



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

Posgrado en Ciencias en Bioprocesos

**Aprovechamiento de residuos de la industria
Cervecera utilizando los hongos *P. ostreatus* y
P. djamor en un cultivo a escala piloto**

Tesis que para obtener el grado de:

Maestría en Ciencias en Bioprocesos

Presenta:

Luis Alejandro Castillo González

Director de Tesis

Dra. Luz María Teresita Paz Maldonado

SAN LUIS POTOSÍ, S. L. P.

Agosto 2024



UASLP-Sistema de Bibliotecas

Repositorio Institucional Tesis Digitales Restricciones de Uso DERECHOS RESERVADOS

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en este Trabajo Terminal está protegido por la Ley Federal de Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos.

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde se obtuvo, mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto o con fines de lucro, reproducción, edición o modificación será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Licencia de Creative Commons



Aprovechamiento de residuos de la industria Cervecera utilizando los hongos *P. ostreatus* y *P. djamor* © 2024 por Castillo González Luis Alejandro se distribuye bajo una licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinDerivados 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Este proyecto se realizó en Laboratorio de Ingeniería en Biorreactores adscrito a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, en el periodo comprendido entre agosto del 2022 y agosto del 2024, bajo la dirección de la Dra. Luz María Teresita Paz Maldonado y fue apoyado por fondos propios de la investigadora y en apoyo con el sector industrial con el M.C. Rubén Darío Cárdenas Duarte Gerente de Calidad de la Microcervecera “La Legendaria” de SLP.

El programa de Maestría en Ciencias en Bioprocesos de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí pertenece al Sistema Nacional de Posgrados de Calidad (SNP) del CONAHCYT, registro 000588. Número de la beca otorgada por CONAHCYT: 834321 con número de CVU 1234886.

Los datos del trabajo titulado Aprovechamiento de residuos de la industria Cervecera utilizando los hongos *P. ostreatus* y *P. djamor* en un cultivo a escala piloto, se encuentran bajo el resguardo de la Facultad de Ciencias Químicas instalación y pertenecen a la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
Facultad de Ciencias Químicas
Centro de Investigación y Estudios de Posgrado
Posgrado en Ciencias de Bioprocesos
Programa de Maestría

Formato M15

Solicitud de Registro de Tesis Maestría

San Luis Potosí SLP a 11 / 04 / 2022

Comité Académico

En atención a: **Dr. Alejandro Rocha Uribe**

Por este conducto solicito a Usted se lleve a cabo el registro de tema de tesis de Maestría, el cual quedo definido de la siguiente manera: Aprovechamiento de residuos de la industria Cervecera utilizando los hongos *P. ostreatus* y *P. djamor* en un cultivo a escala piloto que desarrollará el/la estudiante: IBP. Luis Alejandro Castillo González

bajo la dirección y/o Co-dirección de: Dra. Luz María Teresita Paz Maldonado

Asimismo, le comunico que el proyecto en el cual trabajará el alumno involucrará el manejo de animales de experimentación, estudios con seres humanos o muestras derivadas de los mismos, el manejo y/o generación de organismos genéticamente modificados y requiere de aval de Comité de Ética e investigación de la FCQ.

(Complete la opción que aplique en su caso):

() Sí debido a que: _____

() No

(x) No Aplica

Sin otro particular, quedo de Usted.

A T E N T A M E N T E

IBP. Luis Alejandro Castillo González

Estudiante

Dra. Luz María Teresita Paz Maldonado

Directora de tesis



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

Posgrado en Ciencias en Bioprocesos
Aprovechamiento de residuos de la industria
Cervecera utilizando los hongos *P. ostreatus*
y *P. djamor* en un cultivo a escala piloto.

Tesis que para obtener el grado de:

Maestría en Ciencias en Bioprocesos

Presenta:

Luis Alejandro Castillo González

SINODALES:

Presidente:

Dra. Catalina Arenas Huertero

Secretario:

Dr. Víctor Emanuel Balderas Hernández

Vocal:

Dra. Luz María Teresita Paz Maldonado

Vocal:

M.C. Rubén Darío Cárdenas Duarte

SAN LUIS POTOSÍ, S. L. P.

Agosto 2024

INTEGRANTES DEL COMITÉ TUTORIAL ACADÉMICO

Dra. Luz María Teresita Paz Maldonado, directora de la tesis. Adscrita al Posgrado en Ciencias en Bioprocesos de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S.L.P.

Dra. Catalina Arenas Huertero, asesora. Adscrita al Posgrado en Ciencias en Bioprocesos de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S.L.P.

Dr. Víctor Emmanuel Balderas Hernández, asesor. Profesor invitado adscrito a la División de Biología Molecular del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica.

M.C. Rubén Darío Cárdenas Duarte, asesor. Profesor invitado gerente de calidad de la Microcervecería “La Legendaria”



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
Facultad de Ciencias Químicas
Centro de Investigación y Estudios de Posgrado
Posgrado en Ciencias en Bioprocesos
Programa de Maestría

Formato M5

Carta Cesión de Derechos

San Luis Potosí SLP a 07/ 13 / 2024

En la ciudad de San Luis Potosí el día 07 del mes de Julio del año 2024 El que suscribe Luis Alejandro Castillo González Alumno(a) del programa de posgrado Maestría en Ciencias en Bioprocesos adscrito a Facultad de Ciencias Químicas manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo terminal, realizado bajo la dirección de: Luz María Teresita Paz Maldonado y cede los derechos del trabajo titulado Aprovechamiento de residuos de la industria Cervecera utilizando los hongos *P. ostreatus* y *P. djamor* en un cultivo a escala piloto a la **Universidad Autónoma de San Luis Potosí**, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir de forma total o parcial texto, gráficas, imágenes o cualquier contenido del trabajo sin el permiso expreso del o los autores. Éste, puede ser obtenido directamente con el autor o autores escribiendo a la siguiente dirección luiscastillo13199@gmail.com teresita.paz@uaslp.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

IBP. Luis Alejandro Castillo González

Agradecimientos

A lo largo de este proyecto ha habido un gran número de personas que me han alentado, apoyado, inspirado y motivado a hacer realidad este trabajo, no solo en el ámbito académico o profesional, sino también en el personal y espiritual. No únicamente en los buenos momentos, sino también en los malos, es por eso que este trabajo no es solo mío, sino de todos. No me queda más que agradecer desde lo más profundo de mi ser y con todo el amor que tengo a cada uno de ustedes por haber sido parte de esto.

A mi familia que siempre ha estado ahí para apoyarme, especialmente a mi madre Lizbeth González que me ha dado la fuerza y el coraje de seguir adelante incluso en los momentos más difíciles sabiendo que todo estará bien. Así mismo especialmente a mi abuelita Amada Guerrero por darme la sabiduría necesaria para afrontar cada reto que se ha presentado en el camino, así como la paciencia de escucharme cuando más lo he necesitado. A mis hermanos Carlos, Aliev y Karen Castillo por demostrarme la importancia del trabajo bien pensado y planeado. A mi tía Candy González por brindarme consejos de gran valor. A mi padre Antonio Castillo por apoyarme a su manera.

A mis asesores que han sido invaluableles en este proceso. A la Dra. Teresita Paz gracias por la confianza brindada en todo este tiempo, por confiar en mi y en mi “buen” criterio incluso cuando ni yo tenía la más mínima idea de lo que estaba haciendo, gracias por todo el apoyo que me brindó, las oportunidades invaluableles y por siempre estar ahí cuando más lo necesite. Al MC. Rubén Cárdenas por ser de las primeras personas en apoyar este proyecto no solo con materia prima, sino también con asesorías y con proyección del proyecto a un plano nacional e internacional. A los doctores Catalina Arenas y Víctor Balderas, gracias por sus asesorías y su saber invaluable que han sido de gran ayuda para que este proyecto siguiera un camino único, más completo y sólido.

A los doctores que si bien no han sido parte de mi comité tutorial han sido un gran apoyo con su conocimiento y consejos. Al Dr. Luis Martínez, gracias por todas sus enseñanzas y por ser un gran apoyo desde que este proyecto inicio en la licenciatura, gracias por siempre estar al pendiente de mi, por su amistad y por apoyarme siempre. A la Dra. Ana Pérez, gracias por sus consejos y las pláticas tan emotivas que me han llenado de conocimiento y diversión en los momentos incluso más estresantes. A la maestra Gloria Sosa por enseñarme y apoyarme con las técnicas correspondientes a los análisis proximales de los hongos, al doctor Samuel por su apoyo en la determinación de lípidos. Al Dr. Alejandro Uribe por el apoyo brindado a lo largo de mi desarrollo en el posgrado y por siempre tener en cuenta nuestro proyecto. A los doctores Avelina Franco, Claudia Escudero, Jorge Toro, María González, Marco Sánchez y todos los que me en algún momento me dieron clases y asesorías, gracias por transmitirme su conocimiento y buscar siempre mi mejor versión como estudiante.

A mis asesorados de proyecto terminal Guillermo Flores, Miriam Aranda, Polet Juárez y Esmeralda Moreno. Gracias por la confianza y permitirme ser parte de su formación académica, sin duda alguna me dejan muchísimas lecciones y aprendizajes que van más allá de lo profesional, además de amistades invaluable.

A las personas de servicio social Francisco Ipiña, Rubén Martínez, Óscar Vega, Mariana Castro, Camila Torres, Diana Suárez, Itzel Macias y Betsabé Sánchez cuyo apoyo a lo largo de los experimentos ha sido de vital importancia, gracias por su entrega, tiempo, dedicación, amistad y por siempre apoyar en cada momento. A Alondra Govea quien fue mi mano derecha en el último medio año, gracias por todo tu apoyo no solo con este proyecto, sino con todos los que se realizaron en este último periodo, por tus ganas de aprender, tu proactividad y amistad.

Por último, pero no menos importante a mis más grandes amigos Griselda Salazar, Óscar Sánchez, Leonardo Iruzco que han sido piezas clave en todo este proceso gracias por todo su apoyo y coraje para seguir con esto a pesar de lo complicado que se veía en muchas ocasiones, gracias por sus consejos y por creer en mi. Así mismo también a todos mis amigos durante el proceso Rogelio Franco, Thabata Hernández,

Francisco Flores, Francisco Valerio, Edwin Hernández, Luis Rodríguez, ing. Harold, Pamela García, Laura Torres, Cristina Martínez, Margarita Almendariz, Pablo González, Irma Villalpando, Alan Ayala, Diego López, Eduardo Alarcón, Jorge Tenorio, Enrique Muñoz, Jorge Monasterio, Diana Quezada, Daniela Ordaz, Arturo Almaguer, Jaqueline Sánchez, mis amigos de congresos y todos en general, muchas gracias por tantos momentos, por tantas risas, apoyo y por hacer esto más ameno.

A todas las personas mencionadas, y no mencionadas no me queda más que decirles
¡Muchas Gracias!

Resumen

En México la producción de cerveza en el 2022 fue de 14,100 millones de litros con un crecimiento del 5% anual. Durante este proceso el bagazo de malta es el principal residuo generado, se estima que en ese año se produjeron 2.82 millones de toneladas que no fueron aprovechadas en su totalidad, terminando en vertederos. En el presente trabajo el bagazo de malta proveniente de la Microcervecería “La Legendaria” se aprovechó como sustrato para el cultivo de los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor*, se determinó la mejor proporción de mezcla con óxido de calcio y rastrojo de maíz, además se estableció el prototipo de un invernadero para el cultivo a escala piloto, en donde se pudieron aprovechar en dos meses hasta 63.5 kg de sustrato, lo que resultó en la producción de 20 kg de hongo fresco. Además, se utilizó el Residuo Remanente de Hongo (RRH) para la obtención de extractos enzimáticos, demostrando su capacidad de decolorar el azul de bromofenol y el rojo Congo en un 91.75% y 90.68%, respectivamente. Por último, el RRH se compostó y se utilizó como suplemento en tierra para el cultivo de jitomate reduciendo su periodo de germinación en un 37.5%, incrementando el número de hojas reales en un 82%, el tamaño de raíz en un 300%, el tallo en un 94% y la concentración de clorofila A en un 37%. Lo anterior, demuestra que la estrategia de aprovechamiento de este residuo permite establecer la economía circular dentro de una cervecería local.

Palabras Clave: Bagazo de malta, *Pleurotus*, Economía circular, Aprovechamiento de residuos

Abstract

In 2022 the production of beer in Mexico was around 14,100 million of liters with an annual growth of 5%. In this process the Brewer's Spent Grain (BSG) is the principal residue generated with an amount around 2.82 million tons in that year that could not be totally used so it was discharged into landfills. In this work BSG obtained from Microcervería "La legendaria" was used as substrate for the culture of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus djamor*. The best relationship between BSG, calcium oxide and corn stubble were determined, also the design of a greenhouse for the culture in a pilot scale was done, in which, in a period of 2 months it was possible to process 63.5 kg of substrate that resulted in the obtention of 20 kg of fresh mushroom. Additionally, the Mushroom Spent Substrate (MSS) was used for the recovery of enzymatic extracts with the capacity of decoloring bromophenol blue and Congo red in 91.75% and 90.68%, respectively. Finally, the MSS was composted and used as a supplement of soil for the culture of tomato reducing its germination cycle in 37.5%, increasing the number of real leaves in 82%, the root size in 300%, the stem size in 94% and the concentration of chlorophyll A in 37%. All these results demonstrate that it is possible to make use of this residue, and this allow to stablish a circular economy in a local brewery.

Key words: Brewer's Spent Grain, *Pleurotus*, Circular economy, Usage of residues

Índice

Índice de Figuras.....	15
I. Introducción.....	16
1.1 La situación actual de la cerveza	16
1.2 Ingredientes utilizados en el proceso de elaboración de la cerveza	16
1.3 El proceso de elaboración de cerveza y la generación de residuos.....	18
1.4 Disposición de los residuos generados.....	20
1.5 La economía circular y los ODS.....	22
II. Antecedentes	25
2.1 El potencial biotecnológico del bagazo de malta como nueva materia prima.	25
2.2 Características de los hongos del género <i>Pleurotus</i>	27
2.3 Parámetros de evaluación en el cultivo de hongos	30
2.4 Generación y aprovechamiento de un nuevo residuo	32
El mercado enzimático actual	32
La industria textil y la aplicación de enzimas.....	34
El uso de RRH como biofertilizante.....	37
III. Justificación.....	40
IV. Objetivos	41
4.1 Objetivo general	41
4.2 Objetivos específicos	41
V. Hipótesis	42
VI. Metodología	43
6.1 Análisis de la materia prima	43

6.2	Cultivo de hongos en diferentes proporciones de sustrato.....	43
6.3	Diseño de invernadero a escala piloto	43
6.4	Análisis proximales de cuerpos fructíferos	44
6.5	Recuperación de extractos enzimáticos.....	44
6.6	Crecimiento de jitomate en RRH y composta de RRH	44
6.7	Análisis estadístico de los resultados obtenidos	45
VII.	Resultados	45
VIII.	Conclusiones.....	46
IX.	Bibliografía	47
X.	Reporte de similitud	76

Índice de Figuras

Fig. 1 Ingredientes utilizados en el proceso de elaboración de cerveza	18
Fig. 2 Proceso general de la elaboración de cerveza con los residuos generados en las distintas etapas de producción.	20
Fig. 3 Modelo económico Lineal y Circular (SafetyCulture, 2024).....	23
Fig. 4 Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos por la Organización de las Naciones Unidas en el año 2015 (United Nations, 2023).....	24
Fig. 5 Bagazo de malta recuperado después del proceso de maceración dentro del proceso productivo de cerveza (Beerlabteam, 2020).....	27
Fig. 6 Hongos <i>P. djamor</i> (a) y <i>P. ostreatus</i> (b) generados en el presente trabajo a escala laboratorio	28
Fig. 7 Residuo Remante de hongo (RRH) obtenido tras la cosecha de hongos	32
Fig. 8 Estructura del colorante rojo Congo (National Center for Biotechnology Information, 2024)	36
Fig. 9 Estructura del azul de bromofenol (National Center for Biotechnology Information, 2024)	37

I. Introducción

1.1 La situación actual de la cerveza

La cerveza es la quinta bebida más consumida en el mercado mundial, encontrándose por detrás del té caliente, agua embotellada, leche y bebidas carbonatadas (Fava, et al., 2011). En el año 2022 el consumo de esta bebida fue de aproximadamente 192.1 millones de kilolitros con un crecimiento de un 2.9% con respecto al año anterior, siendo el continente asiático el de mayor consumo mundial con un 33.9% del total seguido por el americano con un 30.4%, Europa con un 25.8% y el resto para los demás continentes (Kirin Brewery Company, 2023).

En cuanto a la producción de esta bebida alcohólica, en el año 2022 a nivel mundial se produjeron 189 millones de kilolitros con un crecimiento de 1.3% con respecto al año anterior. Los 5 países con mayor producción fueron China con 36.041 millones de kilolitros, seguido por Estados Unidos de América con 19.410 millones de kilolitros, Brasil con 14.743 millones de kilolitros, México con 14.100 millones de kilolitros y Alemania con 8.783 millones de kilolitros (BarthHass, 2023).

En nuestro país la industria cervecera se encuentra en el lugar 19 de las industrias manufactureras de un total de 288. Cifras del 2019 indican que antes de la pandemia del COVID – 19 el crecimiento de este mercado era del 6.7% anual (INEGI, 2020). En el 2022 la producción de esta bebida ascendió hasta los 141 millones de hectolitros (Martínez C. , 2023) lo que implica un crecimiento del 5% con respecto al año anterior en el mismo periodo de tiempo (El economista, 2022), representando el 1.5% del PIB nacional (Castro, 2022) y generando más de 700 mil empleos directos e indirectos entre los cuales se encuentran agricultores, malteros, cerveceros y vendedores (Juárez, 2021).

1.2 Ingredientes utilizados en el proceso de elaboración de la cerveza

La elaboración de la cerveza es un proceso que conlleva una serie de operaciones unitarias e ingredientes que se utilizan en las diferentes etapas de la elaboración.

Empezando por los ingredientes, el grano que se utiliza para la confección de esta bebida es la cebada malteada, conocida también como malta, de este se extraen los azúcares fermentables como glucosa y maltosa que serán fermentados posteriormente por las levaduras, así como los no fermentables en su mayoría dextrinas que confieren características como sabores tostados, acaramelados, ahumados, entre otros. El tipo de azúcares que se extraigan de la malta dependerán de diferentes factores como el grado de tostado, la temperatura de maceración, entre otros factores (Palmer, 2006).

El lúpulo es otro de los principales ingredientes utilizados. Este se obtiene a partir de las flores sin fecundar de la planta femenina *Humulus lupulus*, que tras su proceso de maduración son recolectadas, secadas, molidas y peletizadas (Srecec, et al., 2009). Si bien, su composición química es algo compleja, existen 3 grupos que son de alta importancia al momento de elaborar cerveza debido a sus características:

- Resinas, constituidas por alfa y beta ácidos que le confiere a la bebida un toque amargo según la cantidad que contenga.
- Aceites esenciales, en este grupo entran más de 300 compuestos volátiles que imparten diferentes características aromáticas a la bebida como lo pueden ser cítricos, terrosos, florales, vegetales, herbales, entre otros.
- Polifenoles, conformados principalmente por taninos, este tipo de moléculas no se busca que queden en la bebida final debido a su sabor, sin embargo, tienen la característica de ser un buen agente antimicrobiano (González, 2017).

La levadura que se utiliza para el proceso de fermentación generalmente es *Saccharomyces cerevisiae* para cervezas de tipo ale y *Saccharomyces pastorianus* para tipo lager, la diferencia es la temperatura de fermentación, siendo de 16 – 25 °C y 5 – 13 °C respectivamente (SNBC, 2021). Este hongo unicelular se caracteriza por tener dos tipos de metabolismo, uno aerobio en donde se promueve la generación de biomasa y otro anaerobio en donde se producen alcoholes (principalmente etanol) y ésteres (que confieren una amplia gama de aromas y sabores), todo esto a partir de

los azúcares fermentables y nutrientes recuperados de la malta (White & Zainasheff, 2010).

El agua es el principal ingrediente utilizado durante la elaboración de la cerveza abarcando hasta un 97% del total de la bebida, que según sus características tendrá una influencia directa sobre el sabor del producto terminado, dentro de estas destacan los iones presentes en la matriz como calcio, magnesio, sodio, azufre, cloro y bicarbonato (Precision Fermentation, 2022). Calcio y magnesio funcionan como cofactores para la enzima α -amilasa, sin embargo, si alguno de estos iones se encuentra en concentraciones muy elevadas a lo requerido por la levadura puede llevar a la inactivación de sus enzimas y su posterior muerte, así como también producir efectos nocivos en el consumidor (Briggs, et al., 2004); (Punčochářová, et al., 2019). En la Fig. 1 se muestran los ingredientes anteriormente mencionados.



Fig. 1 Ingredientes utilizados en el proceso de elaboración de cerveza

1.3 El proceso de elaboración de cerveza y la generación de residuos

En la Fig. 2 se muestra el proceso de elaboración de la cerveza el cual inicia con la molienda del grano, esto se hace con el objetivo de exponer el almidón del endospermo y sus enzimas. Cuando el grano no se muele de manera correcta trae consigo diferentes problemas como poca conversión de azúcares cuando el tamaño es muy grande o extracción de compuestos no deseados y harinas cuando es muy pequeño (Pereira & Rocha, 2018).

Posteriormente, se lleva a cabo el proceso de maceración al agregar agua en un rango de temperatura de 62 – 67 °C a una relación 3:1 o 4:1 litros por kg de malta molida, el proceso se realiza en 1 hora donde las enzimas α y β amilasa realizan reacciones de hidrólisis de la cadena de almidón en dextrinas-maltosa y glucosa, respectivamente. Dentro de este proceso también se activan proteasas que degradan las proteínas presentes en el grano, convirtiéndolas a aminoácidos y dando como resultado el mosto cervecero rico en azúcares, aminoácidos y elementos traza para el crecimiento de las levaduras (Kenechukwu, 2019).

Una vez terminado el tiempo de maceración se hace una recirculación con el mosto para clarificar el líquido y después se traslada al hervidor, posteriormente se hace el lavado de grano o “sparge” con agua a una temperatura de 76 – 77 °C con el fin de recuperar la mayor cantidad de azúcares que hayan quedado en el grano (González, 2017). Una vez terminado este tratamiento el mosto sigue su procesamiento, en este punto se genera el primer residuo del proceso cervecero, el bagazo de malta, cuya tasa de generación es de aproximadamente 200 gramos por cada litro (Aliyu & Bala, 2011) con una demanda bioquímica de oxígeno de 16,000 mg/L (Devolli, et al., 2018).

El proceso continúa con el hervido que se lleva a cabo en una hora. En este punto se agregan los lúpulos que le conferirán a la bebida su característico sabor amargo, así como diferentes toques frutales, herbales, aterrados, resinosos, entre otros. Una vez terminado el tiempo se estima que aproximadamente el 15% del lúpulo utilizado se isomeriza y se une a la matriz de la cerveza, por lo cual después se realiza el Whirlpool con el fin de asentar la mayor cantidad de lúpulo remanente y el mosto lupulado se pasa al fermentador (Palmer, 2006). El residuo remanente tras el vaciado se conoce como residuo de lúpulo que se genera en la cantidad de 1.5 a 4.5 gramos por litro dependiendo del estilo de cerveza producido (Nigam & Pandey, 2009), teniendo una demanda bioquímica de oxígeno de 110,000 mg/L (Devolli, et al., 2018).

Una vez que el mosto lupulado se encuentra en el fermentador se hace la adición de la levadura y se da lugar al proceso de fermentación por un periodo de tiempo aproximado de dos semanas según sean las condiciones del proceso (González,

2017). Pasado el periodo de tiempo, del fermentador se descarta la levadura ya sea de la parte inferior o superior según sea el tipo de cerveza manufacturada (ale o lager, respectivamente), generando un aproximado entre 15 y 18 gramos de residuo por litro de cerveza fabricado (Jaeger, et al., 2020) con una demanda bioquímica de oxígeno de 140,000 mg/L (Devolli, et al., 2018).

La cerveza finalmente es carbonatada y pasa a su envase final, ya sea botellas de vidrio o bien, barrilles (Palmer, 2006).



Fig. 2 Proceso general de la elaboración de cerveza con los residuos generados en las distintas etapas de producción.

1.4 Disposición de los residuos generados.

Considerando la cantidad de cerveza producida en el año 2022 se puede calcular un aproximado de los residuos generados en ese mismo periodo de tiempo, teniendo como resultado 2.82 millones de toneladas de bagazo de malta, entre 21,150 y 63,450 toneladas de lúpulo y 211,500 toneladas de residuo de levadura.

Cada uno de estos residuos se puede emplear para diferentes usos como el alimento de ganado, cultivo de microorganismos, obtención de productos de interés como ácido láctico, fenoles, flavonoides, fibra, suplementos alimenticios, entre otros. Sin embargo, el principal uso sigue siendo como alimento para ganado, limitando así su aprovechamiento cuando no existe una industria ganadera o animales rumiantes cerca de la zona en donde se está produciendo la cerveza, por lo que muchas veces estos residuos terminan en campos, vertederos, quemados o en el caso de los residuos de lúpulo y levadura se desechan al drenaje esperando a que lleguen a una planta tratadora de aguas residuales en donde se les dé un correcto tratamiento (Karlovic, et al., 2020).

En San Luis Potosí existen al menos 60 marcas de cerveza artesanal (Mora, 2022), siendo las de mayor renombre 7 Barrios, La Legendaria, Tangamanga Brewing, Gusto Culposo, Brewtal Bros y Wasumara (Zacarías, 2022). Si bien, algunas de estas cervecerías tienen acceso a ganaderos para disponer su bagazo de malta, la realidad es que la mayoría no tiene esta posibilidad y terminan desechándolo en vertederos o al basurero municipal.

Sin embargo, actualmente existe una problemática en diferentes estados de la república en donde los vertederos ya no cuentan con la capacidad necesaria para almacenar más residuos, razón por la cual han comenzado a surgir vertederos clandestinos cerca de zonas pobladas en estados como San Luis Potosí (El Sol de San Luis, 2022); (El Universal San Luis Potosí, 2018), Querétaro (Segura, 2022), Ciudad de México (Navarro, 2020), Jalisco (El Informador, 2019), Nuevo León (Campos C. , 2022) entre otros. Trayendo consigo también diferentes problemáticas de salud para las personas que viven cerca de la zona como problemas gastrointestinales, además de la proliferación de plagas animales que son focos de infección para la población (El Sol de San Luis, 2022).

1.5 La economía circular y los ODS.

Históricamente el modelo económico que ha predominado en el mundo desde el siglo XX ha demostrado ser sumamente exitoso en generar bienes de valor agregado en países industrializados, sin embargo, este modelo promueve una desigualdad en diferentes regiones del mundo. En donde se ha promovido el valor de la labor humana sobre el de los recursos naturales, haciendo así que los países desarrollados incrementen su brecha económica sobre los productores de materias primas, y como consecuencia de ello se ha dejado de lado la parte ambiental, así como el interés de reciclar, reutilizar y reincorporar los residuos a la cadena productiva. Datos europeos indican que al menos 21 millones de toneladas de material utilizados en la producción de bienes no terminan en el producto final y se pierden en diferentes partes del proceso o como residuo (Sariatli, 2017).

La economía lineal es el modelo económico empleado actualmente en la sociedad, esta se basa en el modelo de tomar – producir – disponer, en esta se prioriza la producción de bienes sin tener en consideración las afectaciones que surgirán por los residuos generados o con el bien cuando este pase a ser basura. Por ello, los residuos se han convertido en un problema a nivel mundial, no solo por su impacto medioambiental, sino también por el costo que conlleva el manejo de los desechos (Purwanto & Prasetio, 2021).

Por esta razón, es necesario adoptar nuevas estrategias y modelos en los que se busquen atacar estas problemáticas, en donde uno de los principales es la economía circular. Este modelo económico se basa en el concepto de las 4R's en los procesos de consumo y producción, al reducir el máximo el consumo de materia prima virgen, así como el desperdicio de esta. De igual manera este modelo busca aprovechar los residuos generados en los procesos de manufactura, al utilizarlos como nuevas materias primas para obtener productos de valor agregado. De esta manera se busca promover no solo un desarrollo sustentable en la sociedad, sino también social y económico (Garcés, et al., 2019). En la fig. 3 se muestra el diagrama de la economía

lineal y la economía circular haciendo énfasis en la importancia de esta última que se basa en el reciclaje y aprovechamiento de recursos.

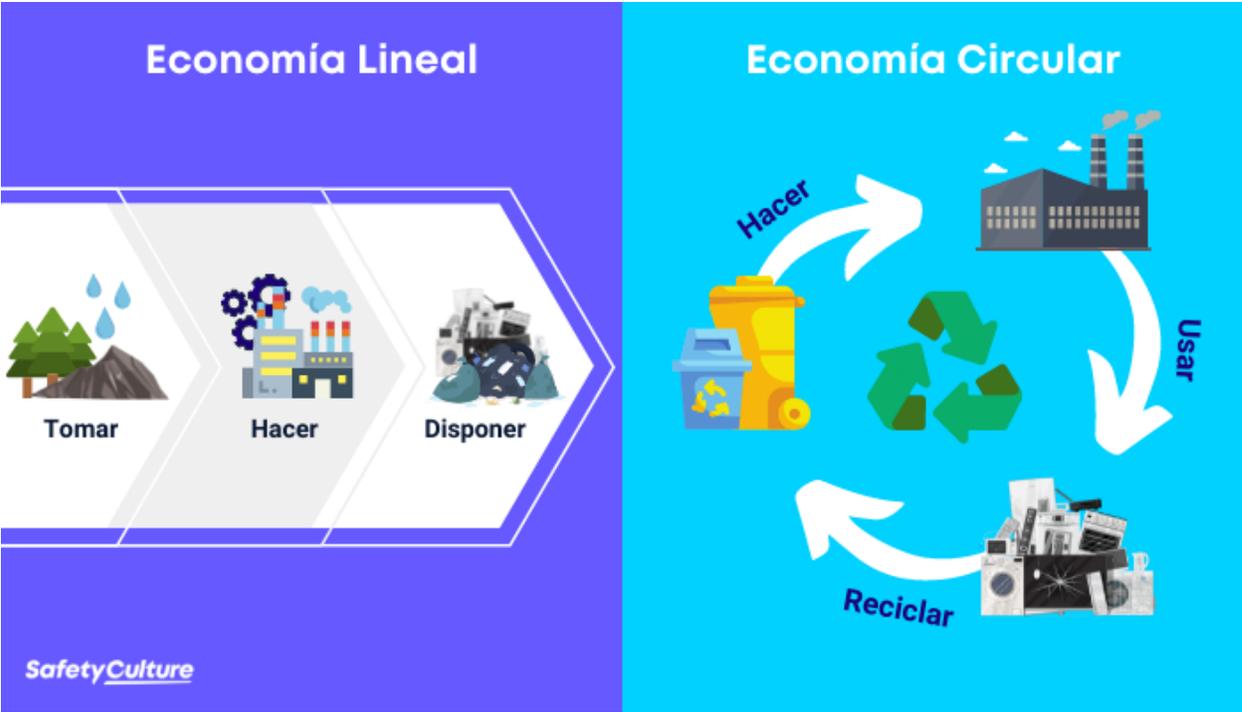


Fig. 3 Modelo económico Lineal y Circular (SafetyCulture, 2024).

El adoptar este tipo de modelo económico no solo se obtiene el beneficio de darle un uso a los residuos generados en los procesos de manufactura, también se pueden alcanzar las metas establecidas por la ONU en el año 2015 con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (mostrados en la Fig. 4) como Fin de la pobreza, Hambre cero, Agua limpia y saneamiento, Industria, Innovación e infraestructura, Ciudades y comunidades sostenibles, Producción y consumos responsables entre muchos otros (United Nations, 2023).



Fig. 4 Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos por la Organización de las Naciones Unidas en el año 2015 (United Nations, 2023).

Actualmente en países en vías de desarrollo se aprovechan únicamente el 17% de los residuos orgánicos generados en diferentes procesos productivos (Romero, 2022), esto es algo preocupante debido a la gran cantidad de desechos que se disponen en los vertederos, y más cuando estos son clandestinos afectando así a la población, es por eso que es necesario comenzar a adoptar modelos como la economía circular en donde se valoricen los residuos como materias primas en proyectos con impacto social, económico y ecológico. Lo anterior se puede lograr de manera más fácil cuando se colabora de manera directa con el sector productivo.

II. Antecedentes

2.1 El potencial biotecnológico del bagazo de malta como nueva materia prima.

Dentro de las principales características del bagazo de malta (Fig. 5) se encuentra su alto contenido lignocelulósico (Mussatto, et al. 2006), sin embargo, su composición química resulta de gran interés para poder ser aprovechado en diferentes aplicaciones, esta se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 Composición química del bagazo de malta adaptado de: Nigam & Pandey, 2009; Mussatto, et al., 2006; Lynch, et al., 2016

Compuesto	Proporción total en la matriz	Componentes	Porcentaje de la proporción total
Material lignocelulósico	40 – 70%	Hemicelulosa	19.2 - 40%
		Celulosa	12 - 33%
		Lignina	11.9 – 27.8%
Proteínas	19 – 30%	Hordeínas, glutelinas, globulinas, histidina	26%
		Ácido glutámico	17%
		Lisina	14%
		Aminoácidos de leucina	14%
Lípidos	3 – 13%	Ceras, resinas, gomas, aceites esenciales	No especifica
Cenizas	2 – 5%	No aplica	No aplica
			Concentración (mg/kg)
Minerales	2 – 5%	Fósforo	4,600 – 6,000
		Calcio	2,200 – 3,600

		Magnesio	1,900 – 2,400
		Potasio	600 – 2,580
		Sodio	137 – 309
		Hierro	100 – 193
		Cobre	11.4 – 18
			Concentración (mg/L)
Vitaminas y fenoles	0.7 – 2%	Colina	1,800
		Vitamina B3	44
		Vitamina B5	8.5

Como se mencionó anteriormente este residuo se utiliza principalmente para el alimento de animales rumiantes demostrando un incremento en la cantidad de proteínas de su carne, así como en la calidad de su leche, se ha comprobado también que funciona para la alimentación de peces incrementando hasta en un 30% su masa corporal (Mussatto, et al., 2006).

Sin embargo, sus características químicas hacen que este residuo sea de gran interés para ser utilizado en diferentes aplicaciones: recuperación de arabinosa, xilosa, producción de bioetanol (Bado, et al., 2021), producción de biogás (Carlini, et al., 2021), producción de ácido láctico, recuperación de enzimas, cultivo de microorganismos y hongos (Karlovic, et al., 2020). En el caso de su uso como sustrato para el cultivo de organismos, algunos de los géneros que se han cultivado con éxito han sido *Pleurotus*, *Agrocybe*, *Letinus*, *Aspergillus* y *Trichoderma* (Nigam & Pandey, 2009).

En cuanto a la producción y recuperación de enzimas, esto se ha reportado con éxito utilizando hongos, estos tienen la ventaja de secretarlas al medio extracelular evitando así un proceso de lisis celular, además de que actualmente es posible escalar este tipo de procesos a nivel industrial para poder satisfacer diferentes campos y aplicaciones (Machado, et al., 2019).



Fig. 5 Bagazo de malta recuperado después del proceso de maceración dentro del proceso productivo de cerveza (Beerlabteam, 2020).

2.2 Características de los hongos del género *Pleurotus*.

Como se describió anteriormente el bagazo de malta se compone principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina. Muchos microorganismos presentan el sistema enzimático necesario para poder degradar y aprovechar los primeros dos como fuente de carbono, sin embargo, para la lignina solo hay un número limitado de organismos capaces de degradarla y aprovecharla como fuente de carbono, entre ellos los hongos de pudrición blanca, la mayoría pertenecen al grupo de los *basidiomicetes*. Los hongos del género *Pleurotus* se caracterizan por tener las enzimas extracelulares necesarias para degradar este tipo de residuos mediante celulasas, hemicelulasas, lacasas, peroxidasas, entre otras (Rodríguez, et al., 2018).

Este tipo de hongos se caracterizan por ser comestibles, su consumo ha ido incrementando debido a su valor nutrimental, propiedades organolépticas, valor culinario e ingredientes bioactivos. Gracias a estas propiedades se ha comenzado a implementar como sustituto de carne en dietas humanas (Familoni, et al., 2018). Su cultivo se realiza en fermentación en fase sólida en donde se caracterizan principalmente las etapas de crecimiento micelial y producción de carpóforos (Rodríguez, et al., 2018). Entre los residuos agroindustriales que se utilizan con más frecuencia para su cultivo se encuentran aserrín, paja, rastrojo, residuo de café, algodón, papel, bagazo de caña de azúcar y agave (Stamets, 1993).

Dentro de los hongos del género *Pleurotus* se encuentran las especies *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus*, ambos tienen la característica de poseer compuestos bioactivos con propiedades anticancerígenas, antibióticas, antioxidantes, antiparasitarias, antiinflamatorias, antidiabéticas, antilipémicos y hepatoprotectoras, además de tener la capacidad de producir biomasa con mayor contenido de nitrógeno que el sustrato en el que están creciendo (Salmones , 2017). En la Fig. 6 se muestran los hongos *P. djamor* y *P. ostreatus* cultivados con éxito en bagazo de malta a escala laboratorio

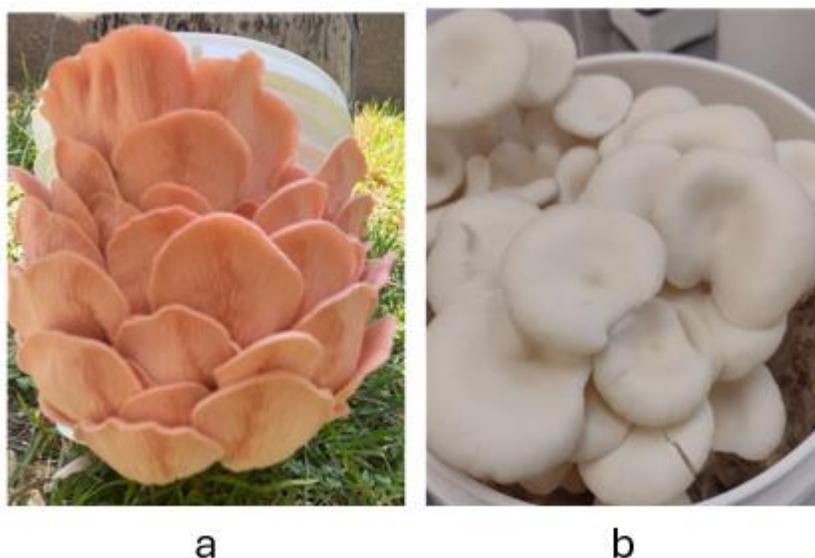


Fig. 6 Hongos *P. djamor* (a) y *P. ostreatus* (b) generados en el presente trabajo a escala laboratorio

En la Tabla 2 se muestran las características nutrimentales de cada uno de estos hongos en peso seco (con una humedad entre 79.5 – 90 %):

Tabla 2 Composición nutrimental de los hongos *P. djamor* y *P. ostreatus* adaptado de: Salmones, 2017; Nieto, et al., 2019.

	<i>Pleurotus djamor</i>	<i>Pleurotus ostreatus</i>
Carbohidratos	32.7 – 48.3	37 – 48
Proteínas	20.7 – 28	17 – 42
Grasas	0.11 – 2.09	0.5 – 5

Fibra	9.1 – 22.4	24 – 31
-------	------------	---------

En cuanto a la composición de aminoácidos (aa) se tiene reportado que ambos hongos presentan tanto aa esenciales y no esenciales requeridos para una correcta dieta humana, estos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3 Aminoácidos presentes en los cuerpos fructíferos de *Pleurotus ostreatus* y *djamor* adaptado de: Chirinang & Intarapichet, 2009; Roman, et al., 2020

Aminoácido	<i>Pleurotus djamor</i> (g/100 g de proteína seca)	<i>Pleurotus ostreatus</i> (mg/g peso húmedo)
Alanina	5.65 ± 0.005	1.90 ± 0.015
Arginina	9.94 ± 0.005	3.26 ± 0.015
Ácido aspártico	7.06 ± 0.006	2.04 ± 0.020
Ácido glutámico	9.61 ± 0.005	5.01 ± 0.015
Glicina	15.98 ± 0.01	0.83 ± 0.019
Histidina*	3.21 ± 0.006	0.55 ± 0.012
Isoleucina*	1.39 ± 0.005	0.62 ± 0.007
Leucina*	3.66 ± 0.002	1.13 ± 0.008
Lisina*	4.02 ± 0.015	0.71 ± 0.007
Metionina*	7.65 ± 0.01	0.28 ± 0.006
Fenilalanina*	3.96 ± 0.0006	0.73 ± 0.006
Prolina	1.54 ± 0.01	0.29 ± 0.008
Serina	8.86 ± 0.005	1.09 ± 0.009
Treonina*	5.29 ± 0.01	1.01 ± 0.001
Triptófano*	1.32 ± 0.01	0.15 ± 0.001
Tirosina	7.11 ± 0.01	0.57 ± 0.008
Valina*	4.30 ± 0.01	0.91 ± 0.010

* Aminoácido esencial

Además, este tipo de hongos son de interés para algunas dietas por su composición mineral, que se muestra en la Tabla 4:

Tabla 4 Composición mineral de los hongos *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus* adaptado de Raman, et al., 2020; Elkanah, et al., 2022

Mineral	<i>Pleurotus djamor</i> (mg / kg)	<i>Pleurotus ostreatus</i> (mg/L)
Hierro	17.32 ± 0.03	3.35 ± 1.68
Potasio	2,218 ± 0.58	7.66 ± 1.11
Zinc	1.21 ± 0.00	2.81 ± 0.12
Calcio	49.67 ± 0.04	4.46 ± 1.41
Magnesio	167.37 ± 0.55	3.63 ± 0.98
Sodio	67.12 ± 0.02	0.13 ± 0.04
Fósforo	503.1 ± 0.1	No detectado

2.3 Parámetros de evaluación en el cultivo de hongos

Dentro del proceso de cultivo de hongos existen diferentes parámetros que se utilizan para evaluar la eficacia del sistema productivo que se está proponiendo. Estos parámetros son:

- Eficiencia Biológica (EB): expresa el grado de bioconversión de energía a partir del sustrato utilizado para el hongo durante su desarrollo, este se representa como la relación que existe entre el peso fresco de los cuerpos fructíferos producidos por el hongo y el peso seco del sustrato empleado, a partir de la siguiente ecuación (Ardón, 2004):

$$EB = \frac{P_{fcf}}{P_{ss}} * 100 \quad (1)$$

En donde:

P_{fcf}: Peso fresco cuerpos fructíferos

Pss: Peso seco sustrato

- Periodo productivo (PP): Se define como el tiempo transcurrido desde la siembra del micelio en el sustrato hasta que se toma la última cosecha de cuerpos fructíferos con la ecuación:

$$PP = Dsm - Ducf \quad (2)$$

Donde:

Dsm: Día de siembra del micelio

Ducf: Día última cosecha de fructificaciones

- Tasa Productiva (TP): Se obtiene al dividir la Eficiencia biológica entre el periodo productivo con la ecuación (Rodríguez, et al., 2018):

$$TP = \frac{EB}{PP} \quad (3)$$

- Rendimiento: Relación presentada en porcentaje entre la cantidad de un producto y los factores que se utilizan para su obtención, en este caso es un parámetro de productividad y se define como la relación entre el peso húmedo de las fructificaciones y el peso final del sustrato húmedo con la ecuación (Castillo & Martínez, 2022):

$$R = \frac{Pfcf}{PfRRH} * 100 \quad (4)$$

Donde:

PfRRH: Peso fresco del residuo remanente de hongo

La evaluación de estos parámetros es importante al momento de tomar decisiones correspondientes al escalado del proceso, así como a las pertinentes al uso de un sustrato de una única fuente, o bien combinado con otro tipo de materiales para que estos valores incrementen.

2.4 Generación y aprovechamiento de un nuevo residuo

Después de la cosecha del cuerpo fructífero de los hongos se genera un nuevo residuo, conocido como Residuo Remanente de Hongo (RRH) mostrado en la Fig. 7, aproximadamente por cada kilogramo de cuerpo fructífero generado se producen 5 kg de RRH (Kwiatkowski & Harasim, 2021) este tipo de residuos cuando es desechado de manera incorrecta en vertederos conlleva a problemas como daño ecológico, contribución al calentamiento global por emisiones de dióxido de carbono y metano, así como a la contaminación de agua y acumulación de metales en el suelo (Vats, et al., 2022).

Sin embargo, este residuo puede ser aprovechado nuevamente dentro del marco de la economía circular. Dentro de su composición se encuentra micelio, enzimas extracelulares y sustrato lignocelulósico no utilizado. Este residuo se ha aprovechado para la producción de biogás, recuperación de enzimas como amilasas, celulasas, xilanasas, lacasas entre otras más, producción de biofertilizante, degradación de pentaclorofenol y como suplemento de alimentos para animales (Lim, et al., 2013).



Fig. 7 Residuo Remante de hongo (RRH) obtenido tras la cosecha de hongos

El mercado enzimático actual

Las enzimas tienen diversas aplicaciones, en la industria biotecnológica, textil, de alimentos, papelera, detergentes, entre otras. En la Tabla 5 se muestran las enzimas

con su respectivo sustrato, valor agregado en el mercado, crecimiento, predicción a futuro, grupos de enzimas que lo conforman e industria en donde se aplican.

Tabla 5 Características y aplicaciones de diferentes enzimas a nivel mundial adaptado de: Future Market Insides, 2022; Coherent Market Insights, 2023; Shraddha, et al., 2011; Arregui, et al., 2019; Persistence market research, 2023; Dataintelo, 2022; Future Market Insights, 2023.

	Celulasas	Lacasas	Amilasas	Xilanasas
Sustrato	Celulosa	Lignina, compuestos fenólicos	Almidón	Xilano / hemicelulosa
Valor del mercado mundial 2022.	USD \$1,621 millones	USD \$3 millones	USD \$1,357.2 millones	728.7 millones
Crecimiento anual compuesto calculado (año)	6.9% (2032)	4.3 % (2028)	5.1 % (2030)	5.9 % (2030)
Predicción del valor del mercado (año)	USD \$3153.1 millones (2032)	USD \$4 millones (2028)	USD \$1,772.3 millones (2030)	1292.8 millones (2030)
Grupos de enzimas	Endo-(1,4)- β -glucanasa Exo-(1,4)- β -glucanasa β glicosidasas	T1 T2 T3	α amilasas β amilasas γ amilasas	Endo - β - xilanasas. β - xilosidasa
Industria de aplicación	Textil, papelera, alimenticia,	Textil, alimenticia,	Alimenticia, bebidas,	Biocombustibles, farmacéutica,

	bebidas, agricultura, biocombustibles, entre otras	farmacéutica, biorremediación, nanotecnología, entre otras	detergentes, textil, papelera, bioenergía, entre otras	papelera, alimenticia, bebidas, entre otras
--	---	---	--	--

La industria textil y la aplicación de enzimas

Actualmente la industria textil utiliza un aproximado de 700,000 toneladas de colorantes para la producción de 30 millones de toneladas de ropa, esto ha conllevado a una producción excesiva de efluentes contaminantes que causan una serie de problemas graves al ambiente, si bien, este tipo de efluentes se pueden procesar mediante tratamientos químicos o físicos, la realidad es que estos son lentos, costosos y generan nuevos lodos contaminantes, sin embargo, hoy en día existe una nueva alternativa para el tratamiento mediante procesamientos biológicos, que además de ser económicos son amigables con el medio ambiente (Rhadika, et al., 2014).

Los colorantes sintéticos del grupo azo son los que se emplean con mayor frecuencia en la industria textil, estos se caracterizan por tener un grupo funcional representados mediante el enlace $-N=N-$, se estima que la concentración de estos en aguas residuales de las empresas textiles varía entre 100 a 500 mg/L además de ser poco biodegradables y persistentes (Martínez, et al., 2018).

En la Tabla 6 se muestran algunas de las alternativas fisicoquímicas con sus respectivas ventajas y desventajas, sin embargo, muchas de estas tecnologías aunque están disponibles en el mercado son altamente específicas, con costos elevados y no aplican para una amplia variedad de colorantes además de que no resuelven el problema de la decoloración.

Tabla 6 Ventajas y desventajas de diferentes métodos fisicoquímicos empleados en la decoloración de colorantes textiles (Cortazar, et al., 2012).

Tipo de método	Método	Ventajas	Desventajas
Físico	Adsorción	Remoción eficiente de varios colorantes usando sílica y materiales celulósicos.	Materiales específicos de alto costo y pérdidas de estos en la regeneración.
	Filtración por membrana	Útil para remover colorantes en bajas concentraciones.	Altos costos.
	Intercambio iónico	Muy efectivo para remover colorantes catiónicos y aniónicos.	Utiliza solventes orgánicos de elevado precio comercial.
Químico	Electroquímico	Eficiente remoción de colorantes y degradación de contaminantes sin generar subproductos tóxicos o lodos.	Alto uso de electricidad y costo elevado de la misma.
	Oxidación	Es uno de los métodos más usados y eficientes, utiliza químicos como el reactivo de Fenton, hipoclorito de sodio u ozono.	El reactivo de Fenton conlleva a la formación de lodos, el uso de hipoclorito de sodio genera subproductos tóxicos y cancerígenos.
	Fotoquímico	Degrada moléculas orgánicas en CO ₂ y agua con cortos tiempos de exposición y sin generación de lodos.	Se pueden generar subproductos como halogenuros, metales, ácidos y aldehídos que pueden tener repercusiones negativas además de tener costos elevados.
	Coagulación	Buena eficiencia de remoción en periodos cortos de tiempo y bajos costos de inversión.	Genera una alta cantidad de lodos además de altos costos asociados a la disposición de estos.

Dentro de este grupo de colorantes se ha reportado que pueden llegar a ser extremadamente carcinogénicos y tóxicos tanto para el medio ambiente como para el humano, por esta razón el interés de su correcta degradación ha ido incrementando con el tiempo. Existen métodos biológicos que han demostrado ser potencialmente eficientes para la degradación de colorantes sintéticos en donde se utilizan microorganismos o sus enzimas (lark, et al., 2019). Para *Pleurotus ostreatus* se ha demostrado su capacidad para degradar colorantes textiles como azul de bromofenol,

verde brillante, rojo metil (Rhadika, et al., 2014), Azul brillante de Ramazol R (Lim, et al., 2013), Rojo Congo (Vats, et al., 2022), amarillo dorado, 2-6 dimetoxifenol (Martínez, et al., 2018) alcanzando hasta un 49% de remoción en este último (Vats, et al., 2022), además de reducir el porcentaje de inhibición causado por este tipo de colorantes hasta en un 75% (lark, et al., 2019).

En el presente proyecto se propone la decoloración de rojo Congo y azul de bromofenol a partir de extractos crudos enzimáticos recuperados del RRH. El primero de estos colorantes es un colorante sintético ácido di azoico (National Center for Biotechnology Information, 2024), considerado carcinogénico debido a la presencia de una amina aromática en su estructura, además de ser resistente a la degradación natural debido a la presencia de estructuras aromáticas. Su uso en la industria textil se debe principalmente a sus propiedades como una amplia gama de tonos, resistencia a la decoloración y bajo coste de energía para su aplicación (Harja, et al., 2022). En la Fig. 8 se muestra la estructura del rojo Congo en donde se puede apreciar la presencia de los 2 enlaces azo además de 8 anillos aromáticos.

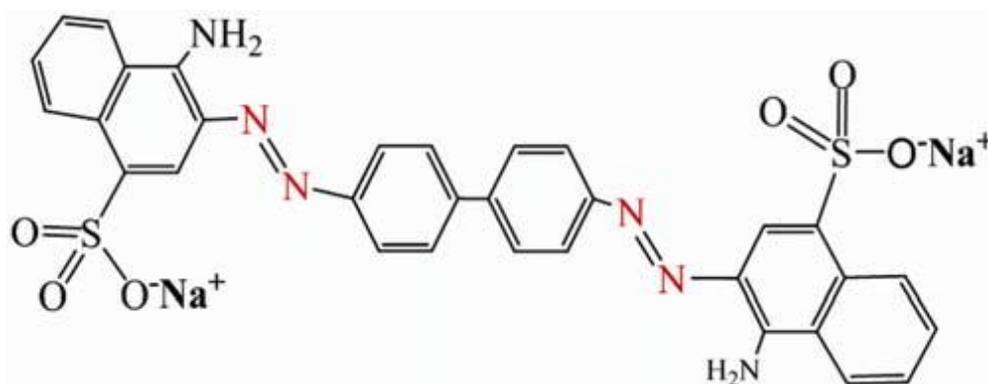


Fig. 8 Estructura del colorante rojo Congo (National Center for Biotechnology Information, 2024)

El azul de bromofenol es un colorante trifenilmetano utilizado tanto en investigación como colorante para telas como seda o piel, este es catalogado como tóxico, persistente y altamente contaminante en el agua debido a su alta solubilidad y estabilidad que causa daños a la vida acuática incluso en bajas concentraciones

(Anyanwu, et al., 2023). En la Fig. 9 se puede observar la estructura del colorante con los 3 anillos aromáticos que le dan su alta estabilidad.

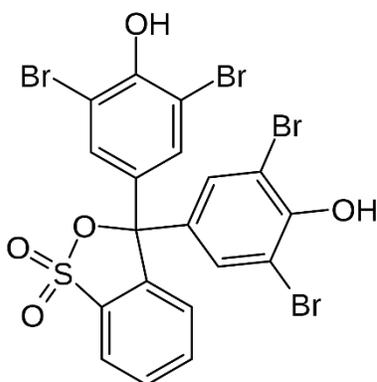


Fig. 9 Estructura del azul de bromofenol (National Center for Biotechnology Information, 2024)

El uso de RRH como biofertilizante

Actualmente existe un problema ligado a la calidad del suelo para su uso en el cultivo de diferentes plantas, esto se ha dado debido al excesivo cultivo que conlleva a la erosión, decremento de nutrientes y materia orgánica del mismo, provocando así una disminución en la fertilidad de este lo que conlleva a complicaciones en la agricultura (Queensland Government, 2023)

Una de las alternativas que se emplean desde el siglo XX y a la cual se le atribuye un incremento del 50% de la producción de los campos en ese periodo de tiempo, es el uso de fertilizantes químicos que proveen de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio al suelo, sin embargo, el uso inapropiado de este producto tiene efectos negativos en el suelo al alterar el pH, incrementar su acidificación, reducir el carbono orgánico y organismos benéficos afectando el crecimiento de cultivos de interés agrícola y el rendimiento de sus frutos (Krasilnikov, et al., 2022).

Existen otras posibles soluciones a esta problemática, al utilizar el RRH como biofertilizante, se ha reportado que provee de ventajas como: incrementar el rendimiento de cultivos, bajar precios, restaurar la estructura del suelo, mejorar la retención del agua, evitar inundaciones y reducir la necesidad de fertilizantes inorgánicos (Pathak, et al., 2021).

Como fertilizante el RRH es una buena fuente de fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre y nitrógeno. Sin embargo, este no contiene la cantidad de nitrógeno necesaria para el crecimiento óptimo de una planta, además de que cada tonelada de RRH contiene 8 kg de N y 1.5 kg de P con una biodisponibilidad del 20% y 100% respectivamente (Velusami, et al., 2021).

En cuanto a la cantidad de carbono se tiene que por cada kilogramo entre 239 – 244.3 gramos para RRH de *Pleurotus ostreatus* y nitrógeno de 6.65 – 7.71 gramos, dando como resultado una relación C/N de 34.06 – 40.20 (Nadhim, et al., 2017). Un suelo sano debe de tener una relación C/N entre 8.5 y 11.5, sin embargo, cuando se habla de compostaje este valor puede estar entre 25 y 40 (Urbanisme, s.f.). Debido a esto existen estudios en donde el RRH se suplementa con un fertilizante comercial (Kwiatkowski & Harasim, 2021) o bien con composta previamente realizada (Oliveira, et al., 2021).

Los resultados de estos estudios indican que si bien, el realizar este tipo de suplementaciones pueden ayudar a obtener mayores rendimientos, crecimientos más rápidos y una mayor cantidad de aceites esenciales y antioxidantes, también se ha demostrado que el RRH por sí solo funciona como un buen fertilizante al hacer que los cultivos tengan mejores rendimientos a comparación de cuando este suplemento no es utilizado.

Actualmente una de las frutas más consumidas a nivel nacional es el jitomate cuyo consumo asciende hasta los 13.4 kg per cápita anual, siendo un alimento altamente atractivo para la población en general debido a que posee nutrientes como las vitaminas A, B1, B2 y C, fibra y minerales como potasio, calcio, fósforo, entre otros (Serrano, et al., 2023).

México es uno de los 10 principales productores a nivel mundial con un crecimiento de un 9.5% en la última década. En 2020 se produjeron 4.137 millones de toneladas de esta fruta siendo San Luis Potosí el segundo mayor productor a nivel nacional con un aporte del 11%. En el país únicamente el 15% del territorio nacional es apto para su

uso en el sector agrícola, esto debido a que el suelo de otras regiones es demasiado árido o corresponde a zonas sumamente montañosas (Ascenza, 2024).

III. Justificación

México es el cuarto productor a nivel mundial de cerveza, esto ha conllevado también a una alta generación de residuos como el bagazo de malta que cuando no es aprovechado de manera correcta termina en vertederos municipales. Sin embargo, en la actualidad se han reportado la aparición de vertederos clandestinos que se encuentran muy próximos a zonas residenciales provocando problemas en la salud de las personas, así como también medio ambientales por la falta de regulación.

Este residuo debido a la humedad que presenta tiende a descomponerse de manera rápida. Dado a su composición química, en su mayoría por material lignocelulósico, este residuo se podría emplear en aplicaciones como el cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus*, además de que una vez cosechados los cuerpos fructíferos el RRH se puede utilizar para la recuperación de enzimas con diferentes aplicaciones biotecnológicas, así como también un suplemento de suelo para el cultivo de plantas.

De esta manera se puede dar la migración de un modelo económico lineal en las cervecerías hacia uno circular en donde se comiencen a valorizar los residuos como nuevas materias primas para la obtención de diferentes productos de valor agregado, en donde se promueva también a la economía y a la investigación local.

Así mismo, mediante este trabajo se puede cumplir con al menos 4 de los ODS establecidos por la ONU en el año 2015 como son los números: 2, hambre cero; 9, industria innovación e infraestructura; 11, ciudades y comunidades sostenibles; 12, producción y consumo responsable.

IV. Objetivos

4.1 Objetivo general

Aprovechar el bagazo de malta proveniente de la Microcervecería “La Legendaria” de manera sustentable, para el cultivo de los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor* a escala piloto, e impulsar el modelo económico circular local y el cuidado al ambiente, cumpliendo con 4 de las ODS (hambre cero; industria, innovación e infraestructura; ciudades y comunidades sostenibles; producción y consumo responsables) establecidas por la ONU.

4.2 Objetivos específicos

1. Establecer el procedimiento a escala piloto para el cultivo de los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor* utilizando bagazo de malta como principal sustrato.
2. Realizar los análisis proximales de los cuerpos fructíferos generados.
3. Analizar la actividad enzimática de los extractos fúngicos obtenidos del RRH con actividad de amilasas, celulasas, lacasas y xilanasas.
4. Estimar la capacidad de degradación de los colorantes rojo Congo y azul de bromofenol por los extractos enzimáticos recuperados.
5. Utilizar el RRH como un suplemento de suelo para el cultivo de jitomate.

V. Hipótesis

Si se logra aprovechar el bagazo de malta obtenido de la industria cervecera para el cultivo de hongos del género *Pleurotus* entonces se pueden obtener 3 bioproductos de interés como lo son:

- 1) Cuerpos fructíferos comestibles
- 2) Enzimas lignocelulolíticas con aplicación en biorremediación
- 3) Composta a partir del Residuo Remanente de Hongo

Promoviendo así el modelo económico circular local en San Luis Potosí

VI. Metodología

6.1 Análisis de la materia prima

Se realizaron los siguientes procesos a la materia prima:

- 1) Prueba de compactación
- 2) Preparación de extractos líquidos
- 3) Medición de sólidos suspendidos
- 4) Medición de pH
- 5) Medición de azúcares reductores
- 6) Medición de humedad

6.2 Cultivo de hongos en diferentes proporciones de sustrato

Se realizaron diferentes mezclas con diferentes porcentajes de bagazo de malta y rastrojo de maíz adicionados con óxido de calcio, a los cuales, después de ser esterilizados se les mezcló también sorgo colonizado de micelio de *P. ostreatus* y *P. djamor*.

Se evaluó el crecimiento y aprovechamiento del sustrato por los hongos mediante los parámetros:

- 1) Eficiencia Biológica (EB)
- 2) Periodo Productivo (PP)
- 3) Tasa Productiva (TP)
- 4) Rendimiento (R)

6.3 Diseño de invernadero a escala piloto

Se realizó el diseño y montaje del invernadero mediante una estructura de tubos de PVC, la cual se recubrió con plástico de polietileno, se añadieron los sensores necesarios para control de humedad, así como humidificadores ultrasónicos para generar la neblina necesaria para mantener dicha humedad.

6.4 Análisis proximales de cuerpos fructíferos

Se realizaron los siguientes análisis a los cuerpos fructíferos:

- 1) Humedad
- 2) Cenizas
- 3) Lípidos totales
- 4) Proteínas
- 5) Fibra cruda
- 6) Contenido fenólico total
- 7) Carbohidratos totales

6.5 Recuperación de extractos enzimáticos

Se realizaron los siguientes procedimientos respecto a los extractos enzimáticos

- 1) Recuperación de extractos enzimáticos
- 2) Concentración de extractos enzimáticos
- 3) Análisis de concentración de proteínas
- 4) Estandarización de concentración de proteínas
- 5) Reacción enzimática
- 6) Capacidad de decoloración de rojo Congo y azul de bromofenol

6.6 Crecimiento de jitomate en RRH y composta de RRH

Se realizaron los siguientes procedimientos con respecto al uso del RRH y la composta generada a partir de este

- 1) Cultivo de jitomate en hidroponía con diferentes proporciones de RRH
- 2) Medición de parámetros de crecimiento en las plantas obtenidas
- 3) Elaboración de composta a partir de RRH
- 4) Análisis microbiológico de la composta
- 5) Variación de RRH, composta, composta estéril y controles en el cultivo de semillas de jitomate
- 6) Evaluación de parámetros de crecimiento de las plantas

7) Determinación de clorofila A y B en las hojas de las plantas

6.7 Análisis estadístico de los resultados obtenidos

Los resultados obtenidos de los experimentos se analizaron en el programa STATISTICA v. 10 por medio de ANOVA con α de 0.05, los resultados obtenidos se compararon también por contraste de medias mediante el método de la diferencia menos significativa (LSD) de Fisher α de 0.05.

VII. Resultados

El uso de bagazo de malta en sus diferentes proporciones afecta a las características del sustrato, siendo que el uso de este suplementado con rastrojo de maíz es útil para el cultivo de los hongos *P. ostreatus* y *P. djamor*.

Así mismo el diseño e instalación de un invernadero para el cultivo a escala piloto permite el aprovechamiento de este residuo agroindustrial, mediante un diseño automatizado es más sencillo mantener las condiciones óptimas de humedad para el crecimiento de ambos hongos, incrementando así los parámetros productivos.

Las proporciones utilizadas para el crecimiento de *P. ostreatus* y *P. djamor* afectan directamente a los nutrientes presentes en los cuerpos fructíferos de ambas especie de hongo, además el cambio de escala demostró tener un efecto significativo en varios de estos nutrientes así como también cada especie demostró tener diferentes cantidades de algunos de los nutrientes.

Los extractos crudos enzimáticos obtenidos tuvieron actividad de amilasas, celulasas, xilanasas y lacasas, siendo estas últimas las de mayor actividad enzimática. La escala fue un factor que afecto a la actividad de dichas enzimas.

Los extractos crudos enzimáticos recuperados tuvieron la capacidad de decoloración de los colorantes rojo Congo y azul de bromofenol para los extractos recuperados de ambos hongos en diferentes condiciones de temperatura, agitación, relación extracto:

colorante y buffer de extracción. Así mismo los espectros de las muestras pre reacción y post reacción demostraron la degradación de dichos colorantes. La actividad enzimática de lacasas medida a lo largo del tiempo y la capacidad de decoloración de los extractos indican que existen más enzimas implicadas en el proceso de decoloración.

El uso de composta producida a partir de RRH tuvo un efecto positivo en el crecimiento de plantas de jitomate, promoviendo varios de los parámetros evaluados en el presente trabajo, además de contar con microorganismos con efectos benéficos a la salud de las plantas y con función de biorreguladores.

VIII. Conclusiones

Los experimentos a escala laboratorio permiten establecer la relación óptima de bagazo de malta: rastrojo de maíz, para el crecimiento de los hongos *P. ostreatus* y *P. djamor* con base en los parámetros productivos: eficiencia biológica; periodo productivo; tasa productiva; rendimiento. El cambio hacia una escala piloto fue posible y permite aprovechar espacios que anteriormente no eran utilizados. Dicho escalamiento permite diseñar un invernadero que mantiene estables las condiciones operacionales para el crecimiento de los hongos del género *Pleurotus*.

Los análisis proximales para *P. ostreatus* y *P. djamor* indican que hay una relación entre el sustrato empleado, la escala y la especie con respecto a los nutrientes de los cuerpos fructíferos.

Los extractos crudos enzimáticos recuperados tuvieron actividad de amilasas, celulasas, xilanasas y lacasas. Además de tener la capacidad de decoloración de los colorantes rojo Congo y azul de bromofenol.

El uso de composta producida a partir de RRH tuvo efectos benéficos durante el crecimiento de plantas de jitomate.

IX. Bibliografía

1. Abdelkader, M. M., Gaplaev, M. S., Terekbaev, A. A., & Puchkov, M. Y. (2021). The Influence of Biostimulants on Tomato Plants Cultivated under Hydroponic Systems. *Journal of Horticultural Research*, 29(2), 107–116. <https://doi.org/10.2478/johr-2021-0012>
2. Afreen, S., Shamsi, T. N., Baig, M. A., Ahmad, N., Fatima, S., Qureshi, M. I., Hassan, Md. I., & Fatma, T. (2017). A novel multicopper oxidase (laccase) from cyanobacteria: Purification, characterization with potential in the decolorization of anthraquinonic dye. *PLOS ONE*, 12(4), e0175144. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175144>
3. Afsar, M., Zia, A., Us Salam, M. B., Ahmad, M. N., Khan, A. A., Ul Haq, T., Aziz, T., & Alasmari, A. F. (2024). A multifaceted analysis of spent mushroom substrate of selected oyster mushrooms for enzymatic activity, proximate composition, and antimicrobial activity. *Italian Journal of Food Science*, 36(1), 165–174. <https://doi.org/10.15586/ijfs.v36i1.2457>
4. Agostinho, B. C., Daniel, J. L. P., Zeoula, L. M., Alcalde, C. R., Machado, E., Bragatto, J. M., Schneider, C. R., Santos, N. W., Matumoto-Pintro, P. T., Saraiva, B. R., Osorio, J. A. C., & Faciola, A. P. (2021). Enzymatic effects of *Pleurotus ostreatus* spent substrate on whole-plant corn silage and performance of lactating goats. *Journal of Dairy Science*, 104(11), 11660–11672. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20775>
5. Ahmed, T., Noman, M., Qi, Y., Shahid, M., Hussain, S., Masood, H. A., Xu, L., Ali, H. M., Negm, S., El-Kott, A. F., Yao, Y., Qi, X., & Li, B. (2023). Fertilization of Microbial Composts: A Technology for Improving Stress Resilience in Plants. *Plants*, 12(20), 3550. <https://doi.org/10.3390/plants12203550>
6. Ahn, H. K., Richard, T. L., & Glanville, T. D. (2008). Optimum moisture levels for biodegradation of mortality composting envelope materials. *Waste Management*, 28(8), 1411–1416. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.05.022>

7. Ali Al-Shebly, H. A. (2022a). Effect of *Aspergillus flavus* on Seed Germination and Seedlings Growth of Barley and Some of Associated Weeds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1060(1), 012119.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1060/1/012119>
8. Ali Al-Shebly, H. A. (2022b). Effect of *Aspergillus flavus* on Seed Germination and Seedlings Growth of Barley and Some of Associated Weeds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1060(1), 012119.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1060/1/012119>
9. Aliyu, S., & Bala, M. (2011). Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications. *African Journal of Biotechnology*, 10(3), 324–331.
10. Amery, F., Vandaele, E., Körner, I., Loades, K., Viaene, J., Vandecasteele, B., & Willekens, K. (2020). *Compost quality indicators*.
11. Anwer, A., & Khan, M. (2013). *Aspergillus niger* as tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* Mill.) quality enhancer and plant health promoter. *Journal of Postharvest Technology*, 01(01), 36–51.
12. Anyanwu, J. O., Oguzie, K. L., Ogbulie, T. E., Akalezi, C. O., & Oguzie, E. E. (2023). Electrochemical and microbial treatment of bromophenol blue dye in aqueous solution. *Journal of Electrochemical Science and Engineering*.
<https://doi.org/10.5599/jese.1882>
13. Ardón, C. (2004). *EVALUACIÓN DE PERICARPIO DE JACARANDA (Jacaranda mimosaeifolia) Y PASTO ESTRELLA AFRICANA (Cynodon plectostachyus), PARA EL CULTIVO ARTESANAL DEL HONGO OSTRA (Pleurotus ostreatus, Ecosur-0112)* [tesis de licenciatura]. Universidad de San Carlos de Guatemala .
14. Arenas, B., & Hinojosa, J. (2015). *ANÁLISIS DE LA RESPUESTA FISIOLÓGICA EN PLANTAS DE JITOMATE (Lycopersicon esculentum) SOMETIDAS A ESTRÉS ABIÓTICO* [tesis de licenciatura]. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
15. Aroh, K. (2019). Review: Beer Production. *SSRN Electronic Journal*.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.3458983>

16. Ascenza. (2024, March 29). *Tomate*. Tomate.
https://web.archive.org/web/202400000000000*/https://ascenza.mx/es/resources/tomate
17. Asses, N., Ayed, L., Hkiri, N., & Hamdi, M. (2018). Congo Red Decolorization and Detoxification by *Aspergillus niger*: Removal Mechanisms and Dye Degradation Pathway. *BioMed Research International*, 2018, 1–9.
<https://doi.org/10.1155/2018/3049686>
18. Association of Official Analytical Chemists. (1990). Determination of Ash in Animal feed by Drying. In H. Kenneth (Ed.), *Official Methods of Analysis* (15th ed., pp. 69–88). Official Methods of Analysis.
19. Astija, Anggy Rizky Januarista, Vita Indri Febriani, & Lestari MP Alibasyah. (2022). The effect of soil pH on a carbohydrate level of tomato fruits (*Lycopersicum esculentum* Mill.) from bobo and Sidera villages. *GSC Advanced Research and Reviews*, 12(1), 001–004. <https://doi.org/10.30574/gscarr.2022.12.1.0169>
20. Aziz, L., Hamayun, M., Rauf, M., Iqbal, A., Arif, M., Husssin, A., & Khan, S. A. (2021). Endophytic *Aspergillus niger* reprograms the physicochemical traits of tomato under cadmium and chromium stress. *Environmental and Experimental Botany*, 186, 104456. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104456>
21. Azoulay, A., Garzon, P., & Eisenberg, M. J. (2001). Comparison of the mineral content of tap water and bottled waters. *Journal of General Internal Medicine*, 16(3), 168–175. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1497.2001.04189.x>
22. Babu, D. R., Pandey, M., & Rao, G. N. (2014). Antioxidant and electrochemical properties of cultivated *Pleurotus* spp. and their sporeless/low sporing mutants. *Journal of Food Science and Technology*, 51(11), 3317–3324.
<https://doi.org/10.1007/s13197-012-0822-9>
23. Bakratsas, G., Samiotaki, M., Katapodis, P., & Stamatis, H. (2024). Proteomic Analysis of *Pleurotus ostreatus* Grown on Glucose and Xylose Mixtures in Submerged Fermentation Provides Insights into Differentiated Mycelial Composition. *Synthetic Biology and Engineering*, 2(1), 10006–10006.
<https://doi.org/10.35534/sbe.2024.10006>

24. BarthHass GmbH & Co. KG. (2023). *BarthHaas Report 2022/2023*.
25. Bedő, S., Rozbach, M., Nagy, L., Fehér, A., & Fehér, C. (2021). Optimised Fractionation of Brewer's Spent Grain for a Biorefinery Producing Sugars, Oligosaccharides, and Bioethanol. *Processes*, 9(2), 366.
<https://doi.org/10.3390/pr9020366>
26. Bedoya-Cataño, J. F., Ramón-Palacio, C., Gil-Garzón, M. A., & Ramírez-Sánchez, C. (2022). Extracción de antioxidantes de los arándanos (*Vaccinium corymbosum*): efecto de solventes verdes sobre polifenoles totales, capacidad antioxidante y comportamiento electroquímico. *TecnoLógicas*, 25(53), e2277.
<https://doi.org/10.22430/22565337.2277>
27. Beerlabteam. (2020, January 31). *LA REUTILIZACIÓN RESPONSABLE DE RESIDUOS CERVECEROS*. Beerlabs.
28. Bellettini, M. B., Fiorda, F. A., Maieves, H. A., Teixeira, G. L., Ávila, S., Hornung, P. S., Júnior, A. M., & Ribani, R. H. (2019). Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(4), 633–646.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.005>
29. Berman, R. (2023, April 24). *A daily dose of blueberries could improve brain and heart health*. Medical News Today.
30. Bettin, F., Cousseau, F., Martins, K., Zaccaria, S., Girardi, V., Silveira, M. M. da, & Dillon, A. J. P. (2019). Effects of pH, Temperature and Agitation on the Decolourisation of Dyes by Laccase-Containing Enzyme Preparation from *Pleurotus sajor-caju*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 62.
<https://doi.org/10.1590/1678-4324-2019180338>
31. Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1–2), 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
32. Bradley, P. (2023, December 2). *Starting Seedlings in Hydroponics*. Progressive Growth Garden Supply & Hydroponics.

33. Briggs, D., Boulton, C., Brookes, P., & Stevens, R. (2004). Water, Effluents and wastes. In *Brewing Science and Practice* (1st ed., pp. 52–82). Woodhead Publishing Limited.
34. Butré, C. I., Wierenga, P. A., & Gruppen, H. (2014). Influence of water availability on the enzymatic hydrolysis of proteins. *Process Biochemistry*, 49(11), 1903–1912. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.08.009>
35. Cabra Cendales, T., Rodríguez González, C. A., Villota Cuásquer, C. P., Tapasco Alzate, O. A., & Hernández Rodríguez, A. (2017). Bacillus effect on the germination and growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L). *Acta Biológica Colombiana*, 22(1), 37. <https://doi.org/10.15446/abc.v22n1.57375>
36. Campos, C. (2022, January 31). Monterrey identifica 188 tiraderos de basura clandestinos en el centro. *ABC Noticias*.
37. Campos, H., Trejo, C., Peña-Valdivia, C. B., García-Nava, R., Víctor Conde-Martínez, F., & Cruz-Ortega, R. (2020). Water availability effects on germination, membrane stability and initial root growth of *Agave lechuguilla* and *A. salmiana*. *Flora*, 268, 151606. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151606>
38. Cargua Catagña, F. E., Rodríguez Llerena, M. V., Damián Carrión, D. A., Recalde Moreno, C. G., & Santillán Lima, G. P. (2017). Analytical methods comparison for soil organic carbon determination in Andean Forest of Sangay National Park-Ecuador. *Acta Agronómica*, 66(3), 408–413. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n3.52467>
39. Carlini, M., Monarca, D., Castellucci, S., Mennuni, A., Casini, L., & Selli, S. (2021). Beer spent grains biomass for biogas production: Characterization and anaerobic digestion-oriented pre-treatments. *Energy Reports*, 7, 921–929. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.07.049>
40. CARMO, C. O. do, RODRIGUES, M. D. S., SILVA, F. da, IRINEU, T. G. M., & SOARES, A. C. F. (2021). SPENT MUSHROOM SUBSTRATE of *Pleurotus ostreatus* KUMMER INCREASES BASIL BIOMASS AND ESSENTIAL OIL YIELD. *Revista Caatinga*, 34(3), 548–558. <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n306rc>

41. Carter, A. (2023, February 23). *Can D-Mannose Treat or Prevent UTIs?* Healthline.
42. Castillo, L., & Martínez, L. (2022). *Potencial biotecnológico de residuos cerveceros para el cultivo y obtención de enzimas extracelulares de Pleurotus ostreatus y Pleurotus djamor* [tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
43. Castro, R. (2022, August 24). *La cerveza aporta 1.5% del PIB de México*. Fortuna Negocios y Finanzas.
44. Celis-Perera, S. E., Cristóbal-Alejo, J., Reyes-Ramírez, A., Garruña-Hernández, R., Tun-Suarez, J. M., & Gamboa-Angulo, M. (2022). Trichoderma asperellum Ta13-17 in the growth of Solanum lycopersicum and biocontrol of Corynespora cassiicola. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 41(1). <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2207-1>
45. Chauhan, R. (2019). Nitrogen sources and trace elements influence Laccase and peroxidase enzymes activity of Grammothele fuligo. *Vegetos*, 32(3), 316–323. <https://doi.org/10.1007/s42535-019-00049-w>
46. Chauhan, S., Yadav, D., Kumar, S., Kumar, R., & Kumar, A. (2023). Effect of Calcium on the Growth and Yield of Tomato (Solanum lycopersicum L.) . *Biological Forum – An International Journal*, 15(10), 1162–1166.
47. Chirinang, P., & Intarapichet, K.-O. (2009). Amino acids and antioxidant properties of the oyster mushrooms, Pleurotus ostreatus and Pleurotus sajor-caju. *ScienceAsia*, 35(4), 326–331. <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2009.35.326>
48. Choudhury, M., Rahman, T., Kakon, A., Hoque, N., Akhtaruzzaman, M., Begum, M., Choudhuri, M., & Hossain, M. (2013). Effects of Pleurotus ostreatus on Blood Pressure and Glycemic Status of Hypertensive Diabetic Male Volunteers. *Bangladesh Journal of Medical Biochemistry*, 6(1), 5–10. <https://doi.org/10.3329/bjmb.v6i1.13280>
49. Cogger, C. G. (2005). Potential Compost Benefits for Restoration Of Soils Disturbed by Urban Development. *Compost Science & Utilization*, 13(4), 243–251. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2005.10702248>

50. Coherent Market Insights. (2023, April 22). *Cellulase Market Analysis*. Coherent Market Insights.
51. Contato, A. G., Inácio, F. D., Brugnari, T., Araújo, C. A. V. de, Maciel, G. M., Haminiuk, C. W. I., Peralta, R. M., & Souza, C. G. M. de. (2020). Solid-state fermentation with orange waste: optimization of Laccase production from *Pleurotus pulmonarius* CCB-20 and decolorization of synthetic dyes. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 42, e52699.
<https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v42i1.52699>
52. Cooper, T. E., Teng, C., Howell, M., Teixeira-Pinto, A., Jaure, A., & Wong, G. (2022). D-mannose for preventing and treating urinary tract infections. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2022(8).
<https://doi.org/10.1002/14651858.CD013608.pub2>
53. Cortazar, A., González, C., Coronel, C., Escalante, J., Castro, J., & Villagómez, J. (2012). Biotecnología aplicada a la degradación de colorantes de la industria textil. *Universidad y Ciencia*, 28(2), 187–199.
54. D'Agostini, É. C., Mantovani, T. R. D., Valle, J. S. do, Paccola-Meirelles, L. D., Colauto, N. B., & Linde, G. A. (2011). Low carbon/nitrogen ratio increases laccase production from basidiomycetes in solid substrate cultivation. *Scientia Agricola*, 68(3), 295–300. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000300004>
55. Dani, R. (2021, February 20). *Global Amylases Market*. DataIntelto.
56. Daughton, C. G. (2004). Non-regulated water contaminants: emerging research. *Environmental Impact Assessment Review*, 24(7–8), 711–732.
<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2004.06.003>
57. de Jesús-Rivera, L., Álvarez-Sánchez, M. E., Ramírez-Pérez, F., Maldonado-Torres, R., & Bandala-Muñoz, V. M. (2022). Uso potencial de las glóquidas de tuna como sustrato para la producción de micelio de *Pleurotus* sp. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(6), 991–1002.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v13i6.3310>
58. Devi, S., Prabhu, N., Monika, S., Swapna, N., Vaishali, S., & Gajendran, T. (2020). Sequestration and purification of essential enzyme from *Pleurotus florida* compost

- waste and its application studies. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 8(1), 64–68. <https://doi.org/10.7324/JABB.2020.80111>
59. Devolli, A., Shahinasi, E., Stafasani, M., Feta, D., & Dara, F. (2018). Evaluation of brewery waste and its reduction methods . *Albanian Journal of Agricultural Science*, 17(special issue), 506–514.
60. Diaz-Pérez, J. C., Shackel, K. A., & Sutter, E. G. (1995). Relative water content and water potential of tissue 1. *Journal of Experimental Botany*, 46(1), 111–118. <https://doi.org/10.1093/jxb/46.1.111>
61. Ding, Z., Chen, Y., Xu, Z., Peng, L., Xu, G., Gu, Z., Zhang, L., Shi, G., & Zhang, K. (2014). Production and characterization of laccase from *Pleurotus ferulae* in submerged fermentation. *Annals of Microbiology*, 64(1), 121–129. <https://doi.org/10.1007/s13213-013-0640-y>
62. Doctrow, B. (2023, September 26). *Immune response to eating chitin linked to better health*. National Institutes of Health.
63. Drost, D. (2020, May). *How to Grow Tomatoes in Your Garden*. Utah State University.
64. Duddek, P., Ahmed, M. A., Javaux, M., Vanderborght, J., Lovric, G., King, A., & Carminati, A. (2023). The effect of root hairs on root water uptake is determined by root–soil contact and root hair shrinkage. *New Phytologist*, 240(6), 2484–2497. <https://doi.org/10.1111/nph.19144>
65. Duruoha, C., Piffer, C. R., & Silva, P. A. (2007). CORN ROOT LENGTH DENSITY AND ROOT DIAMETER AS AFFECTED BY SOIL COMPACTION AND SOIL WATER CONTENT. *IRRIGA*, 12(1), 14–26. <https://doi.org/10.15809/irriga.2007v12n1p14-26>
66. Echo. (2023, October 2). *Factores que influyen en la germinación de semillas*. Echo Community.
67. Economou, C. N., Philippoussis, A. N., & Diamantopoulou, P. A. (2020). Spent mushroom substrate for a second cultivation cycle of *Pleurotus* mushrooms and dephenolization of agro-industrial wastewaters. *FEMS Microbiology Letters*, 367(8). <https://doi.org/10.1093/femsle/fnaa060>

68. Effiong, M. E., Umeokwochi, C. P., Afolabi, I. S., & Chinedu, S. N. (2024). Comparative antioxidant activity and phytochemical content of five extracts of *Pleurotus ostreatus* (oyster mushroom). *Scientific Reports*, *14*(1), 3794. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54201-x>
69. Eichlerová, I., Homolka, L., & Nerud, F. (2006). Ability of industrial dyes decolorization and ligninolytic enzymes production by different *Pleurotus* species with special attention on *Pleurotus calypratus*, strain CCBAS 461. *Process Biochemistry*, *41*(4), 941–946. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.10.018>
70. el Economista. (2022, November 5). ¡Salud! La producción de cerveza mexicana está en niveles récord. *El Economista*.
71. el informador. (2019, May 14). Zapopan encabeza tiraderos clandestinos en el Estado. *Informador MX*.
72. el Khattabi, O., el Hasnaoui, S., Toura, M., Henkrar, F., Collin, B., Levard, C., Colin, F., Merghoub, N., Smouni, A., & Fahr, M. (2023). Seaweed extracts as promising biostimulants for enhancing lead tolerance and accumulation in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Journal of Applied Phycology*, *35*(1), 459–469. <https://doi.org/10.1007/s10811-022-02849-1>
73. el sol de San Luis. (2022, September 30). De canchas de futbol a tiradero de basura: así afectan a las personas los vertederos en SLP. *El Sol de México*.
74. el universal. (2018, June 1). Habitantes de Peñasco temen implementación de tiradero tóxico. *El Universal San Luis Potosí*.
75. Elkanah, F. A., Oke, M. A., & Adebayo, E. A. (2022). Substrate composition effect on the nutritional quality of *Pleurotus ostreatus* (MK751847) fruiting body. *Heliyon*, *8*(11), e11841. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11841>
76. Europa Press Ciencia. (2022, November 21). *Las raíces de las plantas crecen solo cuando hay humedad*. Europapress.
77. Evyan, Y., Michlyn, C., Vikneswary, S., & Chong, M. (2021). Absorption efficiency of Bromophenol Blue and Congo Red using King oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*). *Current Research in Environmental & Applied Mycology*, *11*(1), 294–304. <https://doi.org/10.5943/cream/11/1/22>

78. Familoni, T. V., Ogidi, C. O., Akinyele, B. J., & Onifade, A. K. (2018). Evaluation of yield, biological efficiency and proximate composition of *Pleurotus* species cultivated on different wood dusts. *Czech Mycology*, *70*(1), 33–45.
<https://doi.org/10.33585/cmy.70102>
79. Follmer, C. M., Hummes, A. P., Lângaro, N. C., Petry, C., Moterle, D. F., & Bortoluzzi, E. C. (2021). Nutrient availability and pH level affect germination traits and seedling development of *Conyza canadensis*. *Scientific Reports*, *11*(1), 15607. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95164-7>
80. Fontalvo, J., Morales, L., Vilis, I., Jarri, L., Alfonso, J., & Acosta, J. (2021). Cultivo de jitomate solanum lycopersicum Familia: Solanaceae. In *Universidad Veracruzana*. Universidad Veracruzana.
81. Fos-Codoner, F. S., Bouwman, L. M. S., Keijer, J., & van Schothorst, E. M. (2023). Dietary Galactose Increases the Expression of Mitochondrial OXPHOS Genes and Modulates the Carbohydrate Oxidation Pathways in Mouse Intestinal Mucosa. *The Journal of Nutrition*, *153*(12), 3448–3457.
<https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2023.10.011>
82. Future Market Insights. (2023a, January 27). *Cellulose Fiber Market*. Future Market Insights.
83. Future Market Insights. (2023b, June 4). *Xylanase Market*. Future Market Insights.
84. Garber, J. M., Hennet, T., & Szymanski, C. M. (2021). Significance of fucose in intestinal health and disease. *Molecular Microbiology*, *115*(6), 1086–1093.
<https://doi.org/10.1111/mmi.14681>
85. Garcés-Ayerbe, C., Rivera-Torres, P., Suárez-Perales, I., & Leyva-de la Hiz, D. I. (2019). Is It Possible to Change from a Linear to a Circular Economy? An Overview of Opportunities and Barriers for European Small and Medium-Sized Enterprise Companies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(5), 851. <https://doi.org/10.3390/ijerph16050851>
86. García, O., Infante, R., & Rivera, C. (2008). Hacia una definición de fibra alimentaria. *Anales Venezolanos de Nutrición*, *21*(1), 25–30.

87. Garuba, T., Abdulkareem, K. A., Ibrahim, I. A., Oyebamiji, O. I., Shoyooye, O. A., & Ajibade, T. D. (2017). Influence of substrates on the nutritional quality of *Pleurotus pulmonarius* and *Pleurotus ostreatus*. *Ceylon Journal of Science*, 46(1), 67. <https://doi.org/10.4038/cjs.v46i1.7419>
88. Ge, M., Deng, W., Wang, Z., Weng, C., & Yang, Y. (2024). Effective Decolorization and Detoxification of Single and Mixed Dyes with Crude Laccase Preparation from a White-Rot Fungus Strain *Pleurotus eryngii*. *Molecules*, 29(3), 669. <https://doi.org/10.3390/molecules29030669>
89. González, M. (2017). Los ingredientes. In Lulu Enterprises. - Lulu Press Inc. (Ed.), *Principios de Elaboración de las Cervezas Artesanales* (1st ed., pp. 49–99). Lulu Enterprises. - Lulu Press Inc.
90. Guadarrama, P., & Oropeza, M. (2017). *Productividad y actividad antioxidante de cepas silvestres, reconstituidas e híbridas de pleurotus djamor* [tesis de maestría]. Universidad Tecnológica de la Mixteca.
91. Günç Ergönül, P., Akata, I., Kalyoncu, F., & Ergönül, B. (2013). Fatty Acid Compositions of Six Wild Edible Mushroom Species. *The Scientific World Journal*, 2013(1). <https://doi.org/10.1155/2013/163964>
92. Gutiérrez, D., Ortiz, C., & Mendoza, A. (2008). Medición de Fenoles y Actividad Antioxidante en Malezas Usadas para Alimentación Animal . *Simposio de Metrología* , 1–5.
93. Harja, M., Buema, G., & Bucur, D. (2022). Recent advances in removal of Congo Red dye by adsorption using an industrial waste. *Scientific Reports*, 12(1), 6087. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10093-3>
94. Hasan, M., Khatun, M., Sajib, M., Rahman, M., Rahman, M., Roy, M., Miah, M., & Ahmed, K. (2015). Effect of Wheat Bran Supplement with Sugarcane Bagasse on Growth, Yield and Proximate Composition of Pink Oyster Mushroom (*Pleurotus djamor*) . *American Journal of Food Science and Technology*, 3(6), 150–157. <https://doi.org/10.12691/ajfst-3-6-2>.
95. Hauer, R. J., & Johnson, G. R. (2021). Relationship of structural root depth on the formation of stem encircling roots and stem girdling roots: Implications on tree

- condition. *Urban Forestry & Urban Greening*, 60, 127031.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127031>
96. Henderickx, M. M. E. L., Stoots, S. J. M., Baard, J., & Kamphuis, G. M. (2023). Could the region you live in prevent or precipitate kidney stone formation due to mineral intake through tap water? An analysis of nine distribution regions in Flanders. *Acta Chirurgica Belgica*, 123(4), 354–361.
<https://doi.org/10.1080/00015458.2022.2025722>
97. Hernández, D., Ros, M., Carmona, F., Saez-Tovar, J., & Pascual, J. (2021). Composting Spent Mushroom Substrate from *Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus* Production as a Growing Media Component for Baby Leaf Lettuce Cultivation under *Pythium irregulare* Biotic Stress. *Horticulturae*, 7(2), 13.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae7020013>
98. Hernández, E., Sánchez, C., & Díaz, G. (2017). Production of laccases, cellulases and xylanases of *Pleurotus ostreatus* grown in liquid-state fermentation. *Mexican Journal of Biotechnology*, 2(2), 169–176.
99. Ho, A., Sinick, J., Esko, T., Fischer, K., Menni, C., Zierer, J., Matey-Hernandez, M., Fortney, K., & Morgen, E. K. (2019). Circulating glucuronic acid predicts healthspan and longevity in humans and mice. *Aging*, 11(18), 7694–7706.
<https://doi.org/10.18632/aging.102281>
100. Hoa, H. T., Wang, C.-L., & Wang, C.-H. (2015a). The Effects of Different Substrates on the Growth, Yield, and Nutritional Composition of Two Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*). *Mycobiology*, 43(4), 423–434. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2015.43.4.423>
101. Hoa, H. T., Wang, C.-L., & Wang, C.-H. (2015b). The Effects of Different Substrates on the Growth, Yield, and Nutritional Composition of Two Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*). *Mycobiology*, 43(4), 423–434. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2015.43.4.423>
102. Hou, H., Zhou, J., Wang, J., Du, C., & Yan, B. (2004). Enhancement of laccase production by *Pleurotus ostreatus* and its use for the decolorization of

- anthraquinone dye. *Process Biochemistry*, 39(11), 1415–1419.
[https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00267-X](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00267-X)
103. Husain, Q. (2006). Potential Applications of the Oxidoreductive Enzymes in the Decolorization and Detoxification of Textile and Other Synthetic Dyes from Polluted Water: A Review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 26(4), 201–221.
<https://doi.org/10.1080/07388550600969936>
104. Iark, D., Buzzo, A. J. dos R., Garcia, J. A. A., Côrrea, V. G., Helm, C. V., Corrêa, R. C. G., Peralta, R. A., Peralta Muniz Moreira, R. de F., Bracht, A., & Peralta, R. M. (2019). Enzymatic degradation and detoxification of azo dye Congo red by a new laccase from *Oudemansiella canarii*. *Bioresource Technology*, 289, 121655. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121655>
105. Ievinsh, G. (2023). Water Content of Plant Tissues: So Simple That Almost Forgotten? *Plants*, 12(6), 1238. <https://doi.org/10.3390/plants12061238>
106. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). Importancia de la industria de la cerveza en las industrias manufactureras. In Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Ed.), *Conociendo la industria de la Cerveza colección de estudios sectoriales y regionales* (1st ed., pp. 7–11). Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
107. Isanapong, J., Suwannoi, K., Lertlattanapong, S., & Panchal, S. (2024). Purification, characterization of laccase from *Pleurotus ostreatus* HK35, and optimization for congo red biodecolorization using Box–Behnken design. *3 Biotech*, 14(3), 73. <https://doi.org/10.1007/s13205-024-03926-7>
108. Islam, M., Rahman, M., Bulbul, S., & Alam, M. (2011). EFFECT OF Trichoderma ON SEED GERMINATION AND SEEDLING PARAMETERS IN CHILI . *International Journal of Experimental Agriculture*, 2(1), 21–26.
109. Jaeger, A., Arendt, E. K., Zannini, E., & Sahin, A. W. (2020). Brewer's Spent Yeast (BSY), an Underutilized Brewing By-Product. *Fermentation*, 6(4), 123. <https://doi.org/10.3390/fermentation6040123>
110. Jandacek, R. J. (2017). Linoleic Acid: A Nutritional Quandary. *Healthcare*, 5(2), 25. <https://doi.org/10.3390/healthcare5020025>

111. Jankauskienė, J., Brazaitytė, A., Bobinas, Č., & Duchovskis, P. (2013). Effect of Transplant Growth Stage on Tomato Activity. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 12(2), 143–152.
112. Jegadeesh, R., Lakshmanan, H., Kab, J., Sabar, V., & Raaman, N. (2018). Cultivation of pink Oyster mushroom *Pleurotus djamor* var. *roseus* on various agro-residues by low cost technique. *Journal of Mycopathological Research*, 56(3), 213–220.
113. Jin, Z., Li, Y., Ren, J., & Qin, N. (2018). Yield, Nutritional Content, and Antioxidant Activity of *Pleurotus ostreatus* on Corncobs Supplemented with Herb Residues. *Mycobiology*, 46(1), 24–32.
<https://doi.org/10.1080/12298093.2018.1454014>
114. Juárez, C. (2021, October 6). *Cifras de la industria: consumo y producción de cerveza en México*. The Logistics World.
115. Karlović, A., Jurić, A., Ćorić, N., Habschied, K., Krstanović, V., & Mastanjević, K. (2020). By-Products in the Malting and Brewing Industries—Re-Usage Possibilities. *Fermentation*, 6(3), 82. <https://doi.org/10.3390/fermentation6030082>
116. Karpova, G., Fomina, T., Vetoshkina, T., Borovskaia, T., Voronova, O., Dubskaia, T., Udut, V., & Khlusova, M. (2001). Preclinical toxicological study of D-glucuronic acid. *Экспериментальная и Клиническая Фармакология*, 64(1), 68–70.
117. Khan, M., Asi, M., Ahmad, N., Aslam, M., Rehman, A., & Javed, N. (2013). Effect of different levels of lime and pH on mycelial growth and production efficiency of oyster mushroom (*Pleurotus* spp.). *Pakistan Journal of Botany*, 45(1), 297–302.
118. Kim, E., Lee, D.-H., Won, S., & Ahn, H. (2015). Evaluation of Optimum Moisture Content for Composting of Beef Manure and Bedding Material Mixtures Using Oxygen Uptake Measurement. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(5), 753–758. <https://doi.org/10.5713/ajas.15.0875>
119. Kirin Brewery Company. (2022, December 23). *Global Beer Consumption by Country in 2021*. Kirin Holdings.

120. Kılıç, C. (2020). Production of *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus citrinopileatus* and *Pleurotus djamor* in different contents and some physical analysis. *Wood Industry and Engineering*, 2(1), 17–23.
121. Koç, N., & Acar, R. (2015, October 3). The soil factors which effect on root growth in forage plants. *2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Environment*.
122. Koide, S. S. (1998). Chitin-chitosan: Properties, benefits and risks. *Nutrition Research*, 18(6), 1091–1101. [https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(98\)00091-8](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(98)00091-8)
123. Krasilnikov, P., Taboada, M. A., & Amanullah. (2022). Fertilizer Use, Soil Health and Agricultural Sustainability. *Agriculture*, 12(4), 462. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040462>
124. Kumar, S., Singh, R. K., & Bharti, P. (2020). Decolorization Potential and Comparative Laccase Activity of *Pleurotus* Species. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(8), 1935–1942. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.908.221>
125. Kwiatkowski, C. A., & Harasim, E. (2021). The Effect of Fertilization with Spent Mushroom Substrate and Traditional Methods of Fertilization of Common Thyme (*Thymus vulgaris* L.) on Yield Quality and Antioxidant Properties of Herbal Material. *Agronomy*, 11(2), 329. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020329>
126. Lee, K. K., Kristanti, R. A., Yulisa, A., Rubiyatno, Ningsih, F., Syafrudin, M., Hernandez, E., & Albescu, M. (2022). Biosorption of Synthetic Dye by Macrofungi. *Industrial and Domestic Waste Management*, 2(2), 61–70. <https://doi.org/10.53623/idwm.v2i2.108>
127. LICHTENTHALER, H. K., & WELLBURN, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11(5), 591–592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
128. Lim, S.-H., Lee, Y.-H., & Kang, H.-W. (2013). Efficient Recovery of Lignocellulolytic Enzymes of Spent Mushroom Compost from Oyster Mushrooms,

- Pleurotus* spp., and Potential Use in Dye Decolorization. *Mycobiology*, 41(4), 214–220. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2013.41.4.214>
129. Lima, V. H., Matugawa, A. T., Mascarín, G. M., & Fernandes, É. K. K. (2024a). Complex nitrogen sources from agro-industrial byproducts: impact on production, multi-stress tolerance, virulence, and quality of *Beauveria bassiana* blastospores. *Microbiology Spectrum*, 12(6). <https://doi.org/10.1128/spectrum.04040-23>
130. Lima, V. H., Matugawa, A. T., Mascarín, G. M., & Fernandes, É. K. K. (2024b). Complex nitrogen sources from agro-industrial byproducts: impact on production, multi-stress tolerance, virulence, and quality of *Beauveria bassiana* blastospores. *Microbiology Spectrum*, 12(6). <https://doi.org/10.1128/spectrum.04040-23>
131. Logsdon, S. D. (2015). Root Effects on Soil Properties and Processes: Synthesis and Future Research Needs. In D. Timlin & L. Ahuja (Eds.), *Enhancing Understanding and Quantification of Soil–Root Growth Interactions* (Vol. 4, pp. 173–196). American Society of Agronomy. <https://doi.org/10.2134/advagriscystmodel4.c8>
132. López, E., & Paz, L. (2023). *Conversión de Residuos Agrícolas a Azúcares Fermentables Útiles Para la Producción de Bioetanol* [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma de San Luis Potosí
133. Ludwig, F., Jewitt, R. A., & Donovan, L. A. (2006). Nutrient and water addition effects on day- and night-time conductance and transpiration in a C3 desert annual. *Oecologia*, 148(2), 219–225. <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0367-6>
134. Lynch, K. M., Steffen, E. J., & Arendt, E. K. (2016). Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health. *Journal of the Institute of Brewing*, 122(4), 553–568. <https://doi.org/10.1002/jib.363>
135. Ma, L., Lin, Q., Song, Y., Zhao, B., & Fan, M. (2020). Toxic effect of three imidazole ionic liquids on two terrestrial plants. *Open Life Sciences*, 15(1), 466–475. <https://doi.org/10.1515/biol-2020-0051>
136. Macías-Rodríguez, L., Guzmán-Gómez, A., García-Juárez, P., & Contreras-Cornejo, H. A. (2018). *Trichoderma atroviride* promotes tomato development and alters the root exudation of carbohydrates, which stimulates fungal growth and the

- biocontrol of the phytopathogen *Phytophthora cinnamomi* in a tripartite interaction system. *FEMS Microbiology Ecology*. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiy137>
137. Martínez, C. (2023, August 4). *Cerveza mexicana: conoce el valor de su producción, exportación y tendencias*. The Logistics World.
138. Martínez-Berra, C., Díaz, R., Sánchez-Minutti, L., & Díaz-Godínez, G. (2018). Biodegradación de colorantes azo por *Pleurotus ostreatus*. *Mexican Journal of Biotechnology*, 3(1), 43–59. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2018.3.1.43>
139. Martínez-Leal, J., Ponce-García, N., & Escalante-Aburto, A. (2020). Recent Evidence of the Beneficial Effects Associated with Glucuronic Acid Contained in Kombucha Beverages. *Current Nutrition Reports*, 9(3), 163–170. <https://doi.org/10.1007/s13668-020-00312-6>
140. Mayo Clinic. (2022, November 4). *Fibra alimentaria: esencial para una alimentación saludable*. Mayo Clinic.
141. Medline plus. (2024, March 6). *Blood Glucose*. Medline Plus.
142. Mia, F., Hussain, A., Mia, S., & Hassan, Z. (2020). Effect of variety and spacing on the resource use efficiency of maize. *Journal of Experimental Biosciences*, 11(2), 35–48.
143. Miao, R., Yuan, W., Wang, Y., Garcia-Maquilon, I., Dang, X., Li, Y., Zhang, J., Zhu, Y., Rodriguez, P. L., & Xu, W. (2021). Low ABA concentration promotes root growth and hydrotropism through relief of ABA INSENSITIVE 1-mediated inhibition of plasma membrane H⁺-ATPase 2. *Science Advances*, 7(12). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd4113>
144. Michael, K. G. F. T., & Somani, B. K. (2022). Variation in Tap Water Mineral Content in the United Kingdom: Is It Relevant for Kidney Stone Disease? *Journal of Clinical Medicine*, 11(17), 5118. <https://doi.org/10.3390/jcm11175118>
145. Miftahurrohmat, A., & Sutarman. (2018). The morphological response of the soybean growth (*Glycine max* (L)) until vegetative stage 3 on various intensities of light. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 420, 012069. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/420/1/012069>

146. Miller, G. L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426–428.
<https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
147. Mora, M. (2022, September 21). *Cerveza artesanal es para degustarse, como los buenos vinos*. El Sol de San Luis.
148. Morón, C., Zacarías, I., & de Pablo, S. (1997). Análisis de fibra dietética. In C. Morón, I. Zacarías, & S. de Pablo (Eds.), *Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición*. Universidad de Chile, Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos.
149. Mundim, G. de S. M., Maciel, G. M., & Mendes, G. de O. (2022). *Aspergillus niger* as a Biological Input for Improving Vegetable Seedling Production. *Microorganisms*, 10(4), 674. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10040674>
150. Mussatto, S. I., Dragone, G., & Roberto, I. C. (2006). Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.06.001>
151. Naciri, R., Rajib, W., Chtouki, M., Zeroual, Y., & Oukarroum, A. (2022). Potassium and phosphorus content ratio in hydroponic culture affects tomato plant growth and nutrient uptake. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 28(4), 763–774. <https://doi.org/10.1007/s12298-022-01178-4>
152. National Center for Biotechnology Information. (2024a). *Congo red*. PubChem.
153. National Center for Biotechnology Information. (2024b, July 16). *Bromophenol Blue*. Pubchem .
154. National Health Service. (2023, May 19). *Sugar: the facts*. National Health Service.
155. National Institutes of Health. (2019, March 5). *Potasio*. National Institutes of Health.
156. National Institutes of Health. (2020, March 24). *Magnesio*. National Institutes of Health.
157. Navarro, M. (2020, January 2). *Creceen tiraderos de basura clandestinos en la CDMX*. El Sol de México.

158. NAYAK, H., KUSHWAHA, A., SRIVASTAVA, S., KUSHWAHA, K. P. S., CHANDRA BEHERA, P., BALA, P., SHAHI, N. C., & KUMAR, A. (2022). Economically viable Mushroom (*Pleurotus djamor*) farming for nutritional security in Uttarakhand. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 92(5), 577–581. <https://doi.org/10.56093/ijas.v92i5.124628>
159. Neves, M. F., Trombin, V. G., Lopes, F. F., Kalaki, R., & Milan, P. (2011). World consumption of beverages. In *The orange juice business* (pp. 118–118). Wageningen Academic Publishers. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-739-4_31
160. Nieto Juárez, J. I., Cuzcano Ruiz, Á. D., & Reyes López, W. A. (2019). ESTUDIO PRELIMINAR DE LA COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL HONGO *Pleurotus ostreatus* CULTIVADO EN PULPA DE CAFÉ. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 85(4), 422–431. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i4.256>
161. Nwoko, M., Ehumadu, C., Achufusi, J., Nmezi, S., Ezekoye, M., Ahaiwe, M., Okwulehie, I., Ogwo, N., & Chukwuma, O. (2022). Variability effect of pH on yield optimization and Mycochemical compositions of *Pleurotus ostreatus* sporophores cultured on HCl-induced substrate . *African Journal of Plant Science*, 16(5), 97–110.
162. Owaid, M. N., Abed, I. A., & Al-Saeedi, S. S. S. (2017). Applicable properties of the bio-fertilizer spent mushroom substrate in organic systems as a byproduct from the cultivation of *Pleurotus* spp. *Information Processing in Agriculture*, 4(1), 78–82. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.01.001>
163. Padmore, J. (1990). Animal feed. In *Official Methods of Analysis* (1st ed.). Association of Official Analytical Chemists.
164. Panawala, L. (2017, April 11). *Difference between Chlorophyll A and B*. Pediaa.
165. Papinutti, L., & Forchiassin, F. (2010). Adsorption and decolorization of dyes using solid residues from *Pleurotus ostreatus* mushroom production. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 15(6), 1102–1109. <https://doi.org/10.1007/s12257-010-0074-3>
166. Pasin, T. M., dos Anjos Moreira, E., de Lucas, R. C., Benassi, V. M., Ziotti, L. S., Cereia, M., & Polizeli, M. de L. T. de M. (2020). Novel amylase-producing

- fungus hydrolyzing wheat and brewing residues, *Aspergillus carbonarius*, discovered in tropical forest remnant. *Folia Microbiologica*, 65(1), 173–184.
<https://doi.org/10.1007/s12223-019-00720-4>
167. Pathak, P., Singh, C., Chaudhary, N., Rathi, A., & Vyas, D. (2021). Fertilizing with Spent Mushroom Compost. In *Recent Trends in Mushroom Biology* (1st ed., pp. 174–186). Vishwagyan Prakashan.
168. Pereira de Moura, F., & Rocha dos Santos Mathias, T. (2018). A Comparative Study of Dry and Wet Milling of Barley Malt and Its Influence on Granulometry and Wort Composition. *Beverages*, 4(3), 51.
<https://doi.org/10.3390/beverages4030051>
169. Persistence Market Research. (2023, March 20). *Alpha Amylase Market*. Persistence Market Research.
170. Peško, M., Molnárová, M., & Fargašová, A. (2016). Response of Tomato Plants (*Solanum lycopersicum*) to Stress Induced by Sb(III). *Acta Environmentalica Universitatis Comenianae*, 24(1), 42–47. <https://doi.org/10.1515/aeuc-2016-0006>
171. Pilatin, S., & Kunduhoglu, B. (2016). The Decolorization of Reactive Textile Dyes by *Pleurotus Sajor-Caju*. *Journal of Applied Biological Sciences*, 9(2), 41–45.
172. Plamer, J. (2006). Brewing Your First Extract and Specialty Grain Beer. In *How to Brew* (3rd ed., pp. 112–127). Brewers Publications.
173. Pomeranz, Y., & Meloan, C. E. (1994). Ash and Minerals. In *Food Analysis* (pp. 602–624). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6998-5_35
174. Precision Fermentation. (2022). *Water Chemistry for Brewers Key Considerations for Quality and Consistency*.
175. Punčochářová, L., Pořízka, J., Diviš, P., & Štursa, V. (2019). Study of the influence of brewing water on selected analytes in beer. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 13(1), 507–514. <https://doi.org/10.5219/1046>
176. Purwanto, E., & Prasetyo, T. (2021). Changing the Paradigm of a Linear Economy into a Circular Economy in Residential Waste Management. *IOP*

- Conference Series: Earth and Environmental Science*, 945(1), 012054.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/945/1/012054>
177. Queensland Government. (2023, June 12). *Soil fertility decline*. Queensland Government.
178. Radhika, R., Jebapriya, G. R., & Gnanadoss, J. J. (2014). Decolourization of Synthetic Textile Dyes using the Edible Mushroom Fungi *Pleurotus*. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 17(2), 248–253.
<https://doi.org/10.3923/pjbs.2014.248.253>
179. Rafiei, B., Ghadamyari, M., Imani, S., Hosseininaveh, V., & Ahadiyat, A. (2016). Purification and characterization of α -amylase in Moroccan locust, *Dociostaurus maroccanus* Thunberg (Orthoptera: Acrididae) and its inhibition by inhibitors from *Phaseolus vulgaris* L. *Toxin Reviews*, 35(3–4), 90–97.
<https://doi.org/10.1080/15569543.2016.1207190>
180. Rafique, M. A., Kiran, S., Javed, S., Ahmad, I., Yousaf, S., Iqbal, N., Afzal, G., & Rani, F. (2021). Green synthesis of nickel oxide nanoparticles using *Allium cepa* peels for degradation of Congo red direct dye: an environmental remedial approach. *Water Science and Technology*, 84(10–11), 2793–2804.
<https://doi.org/10.2166/wst.2021.237>
181. Raman, J., Lakshmanan, H., Jang, K., Oh, M., Oh, Y., & Im, J. (2020). Nutritional composition and antioxidant activity of pink oyster mushrooms (*Pleurotus djamor* var. *roseus*) grown on a paddy straw substrate. *Journal of Mushrooms*, 18(3), 189–200. <https://doi.org/10.14480/JM.2020.18.3.189>
182. Rawashdeh, R., Saadoun, I., & Mahasneh, A. (2005). Effect of cultural conditions on xylanase production by *Streptomyces* sp. (strain Ib 24D) and its potential to utilize tomato pomace. *African Journal of Biotechnology*, 4(3), 251–255.
183. Reva Aulia Qorri, Periadnadi, & Nurmiati. (2022). Enzyme activities in the spent mushroom substrate from *Pleurotus ostreatus*. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 16(2), 942–947.
<https://doi.org/10.30574/wjarr.2022.16.2.1253>

184. Rodríguez, G. E., Martínez, D. A., Buglione, M. B., Filippi, M. V., & Agüero, M. S. (2018). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* (Jacq .: Fr.) Kummer on pear pomace: Evaluation of productivity and chemical composition of the biodegraded substrate. *Anales de Biología*, 40, 21–30. <https://doi.org/10.6018/analesbio.40.03>
185. Rodríguez García, D., & Vargas Rojas, J. (2022). Efecto de la inoculación con *Trichoderma* sobre el crecimiento vegetativo del tomate (*Solanum lycopersicum*). *Agronomía Costarricense*. <https://doi.org/10.15517/rac.v46i2.52045>
186. Romero, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *TecnoLógicas*, 25(54).
187. Ruilova, M., Hernández, A., & Niño, Z. (2017). Influence of C/N ratio on productivity and the protein contents of *Pleurotus ostreatus* grown in different residue mixtures . *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(2), 331–344.
188. SafetyCulture. (2024, January 15). *Economía circular: Más que reciclaje*. SafetyCulture.
189. Saha, S., Tamang, S., Saha, D., & Saha, A. (2023). Agro-industrial waste based substrate for production of two major cultivated oyster mushrooms in sub-Himalayan West Bengal. *Journal of Environmental Biology*, 44(4), 648–654. <https://doi.org/10.22438/jeb/44/4/MRN-5089>
190. Sales, C., Ferreira, A., Teixeira, M., Minhoni, A., & Nogueira, M. (2009). Mineral composition of raw material, substrate and fruiting bodies of *Pleurotus ostreatus* in culture. *Interciencia*, 34(6), 432–436.
191. Salmones, D. (2017). *Pleurotus djamor*, un hongo con potencial aplicación biotecnológica para el neotrópico. *Revista Mexicana de Micología*, 46, 73–85.
192. Sánchez, A., Esqueda, M., Gaitán, R., Córdova, A., & Coronado, M. (2008). Uso potencial del rastrojo de tomate como sustrato para el cultivo de *Pleurotus* spp. *Revista Mexicana de Micología*, 28, 17–24.
193. Sánchez, F., Moreno, E., & Cruz, E. (2009). Producción de jitomate hidropónico bajo invernadero en un sistema de dosel en forma de escalera. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 15(1), 67–73.

194. Sané, A. K., Diallo, B., Kane, A., Sagna, M., Sané, D., & Sy, M. O. (2021). In vitro Germination and Early Vegetative Growth of Five Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Varieties under Water Stress Conditions. *American Journal of Plant Sciences*, 12(10), 1478–1502. <https://doi.org/10.4236/ajps.2021.1210105>
195. Sanhueza C, J., Nieto K, S., & Valenzuela B., A. (2002). ACIDO LINOLEICO CONJUGADO: UN ACIDO GRASO CON ISOMERIA TRANS POTENCIALMENTE BENEFICIOSO. *Revista Chilena de Nutrición*, 29(2). <https://doi.org/10.4067/S0717-75182002000200004>
196. Sariatli, F. (2017). Linear Economy Versus Circular Economy: A Comparative and Analyzer Study for Optimization of Economy for Sustainability. *Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development*, 6(1), 31–34. <https://doi.org/10.1515/vjbsd-2017-0005>
197. Secretaria de economía. (2012). *Norma Mexicana NMX -AA-013-SCFI-2006 Residuos Sólidos – Determinación de pH – Método de prueba.*
198. Segura, F. (2022, April 28). *Cada año aparecen hasta tres vertederos de basura ilegales en la zona metropolitana de Querétaro.* Via Tr3s.
199. Serrano, L., Ramos, M., Bautista, S., Salazar, D., & Martínez, O. (2023). *Evaluación de productos comerciales y cubiertas de quitosano/aceites esenciales, en el desarrollo de hongos postcosecha in vitro y en jitomate Saladette* [tesis de maestría]. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
200. Shah, T., Gul, T., & Saeed, K. (2019). Photodegradation of bromophenol blue in aqueous medium using graphene nanoplates-supported TiO₂. *Applied Water Science*, 9(4), 105. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0983-z>
201. Shakerdi, L. A., Wallace, L., Smyth, G., Madden, N., Clark, A., Hendroff, U., McGovern, M., Connellan, S., Gillman, B., & Treacy, E. P. (2022). Determination of the lactose and galactose content of common foods: Relevance to galactosemia. *Food Science & Nutrition*, 10(11), 3789–3800. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2976>
202. Shalahuddin, A., Ahmed, K., Miah, N., Rashid, M., & Haque, M. (2019). Effect of Chemical Nutrients (NPK) on Proximate Nutrient and Mineral Content of Oyster

- Mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *International Journal of Nutritional Science and Food Technology*, 5(4), 25–30.
203. Shan, K. C., & Hassan, S. R. (2022). *Extraction of crude enzymes from spent P. ostreatus substrate and its potential use in dye removal*. 030023.
<https://doi.org/10.1063/5.0078665>
204. Sharma, J., Sharma, D., Sharma, A., & Bansal, S. (2021). Thermo stable tyrosinase purified from *Pleurotus djamor* grown in biomimetic calcium carbonate: A biological strategy to industrial waste remediation. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101294. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101294>
205. Sharma, K., Pandit, S., Thapa, B. sen, & Pant, M. (2022). Biodegradation of Congo Red Using Co-Culture Anode Inoculum in a Microbial Fuel Cell. *Catalysts*, 12(10), 1219. <https://doi.org/10.3390/catal12101219>
206. Shiralipour, A., McConnell, D. B., & Smith, W. H. (1992). Uses and benefits of MSW compost: A review and an assessment. *Biomass and Bioenergy*, 3(3–4), 267–279. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(92\)90031-K](https://doi.org/10.1016/0961-9534(92)90031-K)
207. Shraddha, Shekher, R., Sehgal, S., Kamthania, M., & Kumar, A. (2011). Laccase: Microbial Sources, Production, Purification, and Potential Biotechnological Applications. *Enzyme Research*, 2011, 1–11.
<https://doi.org/10.4061/2011/217861>
208. Sierra Nevada Brewing Co. (2021, June 25). *Ale vs lager*. Sierra Nevada Brewing Co.
209. Singh, M., Pandey, A., Vishwakarma, S., Srivastava, A., & Pandey, V. (2012). Extracellular xylanase production by *Pleurotus* species on lignocellulosic wastes under in vivo condition using novel pretreatment. *Cellular and Molecular Biology*, 58(1), 170–173.
210. Singh, R. K., Solankey, S. S., Dwivedi, N., Upadhyay, D. K., Singh, P. K., & Singh, V. K. (2024). Interpretation for genetic nature of morphological traits and phyto-physio-chemical properties in tomato: An overview. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 13(2), 114–127.
<https://doi.org/10.22271/phyto.2024.v13.i2b.14876>

211. Singh, S., & Singh, G. (2018). Effect of different pH, Temperature and Media on Radial Growth of Oyster Mushrooms (*Pleurotus djamor*) . *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 7(11), 73–77.
212. Solis, M., Bárzana, E., García, M., & Viniegra, G. (2007). The ABTS an oxidant agent of different chemical compounds and its recycling process between laccase and sustrate. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* , 6(3), 275–281.
213. Sorgonà, A., Abenavoli, M. R., Cacco, G., & Gelsomino, A. (2011). Growth of Tomato and Zucchini Seedlings in Orange Waste Compost Media: pH and Implication of Dosage. *Compost Science & Utilization*, 19(3), 189–196.
<https://doi.org/10.1080/1065657X.2011.10736999>
214. Srečec, S., Rezić, T., Šantek, B., & Marić, V. (2009). Hop pellets type 90: Influence of manufacture and storage on losses of α -acids. *Acta Alimentaria*, 38(1), 141–147. <https://doi.org/10.1556/AAlim.2008.0014>
215. Stamets, P. (1993). The Oyster Mushrooms. In *Growing gourmet and Medicinal Mushrooms* (1st ed., pp. 297–313). Ten Speed Press.
216. Sulistiany, H., Sudirman, L. I., & Dharmaputra, O. S. (2016). Production of Fruiting Body and Antioxidant Activity of Wild *Pleurotus*. *HAYATI Journal of Biosciences*, 23(4), 191–195. <https://doi.org/10.1016/j.hjb.2016.07.003>
217. Sutherland, B., Steele, K., Carter, J., & Cook, D. D. (2023). The influence of water content on the longitudinal modulus of elasticity of maize stalk pith and rind tissues. *Plant Methods*, 19(1), 64. <https://doi.org/10.1186/s13007-023-01039-5>
218. Swett, R. (2017, March 24). *Tomato Transplanting Tips*. The Real Dirt Blog.
219. Torres-Martínez, B. del M., Vargas-Sánchez, R. D., Torrescano-Urrutia, G. R., Esqueda, M. C., Rodríguez-Carpena, J. G., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. Á., & Sánchez-Escalante, A. (2023). Propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales y antioxidantes de harinas de *Pleurotus* spp. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 26.
<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2023.595>
220. Unión Europea. (2023). Summary of the application: L-Fucose . *European Comission*.

221. United Nations. (2023). *Sustainable Development Goals*. United Nations.
222. University of California San Francisco. (2024). *Increasing Fiber Intake*. UCSF Health.
223. Urbanisme. (n.d.). *RELACIÓN CARBONO NITROGENO (C/N) EN LOS ABONOS ORGÁNICOS*. La Paeria Ajuntament de Lleida.
224. Valdés-Rodríguez, O. A., Sánchez-Sánchez, O., & Pérez-Vázquez, A. (2013). Effects of soil texture on germination and survival of non-toxic *Jatropha curcas* seeds. *Biomass and Bioenergy*, 48, 167–170.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.10.025>
225. Valenzuela-Cobos, J. D., Rodríguez-Grimón, R. O., Zied, D. C., Endara, A. G., Garcés-Moncayo, M. F., Garín-Aguilar, M. E., Sánchez-Hernández, A., & Valencia del Toro, G. (2019a). Chemical composition and biological properties of *Pleurotus* spp. cultivated on peat moss and wheat straw. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 830. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i11.2034>
226. Valenzuela-Cobos, J. D., Rodríguez-Grimón, R. O., Zied, D. C., Endara, A. G., Garcés-Moncayo, M. F., Garín-Aguilar, M. E., Sánchez-Hernández, A., & Valencia del Toro, G. (2019b). Chemical composition and biological properties of *Pleurotus* spp. cultivated on peat moss and wheat straw. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 830. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i11.2034>
227. Valiente, L., Ohaco, E., & de Michelis, A. (2016). Antioxidant capacity of frozen *Pleurotus ostreatus* during convective drying. *Micología Aplicada Internacional*, 28(1), 1–10. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642010000200003>
228. van Donkelaar, L. H. G., Mostert, J., Zisopoulos, F. K., Boom, R. M., & van der Goot, A.-J. (2016). The use of enzymes for beer brewing: Thermodynamic comparison on resource use. *Energy*, 115, 519–527.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.011>
229. Vandamme, E. J. (2009). Agro-Industrial Residue Utilization for Industrial Biotechnology Products. In *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation* (pp. 3–11). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9942-7_1

230. Varnero, M., Quiroz, M., & Álvarez, C. (2010). Utilización de Residuos Forestales Lignocelulósicos para Producción del Hongo Ostra (*Pleurotus ostreatus*). *Información Tecnológica*, 21(2), 13–20.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642010000200003>
231. Vats, A., Kurade, A. S., & Mutnuri, S. (2022). Recovery of Lignocellulolytic Enzymes and Valorization of Spent Mushroom Substrate. *Environment and Natural Resources Journal*, 20(1), 1–9.
<https://doi.org/10.32526/ennrj/20/202100099>
232. Velázquez, B., Hernández, E., Tovar, X., Castillo, L., Díaz, G., Tellez, A., & Álvarez, J. (2021). Biological efficiency and nutritional composition of *Pleurotus djamor* cultivated on bagasse of *Agave salmiana*. *Research Square*.
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-629407/v1>
233. Velusami, B., Jordan, S. N., Curran, T., & Grogan, H. (2021). Fertiliser characteristics of stored spent mushroom substrate as a sustainable source of nutrients and organic matter for tillage, grassland and agricultural soils. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 60(1). <https://doi.org/10.15212/ijafr-2020-0121>
234. Viel, M., Collet, F., & Lanos, C. (2018). Chemical and multi-physical characterization of agro-resources' by-product as a possible raw building material. *Industrial Crops and Products*, 120, 214–237.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.04.025>
235. Voijant Tangahu, B. (2016). Growth Rate Measurement of *Scirpus Grossus* Plant as Preliminary Step to Apply the Plant in Wastewater Treatment Using Reedbed System. *Journal of Civil & Environmental Engineering*, 05(06).
<https://doi.org/10.4172/2165-784X.1000192>
236. Wahab, A., Abdi, G., Saleem, M. H., Ali, B., Ullah, S., Shah, W., Mumtaz, S., Yasin, G., Muresan, C. C., & Marc, R. A. (2022). Plants' Physio-Biochemical and Phyto-Hormonal Responses to Alleviate the Adverse Effects of Drought Stress: A Comprehensive Review. *Plants*, 11(13), 1620.
<https://doi.org/10.3390/plants11131620>

237. White, C., & Zainasheff, J. (2010). Esters, Alcohols and more. In W. Pengelly (Ed.), *Yeast the practical guide to beer fermentation* (pp. 35–63). Brewers Publications.
238. Willis, J., Adhikari, A., Dunaway, C., Parish, J., Kuehny, J., Moreira, J., & Timmerman, A. (2022, May 25). *Composting Series: Compost Moisture Content*. LSU AgCenter.
239. Wisbaum, S. (2021, September). *Moisture Management: The Key to Successful Composting*. CV Compost.
240. Xiong, M., Huang, Y., Liu, Y., Huang, M., Song, G., Ming, Q., Ma, X., Yang, J., Deng, S., Wen, Y., Shen, J., Liu, Q., Zhao, P., & Yang, X. (2018). Antidiabetic Activity of Ergosterol from *Pleurotus Ostreatus* in KK-A^y Mice with Spontaneous Type 2 Diabetes Mellitus. *Molecular Nutrition & Food Research*, 62(3).
<https://doi.org/10.1002/mnfr.201700444>
241. Yadav, P., Maharjan, J., Korpole, S., Prasad, G. S., Sahni, G., Bhattarai, T., & Sreerama, L. (2018). Production, Purification, and Characterization of Thermostable Alkaline Xylanase From *Anoxybacillus kamchatkensis* NASTPD13. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 6.
<https://doi.org/10.3389/fbioe.2018.00065>
242. Yehia, R. S., & Rodriguez-Couto, S. (2017). Discoloration of the azo dye Congo Red by manganese-dependent peroxidase from *Pleurotus sajor caju*. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 53(2), 222–229.
<https://doi.org/10.1134/S0003683817020181>
243. Yunan, N. A. M., Shin, T. Y., & Sabaratnam, V. (2021). Upcycling the Spent Mushroom Substrate of the Grey Oyster Mushroom *Pleurotus pulmonarius* as a Source of Lignocellulolytic Enzymes for Palm Oil Mill Effluent Hydrolysis. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 31(6), 823–832.
<https://doi.org/10.4014/jmb.2103.03020>
244. Yurina, N. A., Koshchaev, A. G., Osepchuk, D. V., Maksim, E. A., Danilova, A. A., & Shumeiko, D. V. (2019). Artificial Ecological System Hydroponics: The Wheat

- Grains Germination Rate. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(1), 4957–4960. <https://doi.org/10.35940/ijeat.A2109.109119>
245. Zacarías, M. (2022, September 17). *Nueve Cervezas artesanales potosinas que no te puedes perder*. Quadratin San Luis Potosí.
246. Zadražil, F. (1975). Influence of CO₂ concentration on the mycelium growth of three pleurotus species. *European Journal of Applied Microbiology*, 1(4), 327–335. <https://doi.org/10.1007/BF01382692>
247. Zhou, J.-L., Song, S., Huang, Z.-X., Yang, L., Jiao, A.-G., Liu, Y., & Wang, S.-X. (2018). Cultivation of *Pleurotus ostreatus*, a potential candidate for biogas residues degradation. *BioResources*, 13(3), 5432–5449. <https://doi.org/10.15376/biores.13.3.5432-5449>
248. Zhou, S., Ma, F., Zhang, X., & Zhang, J. (2016). Carbohydrate changes during growth and fruiting in *Pleurotus ostreatus*. *Fungal Biology*, 120(6–7), 852–861. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2016.03.007>
249. Zhuo, R., Zhang, J., Yu, H., Ma, F., & Zhang, X. (2019). The roles of *Pleurotus ostreatus* HAUCC 162 laccase isoenzymes in decolorization of synthetic dyes and the transformation pathways. *Chemosphere*, 234, 733–745. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.113>

X. Reporte de similitud

Aprovechamiento de residuos de la industria cervecera

POR LUIS ALEJANDRO CASTILLO GONZÁLEZ

Citas incluidas
Bibliografía incluida

19%
SIMILAR