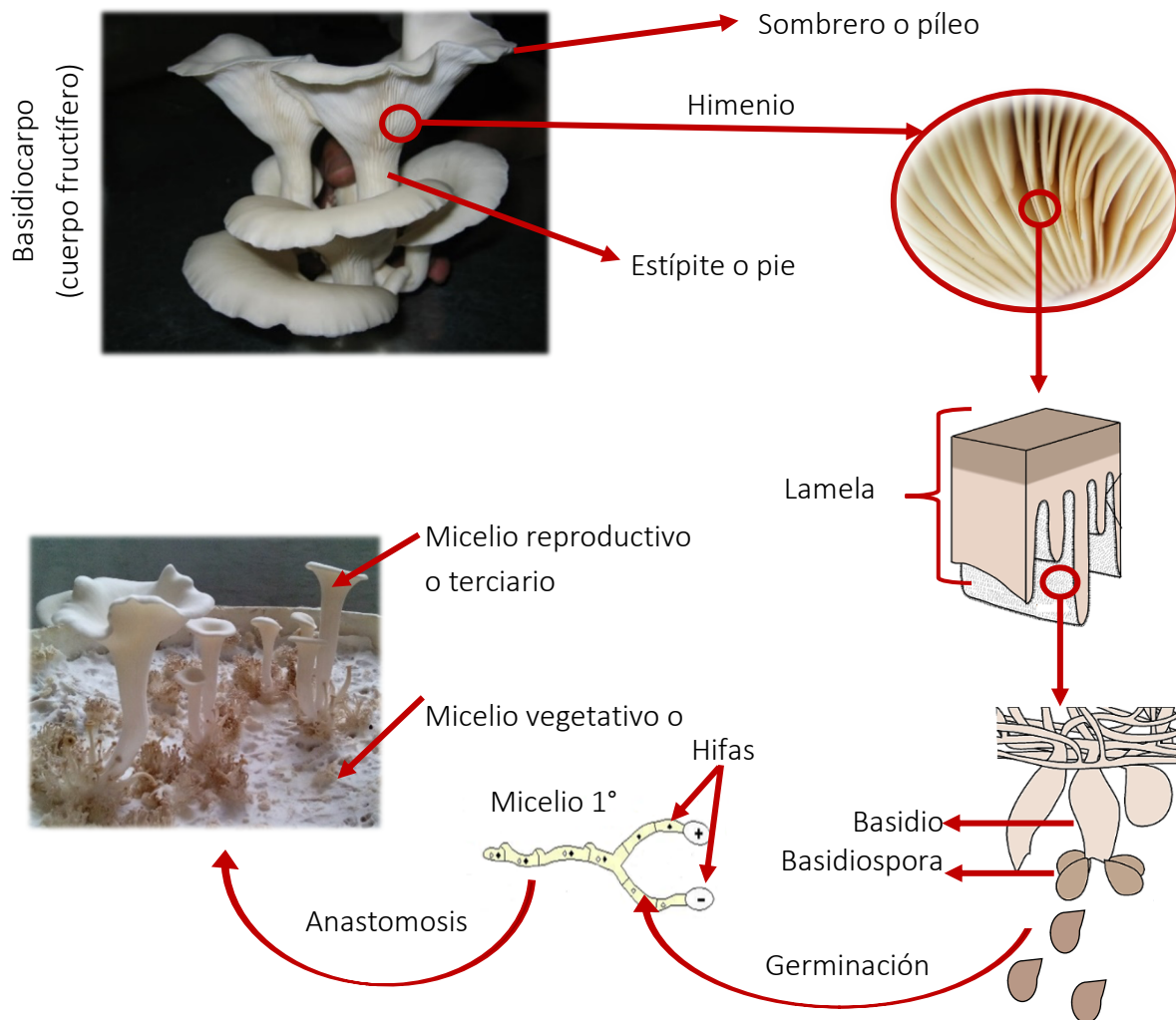
GENERALIDADES

Pleurotus es un género de hongos Basidiomycota del orden de los Agaricales definido por Paul Kummer en 1871 (Knop, Yarden, y Hadar, 2015). Generalmente se conocen como “setas ostra”, “gírgolas” u “orellanas”. Se pueden encontrar de forma natural en los bosques tropicales y subtropicales o producirse experimental y/o comercialmente (Bonatti, Karnopp, Soares, & Furlan, 2004). En la figura 1 se ilustra su ciclo de vida.

Las setas ostra son xilófagas, pertenecientes al grupo de hongos de pudrición blanca, que descompone la celulosa, hemicelulosa y lignina de la madera en componentes de bajo peso molecular que puedan ser asimilados para su crecimiento y reproducción (Elisashvili, Penninckx, Kachlishvili, Asatiani, y Kvesitadze, 2006). Por ende, son los principales organismos responsables del reciclaje de carbono en los ecosistemas. Como descomponedores primarios son capaces de colonizar diversos residuos vegetales gracias a su sistema enzimático de β -glucosidasas, celulasas, xilanasas, Lignin-peroxidasas (LIP), Manganeso- peroxidasas (MNP) y lacasas (Lac); éstas últimas en mayor proporción (Massadeh, Fraija, y Fandib, 2010; Palmieri, Giardina, Bianco, Fontanella, y Sannia, 2000; Reddy, Ravindra Babu, Komaraiah, Roy, y Kothari, 2003).

Debido al fácil cultivo de *Pleurotus spp.*, muchas de sus enzimas son producidas a escala industrial con aplicaciones en la industria de detergentes, almidón, bebidas, alimentos, industria textil, alimentación animal, pulpa y papel, cuero, productos químicos y productos biomédicos (Dumsday, 2008; Elisashvili et al., 2006).

Figura 1. Basidiocarpo de *Pleurotus* spp. y sus partes con el ciclo de vida.



FUENTE: diseño del autor, fotografías cortesía de Camilo Pineda Soto e ilustraciones tomadas de: <https://goo.gl/LXZv1h>, <https://goo.gl/qdDwTW>

ESPECIES

Según el índice Fungorum (www.speciesfungorum.org/) ya se han investigado 202 especies, aunque, las más reconocidas son *P. ostreatus* y *P. pulmonarius*, ya que son las más cultivadas (Corrêa *et al.*,

2016) y presentan tanto la mayor eficiencia de degradación de celulosa como el tiempo de producción más corto, según figuras 2 y 3.

Donde, cp: *P. corconucopiae*, cs: *P. cystidiosus*, dr: *P. dryinus*, er: *P. eryngii*, op: *P. opuntiae*, os: *P. ostreatus*, pl: *P. pulmonarius*.

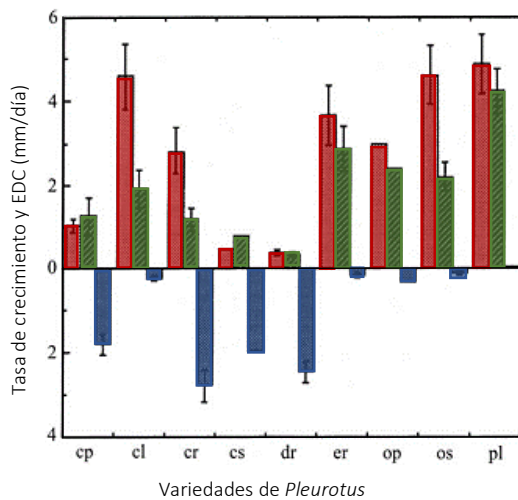


Figura 2. Tasas de crecimiento en PDA (□) y en CM (□), y Eficacia de Degradación de Celulosa (CDE) (□) de nueve especies de *Pleurotus* spp.

FUENTE: (Zervakis y Balis, 1996)

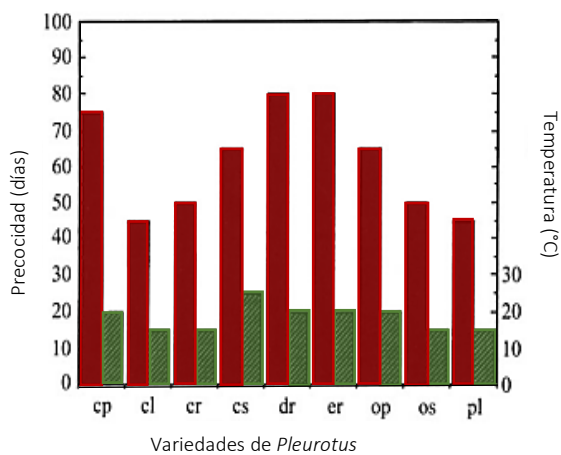


Figura 3. Precocidad (□) y temperatura óptima (□) para la producción del cuerpo fructífero de nueve especies de *Pleurotus* spp.

FUENTE: (Zervakis y Balis, 1996)

Pleurotus ostreatus

Morfológicamente, se caracteriza por tener un píleo plano a ligeramente convexo y semicircular, de color gris cálido a marrón (ver figura 4), con un tamaño que puede variar de 4 a 16 cm. Sus lamelas son delgadas y se encuentran en la parte inferior del píleo, donde se une al estípite. Su estípite o tallo puede ser liso o veloso, lateral o excéntrico, y medir entre 0,5 a 4,0 cm de grosor. Su carne es

firme, elástica, frágil, de color blanco a crema y sabor suave. Sus basidiosporas son cilíndricas, de pared delgada y unas medidas entre 6,5 a 15,5 μm de largo por 3,0 a 5,0 μm de ancho. Sus basidios, son también cilíndricos y de pared delgada, con apículos que miden entre 20 a 45 μm de largo por 4,0 a 8,5 μm de ancho. Sus micelios presentan crecimiento radial, coloración blanca a crema, y un aspecto denso y algodonosos (Zervakis y Balis, 1996).



Figura 4. Basidiocarpo de *P. ostreatus*.

FUENTE: cortesía de Camilo Pineda Soto

CULTIVO

Pleurotus spp. se cultiva comercialmente sobre aserrín, sin embargo la reducción de las zonas forestales, el aumento de la consciencia de protección de bosques y el alto costo de éste sustrato lignocelulósico ha provocado la incorporación de residuos agroindustriales como las pajas de arroz y de trigo, lo que implica un menor costo de adquisición y una disminución del impacto ambiental (Liang, Wu, Shieh, y Cheng, 2009). También se ha evaluado el crecimiento de estos hongos saprófitos en otros sustratos, ya sea individuales o combinados, tal y como se relaciona en la tabla 1. Esta forma de cultivo se denomina Fermentación en Estado Sólido (FES) (García-Rollan, 1998).

Tabla 1. Residuos agroindustriales empleados como sustrato de cultivo de *Pleurotus* spp

Sustratos	Especie fúngica	Referencias
Paja de arroz y médula de coco; individualmente como combinados con residuos de digestor de biogás (BDR).	<i>P. florida</i> <i>P. flabellatus</i> .	(Chanakya, Malayil y Vijayalakshmi, 2015)
Residuos de naranja	<i>P. pulmonarius</i>	(Elisashvili <i>et al.</i> , 2006; Inácio, Ferreira, Giatti, y Souza, 2015)
Hojuelas de salvado de trigo, cáscaras de banano, paja de arroz y café molido.	<i>P. ostreatus</i>	(El-Batal, ElKenawy, Yassin, y Amin, 2015)
Cartón y papel de oficina.	<i>P. ostreatus</i> <i>P. citrinopileatus</i>	(Fernandes, Barros, Martins, Herbert, y Ferreira, 2015; Kulshreshtha, Mathur, Bhatnagar, y Kulshreshtha, 2013)
Torta de semillas de <i>Jatropha curcas</i> .	<i>P. ostreatus</i> .	(da Luz <i>et al.</i> , 2013)
Serrín de madera de caucho	<i>P. pulmonarius</i>	(Abdullah, Ismail, Johari, y Annuar, 2013)
Malezas secas con paja de arroz.	<i>P. ostreatus</i> .	(Das y Mukherjee, 2007)
Paja de arroz y de banana.	<i>P. ostreatus</i> <i>P. sajor-caju</i> .	(Bonatti <i>et al.</i> , 2004)
Pasto, pulpa de café e hidróxido de calcio.	<i>P. ostreatus</i> .	(Hernández, Sánchez y Yamasaki, 2003)
Tallo de algodón, fibra de coco, rastrojo de sorgo.	<i>P. sajor-caju</i> <i>P. citrinopileatus</i> <i>P. platypus</i>	(Ragunathan y Swaminathan, 2003)
Hojas de avellana, de tilia y de álamo europeo, paja de trigo, serrín de papel de desecho.	<i>P. ostreatus</i>	(Yildiz <i>et al.</i> , 2002)
Paja de arroz, rastrojo de maíz, bagazo de caña de azúcar, la médula de coco y una mezcla de estos.	<i>P. sajor-caju</i> <i>P. platypus</i> <i>P. citrinopileatus</i> .	(Ragunathan <i>et al.</i> , 1996)
Hojas de <i>Morus alba</i> y <i>Ricinus communis</i> .	<i>P. sajor-caju</i> .	(Madan, Vasudevan y Sharma, 1987)
Paja de arroz suplementado con semillas de algodón.	<i>P. sajor-caju</i> .	(Bisaria, Madan, y Bisaria, 1987)
Cascarilla de arroz y paja de trigo suplementadas con piedra caliza molida y SLR	<i>P. cornucopiae</i>	(Royse, 2002)
Grano de trigo y paja de trigo	<i>P. ostreatus</i>	(Sainos, Díaz, Loera, Montiel, y Sánchez, 2006)

FUENTE: el autor

A escala laboratorio se prefiere la Fermentación en Estado Líquido (FEL), donde el micelio crece como una capa flotante en medio estático o como pellet en medio agitado. La FEL es más viable que la FES porque favorece la homogeneidad de la solución, el control de variables, la recuperación de productos, la reproducibilidad de los experimentos, la remoción de calor, la transferencia de gases, entre otros aspectos (Suárez y Nieto, 2016).

En la tabla 2 se listan los principales medios empleados para su cultivo en medio líquido.

Tabla 2. Medios empleados para la Fermentación en Estado Líquido de *Pleurotus* spp.

Medio de cultivo	Especie	Referencias
Caldo de Dextrosa – Saboraud	<i>P. cystidiosus</i>	(Bonatti <i>et al.</i> , 2004; Khatun, 2015); (Dulay, 2004; Khatun, 2015); (Cakilcioglu, Guler, y Chatterjee, 2015).
Caldo de Dextrosa de Patata	<i>P. ostreatus</i>	Por lo tanto, según Mori, Rathi, y Kondo, colaboradores (2015) son de alto valor gastronómico y potencial para la producción de nutraceuticos, (Aydinler <i>et al.</i> , 2013).
Extracto de levadura - azúcar marrón	<i>P. pulmonarius</i>	nutraceuticos (Yang, Li, Li, Li, y Li, 2009), cosmocéuticos, nutricosméticos, entre otros. (Perez, Sabor, Blaz, y Kufreuma, 2006)
Efluente textil	<i>P. flabellatus</i>	
Vinazas y extractos líquidos de pulpa de café	<i>P. ostreatus</i>	
Medio Extracto de Malta	<i>P. calyptratus</i>	(Eichlerová, Homolka, Lisá, y Nerud, 2005)
Medio Kirk	<i>P. calyptratus</i>	principalmente polisacáridos y glicoproteínas, de los cuales los predominantes son la quitina, la hemicelulosa, α -glucanos y β -glucanos, que al ser los constituyentes de la pared celular del actúan como fibra dietética (Khan y Tania, 2012).

Fuente: el autor

El cultivo de *Pleurotus* es de gran interés, ya que presenta menor tiempo de producción en comparación con otros hongos comestibles, presenta bajos costos de producción porque se emplean residuos agroindustriales como sustrato, y el hongo es resistente a plagas y enfermedades (Bonatti *et al.*, 2004).

VALOR NUTRICIONAL

Las setas ostra son apreciadas por su agradable sabor y rico contenido nutricional, el cual se ve influenciado por parámetros como el grado de desarrollo y las condiciones pre y post-cosecha, que justifican la variabilidad de los datos en las investigaciones, así se trabaje con las mismas especies (Bano, Rajarathnam, y Steinkraus, 1988).

Por lo general, estas setas presentan altas cantidades de proteínas, hidratos de carbono, minerales (calcio, fósforo, hierro) vitaminas (tiamina, riboflavina, niacina, calciferol) y antioxidantes (compuestos fenólicos, tocoferol y ácido ascórbico). También presentan bajo contenido de lípidos, no obstante, son fuente significativa de ácidos grasos

(oleico y saturados, principalmente)

(Bonatti *et al.*, 2004; Khatun, 2015); (Dulay, 2004; Khatun, 2015); (Cakilcioglu, Guler, y Chatterjee, 2015).

Por lo tanto, según Mori, Rathi, y Kondo, colaboradores (2015) son de alto valor

gastronómico y potencial para la producción de nutraceuticos, (Aydinler *et al.*, 2013).

nutraceuticos (Yang, Li, Li, Li, y Li, 2009), cosmocéuticos, nutricosméticos, entre otros. (Perez, Sabor, Blaz, y Kufreuma, 2006)

(Eichlerová, Homolka, Lisá, y Nerud, 2005)

principalmente polisacáridos y glicoproteínas, de los cuales los

predominantes son la quitina, la hemicelulosa, α -glucanos y β -glucanos, que al ser los constituyentes de la pared celular del actúan como fibra dietética (Khan y Tania, 2012).

Además, constituyen una alternativa para sustituir la carne en una dieta vegetariana, ya que contienen todos los aminoácidos esenciales para el ser humano, y su contenido de proteína cruda a pesar de ser inferior al de la

carne es superior al de la mayoría de alimentos vegetales (Kakon, Choudhury, y Shusmita, 2012).

VALOR MEDICINAL

La evidencia científica reconoce el valor medicinal otorgado por la medicina tradicional a *Pleurotus* spp., como productor de metabolitos con propiedades antibióticas, antivirales, anticancerígenas, antitumorales, antiinflamatorias, inmunomoduladoras e hipocolesterolémicas. Se ha aislado a partir de la biomasa fúngica una gran cantidad de compuestos como lectinas, polisacáridos, polisacáridos péptidos, complejos de polisacárido-proteína, terpenoides, policétidos, ácidos grasos, entre otros. De la gran variedad de polisacáridos (carbohidratos) producidos por *Pleurotus* son de gran interés los beta-glucanos, principalmente por su actividad inmunomoduladora, aunque recientemente se han conocido nuevas bioactividades (Gomes-Corrêa *et al.*, 2016).

Por otro lado, las orellanas pueden ser usadas para la expresión de vacunas de bajo costo, luego de transformación mediada por *Agrobacterium* o transformación de protoplastos mediada por electroporación o tratamiento con polietilenglicol/CaCl₂ (Pérez, Acevedo, Bibbins, Galván, y Rosales, 2015).

SUSTANCIAS BIOACTIVAS

Polisacáridos

Los polisacáridos más abundantes son quitina, hemicelulosas, α -glucanos, β -glucanos, mananos, xilanos y galactanos, que al igual que los polisacáridos originados de otros productos

alimenticios, contribuyen al proceso de digestión como fibras dietéticas solubles o insolubles, dependiendo de su estructura molecular y conformación (Synytsya *et al.*, 2009). Su bioactividad varía conforme a diferentes propiedades como la solubilidad en agua, el peso molecular, la velocidad de ramificación y la estructura (Wasser, 2002). La inmunidad se exhibe por una serie de glicanos que se extienden desde los homopolímeros hasta los heteropolímeros altamente complejos, siendo necesarios los enlaces β -1,3 y la estructura terciaria. La fuente principal de polisacáridos biológicamente activos parece ser las paredes celulares de hongos que consisten principalmente de complejos quitina-glucano, aunque la quitina no tenga actividad inmunomoduladora (Devi *et al.*, 2013; Synytsya *et al.*, 2009).

Los alfa-glucanos desempeñan múltiples funciones biológicas y tienen un inmenso potencial en las industrias de la salud, alimentos y cosméticos debido a sus efectos terapéuticos y su toxicidad relativamente baja (Shi, 2016). Algunos de los α -glucanos reportados en la literatura para son los siguientes: cadena lineal de glucosa unida por enlaces α -1,3 (Synytsya *et al.*, 2009); cadena lineal de glucosa unida por enlaces α -1,4; cadena principal de galactosa unida por enlaces α -1,3- α -1,6 (Palacios *et al.*, 2012); cadena principal de galactosa unida por enlaces α -1,6 con ramificaciones de glucosa α -1,2- α -1,6 (Sun y Liu, 2009), entre otros, las cuales han exhibido diferentes actividades biológicas: antioxidante (Zhang, Dai, Kong, y Chen, 2012), inmunomoduladora, antitumoral (Kong *et al.*, 2014), dislipidémica (Yan Zhang *et al.*, 2017), antidemencial (Yan Zhang *et al.*, 2016), antidiabética (Yan

Zhang, Hu, *et al.*, 2016) y gastroprotectora (Qi Yang *et al.*, 2012).

Los β -glucanos son los que presentan mayor actividad inmunomoduladora; junto con la quitina, los β -glucanos constituyen los principales componentes de la pared celular fúngica actuando como polisacáridos estructurales, aunque también pueden ser excretados al medio (Suárez Arango y Nieto, 2013). El principal β -glucano descrito para *Pleurotus* es el pleurán (Jesenak *et al.*, 2014), aunque el primero en reportarse fue el HA (Yoshioka *et al.*, 1985). El pleurán presenta una estructura semejante a los betaglucanos del resto de basidiomicetes, es decir, una cadena principal de glucosa con enlaces glucosídicos β -(1,3) y sustituciones de glucopiranosil en O-6 al lado de los extremos no reductores (Bergendiova, Tibenska, y Majtan, 2011), como indica la figura 5. Aunque se ha aislado algunos β -glucanos con estructura diferente como este: cadena principal de glucosa con enlaces β -(1,4) y ramificaciones β -(1,6) con o sin enlaces β -(1,3) aleatorios (Chen, Xu, Lin, y Cheung, 2014).

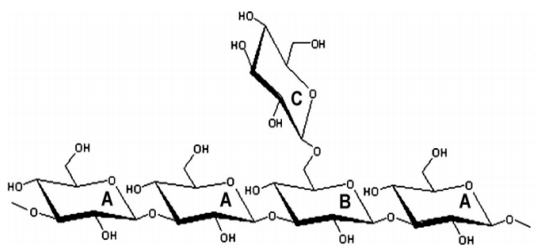


Figura 5. Estructura química del β -glucano fúngico.

Fuente: (Baggio *et al.*, 2010)

Se reporta que los β -glucanos de *Pleurotus ostreatus* presentan actividad biológica antialérgica (M. Jesenak *et al.*, 2014), antioxidante (Khan *et al.*, 2017), antibacteriana (Bergendiova *et al.*,

2011), antiinflamatoria, inmunomoduladora (M. Jesenak *et al.*, 2014), antitumoral (Facchini *et al.*, 2014), prebiótica (Li y Shah, 2015), entre otras.

También se han estudiado heteroglucanos de enlaces mixtos con actividad inmunomoduladora notable, asociada principalmente con el refuerzo inmunitario y la apoptosis de las células cancerosas (Devi, Behera, Mishra, y Maiti, 2015). Su estructura consta de una cadena principal de glucosa y fucosa unidas por enlaces α -1,2- β -1,6, con ramificaciones de manosa y glucosa unidas por enlaces α -1,6 (Patra *et al.*, 2013), como indica la figura 6.

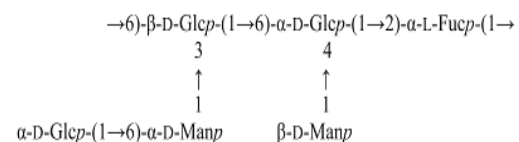


Figura 6. Estructura química del heteroglucano de *P. ostreatus*.

Fuente: (Patra *et al.*, 2013)

Proteínas

P. ostreatus presenta mayor concentración de cisteína, ácido aspártico, histidina, arginina, fenilalanina y metionina que *Lentinula edodes* y *Agaricus bisporus*, siendo los últimos cuatro aminoácidos de gran importancia ya que no pueden ser sintetizados por el cuerpo humano (Mattila *et al.*, 2002). Así mismo, *Pleurotus* es el hongo comestible de talla comercial, con los niveles más altos de ergotioneína, un aminoácido con actividad antioxidante (S. Y. Chen *et al.*, 2012). Otros aminoácidos de *P. ostreatus* han mostrado diferentes actividades biológicas como se enuncia a continuación: antitumoral por la arginina

y glutamina (Facchini *et al.*, 2014), antihipertensiva por el ácido γ -aminobutírico (L. Chen *et al.*, 2014), antioxidante por el glutatión (tripéptido formado por glutamato, cisteína y glicina) (Kalaras *et al.*, 2017).

Las lectinas son proteínas de origen no inmune o glicoproteínas, que son capaces de inducir la aglutinación celular, por lo que su principal función es mediar la respuesta inmunitaria (Brechtel, Wätzig, y Rüdiger, 2001). Se ha demostrado que las lectinas de *P. ostreatus* tienen actividad biológica inmunomoduladora (W. Gao *et al.*, 2013), antifatulenta (Brechtel *et al.*, 2001), antioxidante (Rana *et al.*, 2012), anticancerígena (específicamente hepatoma y carcinoma) (H. Wang, Gao, y Ng, 2000), supresora de la ingesta de alimentos (Kawagishi *et al.*, 2000), e inductora de la actividad fosfatasa, importante en la síntesis de proteínas y la calcificación del sistema óseo (Conrad y Rüdiger, 1994).

La glicoproteína con secuencia terminal del tipo ubiquitina expresa actividad inhibidora hacia la transcriptasa inversa del Virus de la Inmunodeficiencia Humana 1 (VIH-1), lo cual podría potenciarse mediante succinilación (H. X. Wang y Ng, 2000). Las glicoproteínas altamente glicosiladas o proteoglicanos, muestran actividad antitumoral (Facchini *et al.*, 2014) y prebiótica (Synytsya *et al.*, 2009).

Enzimas como la Catalasa (CAT), Superóxido Dismutasa (SOD), Glutatión Peroxidasa (Gpx) y Glutatión S-Transferasa (GST) presentan actividad antioxidante. Son capaces de aliviar la citotoxicidad causada por Tetracloruro de Carbono (CCl₄) en los riñones, el corazón y el cerebro (Jayakumar *et al.*,

2008). La lacasa presenta actividad antiviral frente al Virus de la Hepatitis C (VHC), mostrando una eficacia de aproximadamente el 50% (El-fakharany *et al.*, 2010) y degrada tanto el Bisfenol A (BPA) como las aflatoxinas, que son compuestos tóxicos y mutagénicos que contaminan los alimentos (Alberts *et al.*, 2009; C. Zhang *et al.*, 2015).

Lípidos

El ácido linoleico de *P. ostreatus* tiene la capacidad de absorber radicales de oxígeno e inhibir la Ciclooxygenasa (COX), por lo que influye positivamente en el perfil lipídico de los pacientes (Schneider *et al.*, 2011).

El ergosterol, esteroide precursor de la vitamina D2 (ergocalciferol) presente en la membrana celular, muestra actividad antiinflamatoria, antioxidante, cardiovascular, antimicrobiana y antitumoral (Facchini *et al.*, 2014; Hashim *et al.*, 2016). Derivados bioactivos del ergosterol como el ergosta-4,6,8,22-tetraen-3-1 y ésteres de ácidos grasos presentan actividad hipocolesterolemica (Chobot *et al.*, 1997).

Las hormonas esteroides como la testosterona, androstenediona, progesterona y sus productos metabólicos acetato de testosterona y testololactona tienen potencial como reguladores hormonales, ya que *P. ostreatus* expresa constitutivamente 17 β -hidroxiesteroide deshidrogenasa (17 β -HSD) (Plemenitaš *et al.*, 1999).

Las saponinas de *P. ostreatus* son importantes por su actividad biológica hipoglicémica (Tochukwu, Monago, & Chuku, 2016) y antioxidante (Unekwu, Adu, Makun, & Chidi, 2014).

Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos del hongo exhiben por lo general actividad antioxidante (Cilerdzic *et al.*, 2015), aunque también se reporta actividad biológica hipoglucémica (Tochukwu, Monago, y Chuku, 2016) y efectos inhibidores de tirosinasa, una enzima que cataliza la producción de melanina y de otros pigmentos de oxidación de la tirosina, los cuales provocan el oscurecimiento de la piel y/o la aparición de manchas (Alam *et al.*, 2010).

Los taninos hidrolizables como la catequina han mostrado actividad antioxidante (Unekwu *et al.*, 2014) e inmunomoduladora, siendo eficaces en la activación de macrófagos, la hematopoyesis y la estimulación de la inmunidad humoral (Llauradó *et al.*, 2016).

Diversos estudios han afirmado que tanto los flavonoides como las antocianinas (glucósidos de las antocianidinas) de *P. ostreatus* presentan actividad biológica hipoglucémica (Tochukwu *et al.*, 2016), mientras la miricetina presenta propiedades antioxidantes (Papaspayridi *et al.*, 2011). No obstante, una investigación realizada recientemente aseveró que los flavonoides no se producen en el reino fungi, ya que no se encuentran en las bases de datos genómicas secuencias que codifiquen chalcona sintasa o chalcona isomerasa (enzimas clave implicadas en la ruta biosintética del flavonoide), incluso en hongos completamente secuenciados; además, el 91% de las publicaciones efectuadas hasta la fecha utilizaron un método colorimétrico de cuantificación de flavonoides específico para plantas,

no para hongos (Gil-Ramírez *et al.*, 2016).

El ácido 4-hidroxi-benzoico, derivado fenólico del ácido benzoico, muestra potente actividad antioxidante, al igual que los ácidos hidroxicinámicos ferúlico y *p*-cumárico (Gasecka *et al.*, 2015; Papaspayridi *et al.*, 2011).

Terpenos

Los terpenos de *Pleurotus ostreatus* han mostrado actividad biológica antioxidante (Unekwu *et al.*, 2014). El escualeno (2,6,10,15,19,23-hexametiltetracosahexano) es un terpeno presente en *P. ostreatus* (Yusef, Threlfall, y Goodwin, 1965), con diversas funciones biológicas como la prevención del deterioro celular, la mejora de la inmunidad y la reducción del perfil lipídico, ya que es intermediario del colesterol (W. Zhang *et al.*, 2008).

La ubiquinona o Coenzima Q10 (2,3-dimetoxi-5-metil-6-decaprenil-1,4-benzoquinona) es un politerpeno también presente en *P. ostreatus* (Yusef *et al.*, 1965), que cumple dos funciones principales en el organismo: transportar electrones durante el metabolismo energético de la célula y servir como antioxidante, por lo que contrarresta el deterioro celular (Hathcock y Shao, 2006).

Vitaminas

P. ostreatus puede sintetizar las dos formas de vitamina B3, ácido nicotínico y nicotinamida, constituyendo per se un suplemento nutricional (Papaspayridi *et al.*, 2011). La vitamina B3 es una coenzima esencial implicada en las reacciones redox del metabolismo celular (W. P. Sun *et al.*, 2017).

Se reporta que *P. ostreatus* sintetiza Vitamina D en forma de ergocalciferol (D₂), lumisterol, tachysterol y 22-Dihidroergocalciferol (D₄), la cual juega un rol importante en la homeostasis ósea y neuromuscular del humano, así como en la protección cardiovascular (Huang, Lin, y Tsai, 2015; Krings y Berger, 2014; Taofiq *et al.*, 2017).

P. ostreatus produce también carotenoides como el β-caroteno y el licopeno (ψ-Caroteno), isoprenoides de gran importancia porque son supresores de radicales libres que evitan la oxidación del colesterol, reduciendo así el daño oxidativo de los tejidos (Vamanu, 2013).

Estatinas

P. ostreatus sintetiza policétidos como las estatinas. La lovastatina o mevinolina

es un tipo de estatina que inhibe la HMG-CoA reductasa (HMGCR), enzima que regula la velocidad de producción del colesterol, por lo que reduce el riesgo de enfermedades coronarias (S. Y. Chen *et al.*, 2012). A su vez, la inhibición de HMGCR controla la producción de mevalonato y metabolitos posteriores que recientemente se identificaron como implicados en el crecimiento y la apoptosis en muchos tipos de cáncer (Kim, Jang, Nam, y Kang, 2017).

CONCLUSIONES

Pleurotus spp. es una seta con gran potencial en la industria farmacéutica, gracias a los diferentes metabolitos bioactivos que produce. Además, su cultivo por Fermentación en Estado Sólido (FES) es económico, rápido y amigable con el medio ambiente.

REFERENCIAS

- Abdullah, N., Ismail, R., Johari, N. M. K., & Annuar, M. S. M. (2013). Production of liquid spawn of an edible grey oyster mushroom, *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél by submerged fermentation and sporophore yield on rubber wood sawdust. *Scientia Horticulturae*, *161*, 65–69. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.06.026>
- Agricultural Marketing Resource Center, A. (2014). Mushrooms profile. Retrieved from <http://www.agmrc.org/commodities-products/specialty-crops/mushrooms-profile/>
- Agriculture and Agri-Food Canada. (2009). Consumer Trends: Functional Foods. *Market Analysis Report*, (December), 10.
- Alam, N., Yoon, K. N., Lee, K. R., Shin, P. G., Cheong, J. C., Yoo, Y. B., ... Lee, T. S. (2010). Antioxidant Activities and Tyrosinase Inhibitory Effects of Different Extracts from *Pleurotus ostreatus* Fruiting Bodies. *Mycobiology*, *38*(4), 295–301. <https://doi.org/10.4489/MYCO.2010.38.4.295>
- Alberts, J. F., Gelderblom, W. C. A., Botha, A., & van Zyl, W. H. (2009). Degradation of aflatoxin B1 by fungal laccase enzymes. *International Journal of Food Microbiology*, *135*(1), 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.07.022>
- Baggio, C. H., Freitas, C. S., Martins, D. F., Mazzardo, L., Smiderle, F. R., Sasaki, G. L., ... Santos, A. R. S. (2010). Antinociceptive effects of (1→3),(1→6)-linked β -glucan isolated from *Pleurotus pulmonarius* in models of acute and neuropathic pain in mice: evidence for a role for glutamatergic receptors and cytokine pathways. *The Journal of Pain : Official Journal of the American Pain Society*, *11*(10), 965–971. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2010.01.005>
- Bano, Z., Rajarathnam, S., & Steinkraus, K. H. (1988). *Pleurotus* mushrooms. Part II . Chemical composition , nutritional value , post-harvest physiology , preservation , and role as human food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *27*(2), 87–158. <https://doi.org/10.1080/10408398809527480>
- Bergendiova, K., Tibenska, E., & Majtan, J. (2011). Pleuran (β -glucan from *Pleurotus ostreatus*) supplementation, cellular immune response and respiratory tract infections in athletes. *European Journal of Applied Physiology*, *111*(9), 2033–2040. Retrieved from <http://link.springer.com/article/10.1007/s00421-011-1837-z>
- Bisaria, R., Madan, M., & Bisaria, V. S. (1987). Biological efficiency and nutritive value of *Pleurotus sajor-caju* cultivated on different agro-wastes. *Biological Wastes*, *19*(4), 239–255. [https://doi.org/10.1016/0269-7483\(87\)90058-9](https://doi.org/10.1016/0269-7483(87)90058-9)
- Bobek, P., Ozdín, O., & Mikus, M. (1995). Dietary oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) accelerates plasma cholesterol turnover in hypercholesterolaemic rat. *Physiological Research / Academia Scientiarum Bohemoslovaca*, *44*(5), 287–291. Retrieved from <http://europepmc.org/abstract/MED/8869262>
- Bonatti, M., Karnopp, P., Soares, H. ., & Furlan, S. . (2004). Evaluation of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju* nutritional characteristics when cultivated in different lignocellulosic wastes. *Food Chemistry*, *88*(3), 425–428. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.050>
- Brechtel, R., Wätzig, H., & Rüdiger, H. (2001). The lectin from the mushroom *Pleurotus ostreatus*: A phosphatase-activating protein that is closely associated with an α -galactosidase activity: A part of this paper has been presented as a preliminary report at the 17th interlec. Meeting 1997 in Würzburg,. *Plant Science*, *160*(5), 1025–1033. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(01\)00349-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00349-1)

- CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY (CIA). (2014). The World Factbook. Retrieved from <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2066.html>
- Chanakya, H. N., Malayil, S., & Vijayalakshmi, C. (2015). Cultivation of *Pleurotus* spp. on a combination of anaerobically digested plant material and various agro-residues. *Energy for Sustainable Development*, 27, 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2015.04.007>
- Chen, L., Xu, W., Lin, S., & Cheung, P. C. K. (2014). Cell wall structure of mushroom sclerotium (*Pleurotus tuber regium*): Part 1. Fractionation and characterization of soluble cell wall polysaccharides. *Food Hydrocolloids*, 36, 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.09.023>
- Chen, S. Y., Ho, K. J., Hsieh, Y. J., Wang, L. T., & Mau, J. L. (2012). Contents of lovastatin, γ -aminobutyric acid and ergothioneine in mushroom fruiting bodies and mycelia. *LWT - Food Science and Technology*, 47(2), 274–278. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.01.019>
- Chobot, V., Opletal, L., Jahodar, L., Patel, A. V., Dacke, C. G., & Blunden, G. (1997). ergosta-4,6,8,22-tetraen-3-one From the edible fungus, *Pleurotus ostreatus* (oyster fungus). *Nutrition*, 45(8), 1669–1671. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(97\)00249-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(97)00249-5)
- Cilerdzic, J., Stajic, M., Vukojevic, J., Milovanovic, I., & Muzgonja, N. (2015). Antioxidant and Antifungal Potential of *Pleurotus ostreatus* and *Agrocybe cylindracea* Basidiocarps and Mycelia. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 17(2), 179–186. Retrieved from <http://www.ingentaconnect.com/content/ben/cpb/2015/00000016/00000002/art00010>
- Conrad, F., & Rüdiger, H. (1994). The lectin from *Pleurotus ostreatus*: Purification, characterization and interaction with a phosphatase. *Phytochemistry*, 36(2), 277–283. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)97061-4](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)97061-4)
- da Luz, J. M. R., Paes, S. A., Torres, D. P., Nunes, M. D., da Silva, J. S., Mantovani, H. C., & Kasuya, M. C. M. (2013). Production of edible mushroom and degradation of antinutritional factors in jatropha biodiesel residues. *LWT - Food Science and Technology*, 50(2), 575–580. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.08.006>
- Das, N., & Mukherjee, M. (2007). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* on weed plants. *Bioresource Technology*, 98(14), 2723–2726. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.09.061>
- Devi, K. S. P., Behera, B., Mishra, D., & Maiti, T. K. (2015). Immune augmentation and Dalton's Lymphoma tumor inhibition by glucans/glycans isolated from the mycelia and fruit body of *Pleurotus ostreatus*. *International Immunopharmacology*, 25(1), 207–217. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2015.01.026>
- Devi, K. S. P., Roy, B., Patra, P., Sahoo, B., Islam, S. S., & Maiti, T. K. (2013). Characterization and lectin microarray of an immunomodulatory heteroglucan from *Pleurotus ostreatus* mycelia. *Carbohydrate Polymers*, 94(2), 857–865. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.02.017>
- Dulay, R. M. R., Ray, K., & Hou, C. T. (2015). Optimization of liquid culture conditions of Philippine wild edible mushrooms as potential source of bioactive lipids. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 4(3), 409–415. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2015.04.003>
- Dumsday, G. (2008). Using biology to add value to waste lignin streams, 29(1), 21–24. Retrieved from <http://microbiology.publish.csiro.au/paper/MA08021.htm>
- Eichlerová, I., Homolka, L., Lisá, L., & Nerud, F. (2005). Orange G and Remazol Brilliant Blue R decolorization by white rot fungi *Dichomitus squalens*, *Ischnoderma resinsum* and *Pleurotus calyptratus*. *Chemosphere*, 60(3), 398–404. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.12.036>
- El-Batal, A. I., ElKenawy, N. M., Yassin, A. S., & Amin, M. A. (2015). Laccase production by *Pleurotus ostreatus* and its application in synthesis of gold nanoparticles. *Biotechnology*

- Reports*, 5, 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.11.001>
- El-fakharany, E. M., Haroun, B. M., Ng, T. B., & Redwan, E. M. (2010). Oyster Mushroom Laccase Inhibits Hepatitis C Virus Entry into Peripheral Blood Cells and Hepatoma Cells. *Protein & Peptide Letters*, 17(1), 1031–1039. <https://doi.org/10.2174/092986610791498948>
- Elisashvili, V., Penninckx, M., Kachlishvili, E., Asatiani, M., & Kvesitadze, G. (2006). Use of *Pleurotus dryinus* for lignocellulolytic enzymes production in submerged fermentation of mandarin peels and tree leaves. *Enzyme and Microbial Technology*, 38(7), 998–1004. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2005.08.033>
- Facchini, J. M., Alves, E. P., Aguilera, C., Gerna, R. M. M., Lange-Silveira, M. L., Wisbeck, E., & Furlana, S. A. (2014). Antitumor activity of *Pleurotus ostreatus* polysaccharide fractions on Ehrlich tumor and Sarcoma 180. *International Journal of Biological Macromolecules*, 68, 72–77. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2014.04.033>
- Fernandes, Â., Barros, L., Martins, A., Herbert, P., & Ferreira, I. C. F. R. (2015). Nutritional characterisation of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P. Kumm. produced using paper scraps as substrate. *Food Chemistry*, 169, 396–400. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.027>
- Gao, W., Sun, Y., Chen, S., Zhang, J., Kang, J., Wang, Y., ... Kang, Y. (2013). Mushroom lectin enhanced immunogenicity of HBV DNA vaccine in C57BL/6 and HBsAg-transgenic mice. *Vaccine*, 31(18), 2273–2280. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2013.02.062>
- Gao, Y. H., Zhou, S., Wang, M., & Xu, A. (2003). Antibacterial and antiviral value of the genus *Ganoderma* P. Karst. Species (Aphyllorphomycetidae): A review. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 5(3), 235–246. <https://doi.org/10.1615/InterJMedicMush.v5.i3.20>
- García-Rollan, M. (1998). *Cultivo de setas y trufas* (3rd ed.). Madrid: Mundi-Prensa libros. Retrieved from <http://setas.servidor-alicante.com/bibliografia/cultivo-de-setas-y-trufas-mariano-garcia-rollan>
- Gasecka, M., Mleczek, M., Siwulski, M., Niedzielski, P., & Kozak, L. (2015). The effect of selenium on phenolics and flavonoids in selected edible white rot fungi. *LWT - Food Science and Technology*, 63(1), 726–731. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.046>
- Gil-Ramírez, A., Pavo-Caballero, C., Baeza, E., Baenas, N., Garcia-Viguera, C., Marín, F. R., & Soler-Rivas, C. (2016). Mushrooms do not contain flavonoids. *Journal of Functional Foods*, 25, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.05.005>
- Gomes-Corrêa, R. C., Brugnari, T., Bracht, A., Peralta, R. M., & Ferreira, I. C. F. R. (2016). Biotechnological, nutritional and therapeutic uses of *Pleurotus* spp. (Oyster mushroom) related with its chemical composition: A review on the past decade findings. *Trends in Food Science & Technology*, 50, 103–117. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.012>
- Hashim, S. N. N. S., Schwarz, L. J., Danylec, B., Mitri, K., Yang, Y., Boysen, R. I., & Hearn, M. T. W. (2016). Recovery of ergosterol from the medicinal mushroom, *Ganoderma tsugae* var. *Janniae*, with a molecularly imprinted polymer derived from a cleavable monomer-template composite. *Journal of Chromatography A*, 1468, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2016.09.004>
- Hathcock, J. N., & Shao, A. (2006). Risk assessment for coenzyme Q10 (Ubiquinone). *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 45(3), 282–288. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2006.05.006>
- Hernández, D., Sánchez, J. E., & Yamasaki, K. (2003). A simple procedure for preparing substrate for *Pleurotus ostreatus* cultivation. *Bioresource Technology*, 90(2), 145–150. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00118-4](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00118-4)

- Huang, S. J., Lin, C. P., & Tsai, S. Y. (2015). Vitamin D2 content and antioxidant properties of fruit body and mycelia of edible mushrooms by UV-B irradiation. *Journal of Food Composition and Analysis*, 42, 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.02.005>
- Inácio, F. D., Ferreira, R. O., Giatti, C., & Souza, M. De. (2015). Production of Enzymes and Biotransformation of Orange Waste by Oyster Mushroom, *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél., 5(1), 1–8. <https://doi.org/10.4236/aim.2015.51001>
- Jayakumar, T., Sakthivel, M., Thomas, P. A., & Geraldine, P. (2008). *Pleurotus ostreatus*, an oyster mushroom, decreases the oxidative stress induced by carbon tetrachloride in rat kidneys, heart and brain. *Chemico-Biological Interactions*, 176(2–3), 108–120. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2008.08.006>
- Jesenak, M., Hrubisko, M., Majtan, J., Rennerova, Z., & Banovcin, P. (2014). Anti-allergic effect of Pleuran (β -glucan from *Pleurotus ostreatus*) in children with recurrent respiratory tract infections. *Phytotherapy Research*, 28(3), 471–474. <https://doi.org/10.1002/ptr.5020>
- Jesenak, M., Majtan, J., Rennerova, Z., Kyselovic, J., Banovcin, P., & Hrubisko, M. (2013). Immunomodulatory effect of pleuran (β -glucan from *Pleurotus ostreatus*) in children with recurrent respiratory tract infections. *International Immunopharmacology*, 15(2), 395–399. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2012.11.020>
- Kakon, A., Choudhury, M. B. K., & Shusmita, S. (2012). Mushroom is an ideal food supplement. *Journal of Dhaka National Medical College & Hospital*, 18(1), 58–62. <https://doi.org/10.3329/jdnmch.v18i1.12243>
- Kalaras, M. D., Richie, J. P., Calcagnotto, A., & Beelman, R. B. (2017). Mushrooms : A rich source of the antioxidants ergothioneine and glutathione. *Food Chemistry*, 233, 429–433. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.109>
- Kawagishi, H., Suzuki, H., Watanabe, H., Nakamura, H., Sekiguchi, T., Murata, T., ... Nagata, T. (2000). A lectin from an edible mushroom *Pleurotus ostreatus* as a food intake-suppressing substance. *Biochimica et Biophysica Acta - General Subjects*, 1474(3), 299–308. [https://doi.org/10.1016/S0304-4165\(00\)00027-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4165(00)00027-1)
- Khan, A. A., Gani, A., Masoodi, F. A., Mushtaq, U., & Naik, A. S. (2017). Structural, rheological, antioxidant, and functional properties of β -glucan extracted from edible mushrooms *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus* and *Coprinus attrimentarius*. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 11, 67–74. <https://doi.org/10.1016/J.BCDF.2017.07.006>
- Khan, M. A., & Tania, M. (2012). Nutritional and Medicinal Importance of *Pleurotus* Mushrooms: An Overview. *Food Reviews International*, 28(3), 313–329. <https://doi.org/10.1080/87559129.2011.637267>
- Khatun, S., Islam, A., Cakilcioglu, U., Guler, P., & Chatterjee, N. C. (2015). Nutritional qualities and antioxidant activity of three edible oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.). *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 72, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2012.03.003>
- Kim, G., Jang, S.-Y., Nam, C. M., & Kang, E. S. (2017). Statin use and the risk of hepatocellular carcinoma in patients at high risk: a nationwide nested case-control study. *Journal of Hepatology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2017.10.018>
- Knop, D., Yarden, O., & Hadar, Y. (2015). The ligninolytic peroxidases in the genus *Pleurotus*: divergence in activities, expression and potential applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99, 1025–1038.
- Kong, F., Li, F. e., He, Z., Jiang, Y., Hao, R., Sun, X., & Tong, H. (2014). Anti-tumor and macrophage activation induced by alkali-extracted polysaccharide from *Pleurotus ostreatus*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 69, 561–566. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.05.045>

- Krings, U., & Berger, R. G. (2014). Dynamics of sterols and fatty acids during UV-B treatment of oyster mushroom. *Food Chemistry*, *149*, 10–14. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.064>
- Kulshreshtha, S., Mathur, N., Bhatnagar, P., & Kulshreshtha, S. (2013). Cultivation of *Pleurotus citrinopileatus* on handmade paper and cardboard industrial wastes. *Industrial Crops and Products*, *41*, 340–346. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.04.053>
- Li, S., & Shah, N. P. (2015). Effects of *Pleurotus eryngii* polysaccharides on bacterial growth, texture properties, proteolytic capacity, and angiotensin-I-converting enzyme-inhibitory activities of fermented milk. *Journal of Dairy Science*, *98*(5), 2949–2961. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9116>
- Liang, Z.-C., Wu, C.-Y., Shieh, Z.-L., & Cheng, S.-L. (2009). Utilization of grass plants for cultivation of *Pleurotus citrinopileatus*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, *63*(4), 509–514. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2008.12.006>
- Llauradó, G., Morris, H. J., Lebeque, Y., Venet, G., Fong, O., Marcos, J., ... Bermúdez, R. C. (2016). Oral administration of an aqueous extract from the oyster mushroom *Pleurotus ostreatus* enhances the immunonutritional recovery of malnourished mice. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, *83*, 1456–1463. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2016.08.067>
- Madan, M., Vasudevan, P., & Sharma, S. (1987). Cultivation of *Pleurotus sajor-caju* on different wastes. *Biological Wastes*, *22*(4), 241–250. [https://doi.org/10.1016/0269-7483\(87\)90110-8](https://doi.org/10.1016/0269-7483(87)90110-8)
- Massadeh, M., Fraija, A., & Fandib, K. (2010). Effect of Carbon Sources on The Extracellular Lignocellulolytic Enzymetic System of *Pleurotus Sajor-Caju*. *Jordan Journal of Biological Science*, *3*(2), 51–54. Retrieved from [http://www.jjbs.hu.edu.jo/files/v3n2/Effect of Carbon Sources on The Extracellular.pdf](http://www.jjbs.hu.edu.jo/files/v3n2/Effect%20of%20Carbon%20Sources%20on%20The%20Extracellular.pdf)
- Mattila, P., Salo-Väänänen, P., Könkö, K., Aro, H., & Jalava, T. (2002). Basic composition and amino acid contents of mushrooms cultivated in Finland. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*(22), 6419–6422. <https://doi.org/10.1021/jf020608m>
- Mazodier, P., & Davies, J. (1991). Gene transfer between distantly related bacteria. *Annual Review of Genetics*, *25*, 147–171.
- Mitra, A. K., & Rodríguez-Fernandez, G. (2010). Latin America and the Caribbean: assessment of the advances in public health for the achievement of the Millennium Development Goals. *Int J Environ Res Public Health*, *7*(5), 2238–2255. <https://doi.org/10.3390/ijerph7052238>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2015). *Informe mundial sobre el envejecimiento y la salud*. New York. Retrieved from http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/186466/1/9789240694873_spa.pdf?ua=1
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, O. (2012). Base de datos. Retrieved from <http://www.who.int/gho/database/es/>
- Palacios, I., García-Lafuente, A., Guillamón, E., & Villares, A. (2012). Novel isolation of water-soluble polysaccharides from the fruiting bodies of *Pleurotus ostreatus* mushrooms. *Carbohydrate Research*, *358*, 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2012.06.016>
- Palmieri, G., Giardina, P., Bianco, C., Fontanella, B., & Sannia, G. (2000). Copper Induction of Laccase Isoenzymes in the Ligninolytic Fungus *Pleurotus ostreatus*. *Applied And Environmental Microbiology*, *66*(3), 920–924.
- Papaspyridi, L.-M., Aligiannis, N., Christakopoulos, P., Skaltsounis, A.-L., & Fokialakis, N. (2011). Production of bioactive metabolites with pharmaceutical and nutraceutical interest by submerged fermentation of *Pleurotus ostreatus* in a batch stirred tank bioreactor.

- Procedia Food Science*, 1(Icef 11), 1746–1752. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.257>
- Patra, S., Patra, P., Maity, K. K., Mandal, S., Bhunia, S. K., Dey, B., ... Islam, S. S. (2013). A heteroglycan from the mycelia of *Pleurotus ostreatus*: Structure determination and study of antioxidant properties. *Carbohydrate Research*, 368, 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2012.12.003>
- Pérez-Martínez, A. S., Acevedo-Padilla, S. A., Bibbins-Martínez, M., Galván-Alonso, J., & Rosales-Mendoza, S. (2015). A perspective on the use of *Pleurotus* for the development of convenient fungi-made oral subunit vaccines. *Vaccine*, 33(1), 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2014.10.059>
- Pérez, S. R., Savón, R. C. B., Díaz, M. S., & Kourouma, A. (2006). Selección de cepas de *Pleurotus ostreatus* para la decoloración de efluentes industriales. *Revista Mexicana de Micología*, 23(9–15), 13–16.
- Plemenitaš, A., Kastelic-Suhadolc, T., Žigon, D., & Žakelj-Mavrič, M. (1999). Steroidogenesis in the fungus *Pleurotus ostreatus*. *Comparative Biochemistry and Physiology - B Biochemistry and Molecular Biology*, 123(2), 175–179. [https://doi.org/10.1016/S0305-0491\(99\)00053-X](https://doi.org/10.1016/S0305-0491(99)00053-X)
- Purnomo, A. S., Mori, T., Putra, S. R., & Kondo, R. (2013). Biotransformation of heptachlor and heptachlor epoxide by white-rot fungus *Pleurotus ostreatus*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 82, 40–44. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.02.013>
- Ragunathan, R., Gurusamy, R., Palaniswamy, M., & Swaminathan, K. (1996). Cultivation of *Pleurotus* spp. on various agro-residues. *Food Chemistry*, 55(2), 139–144. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)00079-8](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)00079-8)
- Ragunathan, R., & Swaminathan, K. (2003). Nutritional status of *Pleurotus* spp. grown on various agro-wastes. *Food Chemistry*, 80(3), 371–375. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00275-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00275-3)
- Rana, T., Bera, A. K., Das, S., Bhattacharya, D., Pan, D., Bandyopadhyay, S., ... Das, S. K. (2012). *Pleurotus florida* lectin normalizes duration dependent hepatic oxidative stress responses caused by arsenic in rat. *Experimental and Toxicologic Pathology*, 64(7–8), 665–671. <https://doi.org/10.1016/j.etp.2010.12.010>
- Reddy, G. V., Ravindra Babu, P., Komaraiah, P., Roy, K. R. R. M., & Kothari, I. L. (2003). Utilization of banana waste for the production of lignolytic and cellulolytic enzymes by solid substrate fermentation using two *Pleurotus* species (*P. ostreatus* and *P. sajor-caju*). *Process Biochemistry*, 38(10), 1457–1462. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00025-6](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00025-6)
- Royse, D. J. (2002). Influence of spawn rate and commercial delayed release nutrient levels on *Pleurotus cornucopiae* (oyster mushroom) yield, size, and time to production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 58(4), 527–531. <https://doi.org/10.1007/s00253-001-0915-2>
- Sainos, E., Díaz-Godínez, G., Loera, O., Montiel-González, A. M., & Sánchez, C. (2006). Growth of *Pleurotus ostreatus* on wheat straw and wheat-grain-based media: Biochemical aspects and preparation of mushroom inoculum. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 72(4), 812–815. <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0363-0>
- Schneider, I., Kressel, G., Meyer, A., Krings, U., Berger, R. G., & Hahn, A. (2011). Lipid lowering effects of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in humans. *Journal of Functional Foods*, 3(1), 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2010.11.004>
- Shah, Z. A., Ashraff, M., & Ishtiaq, M. (2004). Comparative study on cultivation and yield

- performance of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on the different substrates (wheat straw, leaves, sawdust). *Pak J Nut*, 3(3), 158–160.
- Shi, L. (2016). Bioactivities, isolation and purification methods of polysaccharides from natural products: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92, 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.06.100>
- Suárez Arango, C., & Nieto, I. J. (2013). Cultivo biotecnológico de macrohongos comestibles: Una alternativa en la obtención de nutraceuticos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 30(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2012.03.011>
- Suárez, C., & Nieto, J. (2016). Cultivo biotecnológico de macrohongos comestibles : una alternativa en la obtención de nutraceuticos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 30(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2012.03.011>
- Sun, W. P., Zhai, M. Z., Li, D., Zhou, Y., Chen, N. N., Guo, M., & Zhou, S. S. (2017). Comparison of the effects of nicotinic acid and nicotinamide degradation on plasma betaine and choline levels. *Clinical Nutrition*, 36(4), 1136–1142. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2016.07.016>
- Sun, Y., & Liu, J. (2009). Purification, structure and immunobiological activity of a water-soluble polysaccharide from the fruiting body of *Pleurotus ostreatus*. *Bioresource Technology*, 100(2), 983–986. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.06.036>
- Synnytsya, A., Mičková, K., Synnytsya, A., Jablonský, I., Spěváček, J., Erban, V., ... Čopíková, J. (2009). Glucans from fruit bodies of cultivated mushrooms *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii*: Structure and potential prebiotic activity. *Carbohydrate Polymers*, 76(4), 548–556. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.11.021>
- Taofiq, O., Fernandes, Â., Barros, L., Barreiro, M. F., & Ferreira, I. C. F. R. (2017). UV-irradiated mushrooms as a source of vitamin D 2 : A review. *Trends in Food Science & Technology*, In Press. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.10.008>
- Terry, P., Giovannucci, E., Michels, K. B., Bergkvist, L., Hansen, H., Holmberg, L., & Wolk, A. (2001). Fruit, vegetables, dietary fiber, and risk of colorectal cancer. *Journal of the National Cancer Institute*, 93(7), 525–533. <https://doi.org/10.1093/jnci/93.7.525>
- Tochukwu, N. A., Monago, C., & Chuku, L. (2016). Histological Effect of Combined Ethanol Extract of *Moringa oleifera* and *Pleurotus ostreatus* on the Pancreas of Alloxan-induced Diabetic Wistar Albino Rats. *Journal of Applied Life Sciences International*, 5(3), 1–8. <https://doi.org/10.9734/JALSI/2016/26108>
- Unekwu, H. R., Audu, J. A., Makun, M. H., & Chidi, E. E. (2014). Phytochemical screening and antioxidant activity of methanolic extract of selected wild edible Nigerian mushrooms. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 4(S1), S153–S157. [https://doi.org/10.1016/S2222-1808\(14\)60431-X](https://doi.org/10.1016/S2222-1808(14)60431-X)
- Valverde, M. E., Hernández-Perez, T., & Paredes-López, O. (2013). Edible mushrooms: improving human health and promoting quality life. *International Journal of Microbiology*, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2015/376387>
- Vamanu, E. (2013). In vitro antioxidant and antimicrobial activities of two edible mushroom mycelia obtained in the presence of different nitrogen sources. *Journal of Medicinal Food*, 16(2), 155–166. <https://doi.org/10.1089/jmf.2012.0030>
- Wang, H., Gao, J., & Ng, T. B. (2000). A new lectin with highly potent antihepatoma and antisarcoma activities from the oyster mushroom *Pleurotus ostreatus*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 275(3), 810–816. <https://doi.org/10.1006/bbrc.2000.3373>
- Wang, H. X., & Ng, T. B. (2000a). Isolation of a novel ubiquitin-like protein from *Pleurotus*

- ostreatus mushroom with anti-human immunodeficiency virus, translation-inhibitory, and ribonuclease activities. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 276(2), 587–593. <https://doi.org/DOI 10.1006/bbrc.2000.3540>
- Wang, H. X., & Ng, T. B. (2000b). Isolation of a novel ubiquitin-like protein from *Pleurotus ostreatus* mushroom with antihuman immunodeficiency virus, translation-inhibitory, and ribonuclease activities. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 276(2), 587–593.
- Wasser, S. P. (2002). Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides. *Appl Microbiol Biotechnol*, 60, 258–274. <https://doi.org/10.1007/s00253-002-1076-7>
- Yang, Q., Huang, B., Li, H., Zhang, C., Zhang, R., Huang, Y., & Wang, J. (2012). Gastroprotective activities of a polysaccharide from the fruiting bodies of *Pleurotus ostreatus* in rats. *International Journal of Biological Macromolecules*, 50(5), 1224–1228. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.03.020>
- Yang, Q., Li, C., Li, H., Li, Y., & Yu, N. (2009). Degradation of synthetic reactive azo dyes and treatment of textile wastewater by a fungi consortium reactor. *Biochemical Engineering Journal*, 43, 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2008.10.002>
- Yildiz, S., Yildiz, Ü. C., Gezer, E. D., & Temiz, A. (2002). Some lignocellulosic wastes used as raw material in cultivation of the *Pleurotus ostreatus* culture mushroom. *Process Biochemistry*, 38(3), 301–306. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(02\)00040-7](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(02)00040-7)
- Yoshioka, Y., Tabet, R., Saitô, H., Uehara, N., & Fukuoka, F. (1985). Antitumor polysaccharides from *P. ostreatus* (Fr.) quél.: Isolation and structure of a β -glucan. *Carbohydrate Research*, 140(1), 93–100. [https://doi.org/10.1016/0008-6215\(85\)85052-7](https://doi.org/10.1016/0008-6215(85)85052-7)
- Yusef, H. M., Threlfall, D. R., & Goodwin, T. W. (1965). Some lipids of the oidia of *Pleurotus ostreatus*. *Phytochemistry*, 4(4), 559–562. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)86216-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)86216-0)
- Zervakis, G., & Balis, C. (1996). A pluralistic approach in the study of *Pleurotus* species with emphasis on compatibility and physiology of the European morphotaxa. *Mycological Research*, 100(6), 717–731. [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(96\)80205-X](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(96)80205-X)
- Zhang, C., Li, M., Chen, X., & Li, M. (2015). Edible fungus degrade bisphenol A with no harmful effect on its fatty acid composition. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 118, 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.04.020>
- Zhang, W., Zhang, X., Bi, D., Wang, X., Cai, Y., Dai, H., & Chen, S. (2008). Feeding with supplemental squalene enhances the productive performance in boars. *Animal Reproduction Science*, 104(2–4), 445–449. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2007.08.003>
- Zhang, Y., Dai, L., Kong, X., & Chen, L. (2012). Characterization and in vitro antioxidant activities of polysaccharides from *Pleurotus ostreatus*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 51(3), 259–265. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.05.003>
- Zhang, Y., Hu, T., Zhou, H., Zhang, Y., Jin, G., & Yang, Y. (2016). Antidiabetic effect of polysaccharides from *Pleurotus ostreatus* in streptozotocin-induced diabetic rats. *International Journal of Biological Macromolecules*, 83, 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.11.045>
- Zhang, Y., Wang, Z., Jin, G., Yang, X., & Zhou, H. (2017). Regulating dyslipidemia effect of polysaccharides from *Pleurotus ostreatus* on fat-emulsion-induced hyperlipidemia rats. *International Journal of Biological Macromolecules*, 101, 107–116. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2017.03.084>

Zhang, Y., Yang, X., Jin, G., Yang, X., & Zhang, Y. (2016). Polysaccharides from *Pleurotus ostreatus* alleviate cognitive impairment in a rat model of Alzheimer's disease. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92, 935–941. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.08.008>

Instrucciones a los autores

TÍTULO EN ESPAÑOL

English title

Nombre y apellidos¹, Nombre y apellidos² (subrayar el responsable de la correspondencia)

¹Institución, ciudad, País

²Institución, ciudad, País

Autor para correspondencia:

Recibido: día/mes/año

Aceptado: día/mes/año

RESUMEN

Exponga el problema de investigación en una sola oración, si es posible; el método experimental, incluyendo los mecanismos, procedimientos de recopilación de datos, nombres de las pruebas; los hallazgos, incluyendo los niveles de significación estadística; y las conclusiones, implicaciones, recomendaciones y/o aplicaciones. Máximo 120 palabras.

PALABRAS CLAVE: no más de cinco, en orden alfabético, no incluidas en el título del trabajo. Debe basarse en tesauros de gran impacto como el oficial de la UNESCO, SKOS, CAB, EUROVOC, National Agricultural Library (USDA), AGROVOC, MeSH, entre otros específicos del área de estudio.

ABSTRACT

KEYWORDS:

INTRODUCCIÓN

La introducción presenta la teoría que sustenta la experimentación. Contiene el planteamiento del problema, el desarrollo de los antecedentes, fundamentación y objetivos. Las contribuciones enviadas a la revista deben abordar temáticas relacionadas con el desarrollo de la Bioeconomía con base Biotecnológica en los campos agrícola, alimentos, salud, ambiente, energías e industria.

Se aceptarán contribuciones de los siguientes tipos: revisión, de investigación, de reflexión, metodológicos, estudios de caso y notas breves. Se aceptarán solamente contribuciones inéditas, **no sometidas** al mismo tiempo a ninguna otra publicación impresa o digital. El envío de estas contribuciones supone el compromiso del autor a **ceder sus derechos** a la revista. Serán enviadas al correo electrónico biorrefinería.ceba@gmail.com y sometidas al sistema de revisión por pares, en la modalidad abierta al editor asociado, manteniendo el anonimato. Este recurso es inapelable.

Las contribuciones se escribirán en español o inglés con fuente Calibri Light, tamaño de 12 puntos, interlineado sencillo, un espacio entre párrafos y una extensión máxima de 8 páginas. El formato del papel debe ser A4, con márgenes de 2 cm a cada lado. El procesador de texto a utilizar será Microsoft Word. Los títulos se escribirán en negrita y mayúscula sostenida, mientras que los subtítulos tendrán sólo la primera letra en mayúscula. Las tablas deben crearse en Word y separarse únicamente con líneas horizontales. Las figuras (fotografías, gráficos, esquemas) deben insertarse en formato JPG con una resolución de 300 dpi y enviarse también como documento adjunto. Las tablas y figuras se citarán en el texto de acuerdo al orden de aparición y en el siguiente formato: Tabla 1, Fig. 1, Figs. 1 y 2, Fig. 1(A) (cuando una imagen se subdivide en varios recuadros), se insertarán en el lugar exacto de aparición y se acompañarán de su correspondiente título y pie de figura, respectivamente. El número de tablas y figuras no será superior a 5 para artículos y 3 para notas breves. Las unidades de medida a utilizar serán las especificadas en el Sistema Internacional de Unidades. Los separadores de decimales serán la coma para artículos en español y el punto para artículos en inglés. La estructura de los artículos de revisión es libre y notas breves, siempre y cuando no sobrepase las 10 páginas en el formato de fuente indicado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Informe en tiempo pretérito qué es lo que usted hizo y cómo lo hizo, incluyendo la descripción de participantes (muestras), Herramientas o materiales, método estadístico, diseño experimental (incluyendo nivel de confianza) y procedimiento. Identifique en el texto todos los reactivos utilizados (reseñando el nombre del fabricante y el país entre paréntesis), el modelo de cada equipo y el sitio de obtención del material biológico (incluyendo las coordenadas del sitio de recolección).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados responden a los objetivos planteados en el experimento, incluyendo el análisis estadístico y los hallazgos relevantes. Los resultados se pueden presentar en tablas y/o figuras, siendo preferibles las figuras. Las discusiones interpretan los resultados obtenidos con base en la teoría y los contrastan con los resultados de otros autores, se escriben en tiempo presente.

CONCLUSIONES

Las conclusiones responden al problema científico expuesto en la introducción el cual dio origen al experimento. Incluyen consecuencias, deducciones y generalizaciones que emanan de la evidencia aportada por los resultados y su interpretación. Sintetiza la idea planteada y los argumentos que se utilizaron para sustentarla. Evalúa lo planteado, señalando sus alcances y sus limitaciones. Plantea implicaciones o nuevos interrogantes al problema y recomendaciones. Escribir en tiempo presente.

AGRADECIMIENTO (opcional)

Se mencionarán las fuentes de financiación de los proyectos de investigación y/o apoyos recibidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Se aplicará la norma APA tanto para citación como para referenciación. Se recomienda usar un software.

Contacto: biorrefineria.ceba@gmail.com