

## EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL TRATAMIENTO DE COLILLAS DE CIGARRILLO MEDIANTE EL EMPLEO DE LA ESPECIE *Pleurotus ostreatus* A ESCALA LABORATORIO

### EVALUATION OF THE EFFICACY OF THE TREATMENT OF CIGARETTE BUTTS THROUGH THE USE OF THE SPECIES *Pleurotus ostreatus* AT A LABORATORY SCALE

Ing. Catherine Nicolle Moya Quisbert <sup>1 \* S</sup>

Recibido: Junio 08, 2023; Aceptado: Diciembre 14, 2023

#### RESUMEN

El impacto ambiental negativo ocasionado por la mala disposición de las colillas de cigarrillo principalmente en cuerpos de agua, así como el elevado consumo de este producto y la generación de una gran cantidad de este residuo ha motivado a indagar en alternativas para disminuir su impacto, e incluso a darles un nuevo uso. Se han planteado distintos tratamientos para el aprovechamiento de este residuo, entre los cuales se encuentra la posibilidad de un tratamiento biológico mediante especies del género *Pleurotus*.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo la evaluación de la eficacia del tratamiento de colillas de cigarrillo mediante el hongo *Pleurotus ostreatus* a escala laboratorio para coadyuvar a la minimización de la contaminación del agua. Para su cumplimiento se realizó un diagnóstico de la disposición del objeto en estudio en puntos seleccionados dentro del área urbana del Municipio de La Paz a través de una encuesta a los encargados de limpieza y mantenimiento de dichos puntos y, la comparación del total de colillas observadas en los contenedores de residuos y las colillas recolectadas. Se realizó el aislamiento del hongo en un ambiente controlado de laboratorio para posteriormente ser sembrados en paquetes de sustrato compuestos por las colillas de cigarrillo en distintas concentraciones (20, 50 y 70%), y dos tipos de sustrato (paja de avena y aserrín de pino), que conforman 6 tratamientos en total por medio de la aplicación de un diseño factorial completo. Se evaluó durante 24 días el porcentaje de colonización del hongo en el sustrato y los valores finales de la masa del micelio y masa de colillas de cigarrillo. Por último, se evaluó la eficacia del hongo *P. ostreatus* en la biodegradación de colillas de cigarrillo, concluyendo que el tratamiento compuesto por paja de avena y colillas de cigarrillo en la misma proporción es el tratamiento más significativo para obtener un mayor porcentaje de biodegradación del residuo, logrando un porcentaje de 22,09% que le da la posibilidad de ser un residuo apto para su aprovechamiento en la extracción de celulosa.

**Palabras claves:** hongo, *Pleurotus ostreatus*, tratamiento, sustrato, colillas de cigarrillo, biodegradación.

#### ABSTRACT

The negative environmental impact caused by the poor disposal of cigarette butts, mainly in bodies of water, as well as the high consumption of this product and the generation of a large amount of this waste, has motivated the investigation of alternatives to reduce their impact, and even give them a new use. Different treatments have been proposed for the use of this residue, within which there is the possibility of a biological treatment through species of the *Pleurotus* genre.

The objective of this research work was the efficacy evaluation of the treatment of cigarette butts by using the fungus *Pleurotus ostreatus* at a laboratory scale to help minimize water pollution. For its fulfillment, a diagnosis of the disposition of the object under study was carried out in selected points within the urban area of the Municipality of La Paz through a survey to those in charge of cleaning and maintaining of the points and, a comparison between the total number of cigarette butts observed in the waste containers and the recollected cigarette butts. The isolation of the fungus was carried out in a controlled laboratory environment to later be sown in substrate packages composed of cigarette butts in different concentrations (20, 50 and 70%), and two types of substrates (oat straw and pine sawdust), which make up a total of 6 treatments through the application of a complete factorial design. The percentage of colonization of the fungus in the substrate and the final values of the mass of the mycelium and mass of cigarette butts were evaluated for 24 days. Lastly, the efficacy of the fungus *P. ostreatus* in the biodegradation of cigarette butts was evaluated, concluding that the treatment composed of oat straw and cigarette butts in the same proportion is the most significant treatment to obtain a higher percentage of biodegradation of the cigarette butts, achieving a percentage of 22,09% that gives the residue the possibility of being suitable for its use in the extraction of cellulose.

**Keywords:** fungus, *Pleurotus ostreatus*, treatment, substrate, cigarette butts, biodegradation.

**Citación:** Moya Quisbert Catherine Nicolle, **EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL TRTAMIENTO DE COLILLAS DE CIGARRILLO MEDIANTE EL EMPLEO DE LA ESPECIE *Pleurotus ostreatus* A ESCALA LABORATORIO.** Revista Científica EMINENTE 2024, 8-1: 69-81.

<sup>1</sup> Ingeniero Ambiental – Ingeniería Ambiental - Unidad Académica La Paz - Escuela Militar de Ingeniería

\* Corresponde al Autor (correo electrónico: nmoyaq@doc.emi.edu.bo).

<sup>5</sup> Dirección de contacto Investigador primer autor: Telf.: (+591) ..... La Paz – Bolivia.

## INTRODUCCIÓN

La mayoría de los filtros de las colillas están hechos de acetato de celulosa, un termoplástico que es un tipo de plástico que se funde a altas temperaturas para poder moldearlo, y pueden albergar sustancias tóxicas como hidrocarburos policíclicos aromáticos, nicotina, arsénico y otros metales pesados. Además, diversos estudios muestran que su efecto contaminante puede durar entre 7 y 12 años, e incluso algunos autores afirman que pueden llegar hasta los 25 años. (Sociedad Americana de Cáncer, 2020; APYMA, 2017, citado en Libera, 2018).

Pero el verdadero problema de las colillas de cigarrillo es provocado por su acumulación e incorrecta disposición, ya que anualmente aproximadamente 767 millones de kilogramos de colillas de cigarrillos son desechadas casi de manera indiscriminada en exteriores, causando la liberación de las sustancias tóxicas y contaminantes al suelo, aire y fuentes hídricas (Peña, 2017). Debido a sus componentes tóxicos las colillas de cigarrillo llegan a contaminar el medio en el que se encuentran. Por lo tanto, este residuo genera un impacto ambiental.

Viendo el impacto que pueden tener las colillas de cigarrillo en el medio ambiente se han desarrollado algunas propuestas para su reciclaje y tratamiento. Algunas propuestas son la elaboración de ladrillos de arcilla cocida a partir de las colillas de cigarrillo, la elaboración de insecticidas, sumergir las colillas en una solución acuosa de NaOH para que funcionen como filtros en aguas contaminadas con queroseno, y también se proponen tratamientos biológicos como degradación anaeróbica por medio de *Pseudomonas Gram* negativas, y la micorremediación por medio de hongos de pudrición blanca como el *Pleurotus ostreatus* y *Trametes versicolor*. El estudio de los hongos como biorremediadores, es un campo menos explorado en comparación con otros organismos, pero ha venido tomando fuerza desde los años 90's (Aust y Benson, 1993) y por ende el número de publicaciones ha aumentado considerablemente en la última década (Peña, 2017).

El presente trabajo evalúa la eficacia del tratamiento de biodegradación de las colillas de cigarrillo por medio del hongo *Pleurotus ostreatus*, ya que, aún no se cuentan con experiencias del desarrollo de este

tratamiento en el área urbana del Municipio de La Paz.

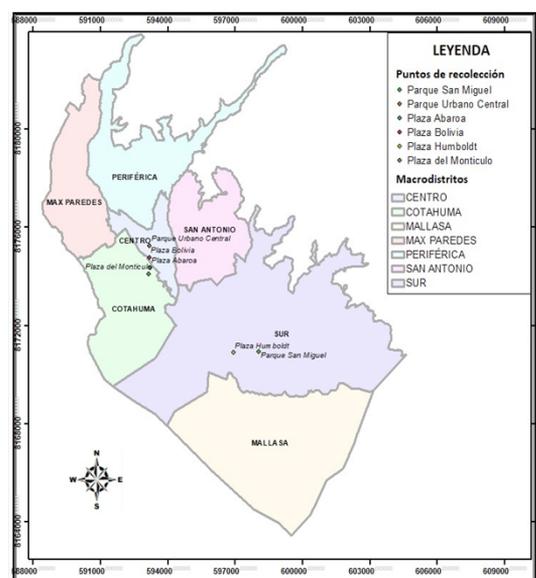
## METODOLOGÍA

Según la orientación que asume el presente trabajo de grado, está orientado a la comprobación y aplicación, ya que, se utilizan técnicas de análisis cuantitativos y se enfatiza en el contexto de la verificación con el propósito de solucionar un problema concreto. Es una investigación aplicada por la vinculación del trabajo con la ingeniería para resolver un problema concreto. Por el enfoque metodológico la investigación es cuantitativa, una investigación cuantitativa se caracteriza por trabajar con datos numéricos y análisis estadísticos. Finalmente, por el grado de manipulación de las variables es cuasiexperimental considerando que, la selección de los grupos experimentales no es aleatoria y no se tiene un control completo de las variables.

### Selección de los puntos de recolección para el muestreo

Los puntos estratégicos seleccionados para la toma de muestras se analizan y eligen tomando en cuenta la cantidad de personas que transitan por el área circundante, por el tipo de actividades que se realizan en estas y por la cantidad de estos residuos que se disponen inadecuadamente.

Figura 1. Mapa Puntos de Recolección



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 1 los puntos seleccionados son un total de 6 los cuales son: la Plaza del Montículo, Plaza Abaroa, Plaza Humboldt, Parque San Miguel, Plaza Bolivia y Parque Urbano Central. Las áreas verdes anteriormente mencionadas se encuentran dentro del Municipio Nuestra Señora de La Paz en los macro distritos de Cotahuma, Sur, y Centro.

### Recolección de las colillas de cigarro.

El horario de recolección de estos residuos es de 6:30 am a 8:00 am y se desarrolla durante 4 semanas solo los fines de semana entre los meses de octubre y noviembre del 2021; estas muestras son transportadas y almacenadas en botellas con el fin de evitar la emisión de olores y de ser trasladadas adecuadamente del lugar de procedencia.

Figura 2. Recolección de colillas de cigarro



Fuente: Elaboración propia

### Cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* bajo condiciones de laboratorio.

Las semillas de sorgo inoculadas con el hongo *Pleurotus ostreatus* se obtienen por medio del Laboratorio de Microbiología Aplicada BioLab ubicada en Cochabamba, Bolivia.

### Obtención del micelio del hongo *Pleurotus ostreatus*

Para la obtención del micelio del hongo en condiciones de laboratorio, se emplea un medio de cultivo sólido, el cual proporciona al hongo los nutrientes necesarios para su desarrollo.

Se prepara el medio de cultivo agar papa dextrosa, para la obtención de cepas de hongos seta según Gaitán et al. (2006). El agar APD “Agar Papa Dextrosa” es elegido, tomando en cuenta que, el hongo necesita nutrientes ricos en carbono, por lo que el alto contenido de dextrosa y almidón de este medio de cultivo contribuirán a la reactivación del micelio *Pleurotus ostreatus*.

- Se pesa 320 g de pure de papa, y 32 g de Dextrosa para añadir al agua destilada; después, se coloca el vaso de precipitado en el calentador y agitador magnético y, se añade agua destilada en el vaso de precipitado hasta los 1600 ml.
- La solución es homogeneizada y se procede a medir el pH, el cual debería ser de 5,8.
- Se pesa 32 g de Agar y se añade a la solución.
- Se deja el vaso de precipitado con la solución calentando hasta alcanzar su punto de ebullición.
- Se vacía la solución en frascos de vidrio de 400 ml, se cierran los frascos y, se las esteriliza en la olla autoclave durante 15 minutos a 121°C bajo una presión de 1,45 atm.

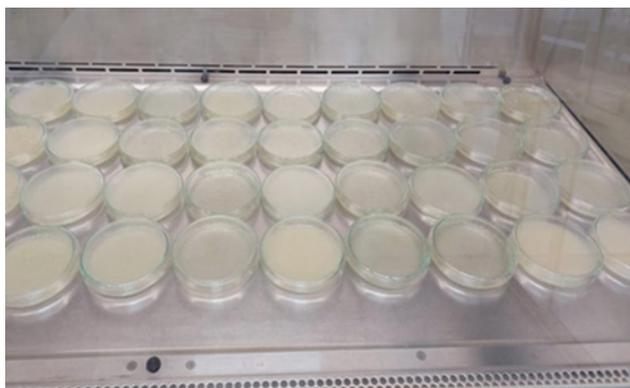
Figura 3. Preparación del medio de cultivo



Fuente: Elaboración propia

- Se deja enfriar el medio de cultivo por 15 minutos, y posteriormente se vacía el medio de cultivo en las cajas de Petri previamente esterilizadas.
- Finalmente se almacena las cajas Petri con el medio de cultivo para su posterior uso.

Figura 4. Cajas Petri con el medio de cultivo



Fuente: Elaboración propia

#### Aislamiento del hongo *Pleurotus ostreatus*

- Con la ayuda de un bisturí y pinzas de disección se separa fragmentos de las semillas de sorgo inoculadas con el hongo en dos cajas Petri.

Figura 5. Fragmentos de semillas en cajas Petri



Fuente: Elaboración propia

- Se realiza la inoculación de las semillas en las cajas Petri con el medio; para este procedimiento se colocan cuatro fragmentos de semillas de sorgo inoculadas con el hongo.

Figura 6. Fragmentos de semillas en cajas Petri



Fuente: Elaboración propia

#### Incubación del hongo *Pleurotus ostreatus*

En total se aíslan 32 cajas Petri con el hongo *Pleurotus ostreatus*. Las cajas de Petri con el hongo aislados se incuban a 35°C. Se realiza un control cada 2 o 3 días después para observar crecimiento micelial sobre la superficie del medio.

#### **Determinación del sustrato adecuado para el tratamiento de las colillas de cigarrillo mediante el hongo *Pleurotus ostreatus*.**

##### a) Paja de avena

Picado: La paja se corta en longitudes de 3 a 5 cm.

Humectación: Durante 2 días el sustrato es remojado en agua.

Pasteurización: Se expone el sustrato a una pasteurización por inmersión en agua caliente a 75 – 80°C durante una hora.

Esterilización: En una olla autoclave a 121°C y 1,45 atm por 20 minutos.

##### b) Aserrín de pino

Humectación: Durante 2 días el sustrato es remojado en agua.

Pasteurización: Se expone el sustrato a una pasteurización por inmersión en agua caliente a 75 – 80°C por una hora.

Esterilización: En frascos de vidrio para poder introducirlos en una autoclave a 1,45 atm por 20 minutos.

### Preparación de las colillas de cigarrillo

Se realiza la humectación de estos durante 24 horas. Pasadas las 24 horas, se realiza la filtración del exceso de agua.

Para el secado se coloca las bandejas con las colillas dentro de una estufa a 60°C hasta que se encuentren completamente secas.

### Siembra del hongo en los sustratos y colillas de cigarrillo

- Se pesa 10 g del sustrato y se deposita en un vaso de precipitado de 100 ml.
- Se añade agua destilada hasta completar los 100 ml del vaso de precipitado y se lo coloca en el agitador con barra magnética por 30 minutos.
- Se separa el agua del sustrato con ayuda de un colador y se procede a medir el pH con el pH metro.

Según Sánchez y Royse (2001), los rangos de crecimiento citados para el crecimiento de *Pleurotus* varían entre 4 y 7 de pH. Los valores obtenidos en la medición del pH de la paja de avena, aserrín de pino y colillas de cigarrillo fueron 6,04, 5,01 y 7,49 para cada uno respectivamente.

La siembra se realiza en bolsas de polipropileno de 13x15 cm, las cuales son esterilizadas con luz ultravioleta (UV) en la cámara de flujo laminar durante 15 minutos y se espera otros 15 minutos para preparar el área de trabajo donde se realiza la siembra. La dosis de micelio puede variar entre el 2 a 4% respecto al peso total del sustrato.

- Con un bisturí estéril se corta el micelio pesado para poder distribuirlo en el sustrato.
- Se humedece las colillas de cigarrillo pesadas con agua destilada para que tenga la humedad requerida.
- Se procede a realizar la siembra intercalando una porción del sustrato, un pedazo de micelio, una porción de colillas de cigarrillo y un pedazo de

micelio hasta depositar todo lo pesado en la bolsa de polipropileno.

- Se cierra el paquete de sustrato con el hongo inoculado
- Se incuba el hongo a una temperatura de 28°C

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resultados del cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* bajo condiciones controladas de laboratorio

El micelio de *P. ostreatus* sembrado en medio Agar Papa Dextrosa se caracteriza por presentar una coloración blanca, textura ligeramente algodonosa, baja densidad y escaso crecimiento, durante los primeros tres días de incubación (fase de latencia). La fase de latencia se presenta después de que el micelio del hongo ha sido inoculado en un medio apropiado para su crecimiento, es una etapa de adaptación en la que no hay crecimiento aparente, sino síntesis de los componentes celulares necesarios para iniciar la elongación celular, sintetizar pared celular y preparar los puntos de crecimiento. Esta fase puede ser variable dependiendo del tipo y estado fisiológico del hongo, así como del medio de cultivo y sus condiciones.

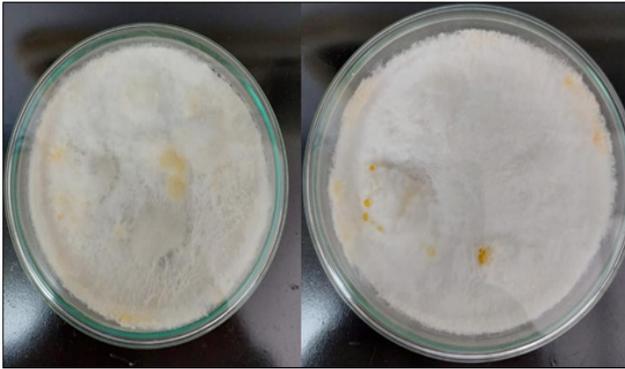
El control se realiza durante 21 días, ya que el micelio llega a desarrollarse y colonizar el medio por completo después de 15 a 20 días después del cultivo (Gaitán et al., 2006). El último control se realizó 21 días después de la siembra, en la cual el micelio del hongo mantiene su coloración blanca y amarillenta, crecimiento abundante, una textura algodonosa de alta densidad y una secreción amarillenta.

Figura 7. Micelio del hongo al tercer día



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Micelio del hongo al veintiunavo día



Fuente: Elaboración propia

En el periodo de incubación las hifas se extienden de manera ramificada para formar el micelio y presenta un crecimiento radial; también presenta coloración blanca y amarillenta, textura algodonosa y, una secreción amarillenta. Estos resultados se asemejan a lo expuesto por Stamets (1993), donde indica que el micelio del hongo *Pleurotus* es blanquecino, de crecimiento radial, tornándose rápidamente de textura de algodón y conforme envejece forma una alfombra de micelio firme y delgada; además, el micelio envejecido generalmente secreta gotas amarillo-naranja de un metabolito que es una toxina para nematodos.

Los componentes nutricionales y el pH del medio de cultivo tienen influencia directa sobre el *P. ostreatus* ya que incide sobre el carácter iónico del medio e influye directamente sobre las proteínas de la membrana y la actividad enzimática ligadas a la pared celular (Sánchez, 2010). El crecimiento total del micelio en caja Petri de 9 cm de diámetro se completa en 7 días a una temperatura de 35°C, es decir, a razón de aproximadamente 1,3 cm por día, un valor muy próximo a la razón de crecimiento obtenida en el trabajo realizado por Hoyos et al., 2010 que presentaron crecimientos de 1,12 cm/día para el medio de cultivo Agar Papa Dextrosa, demostrando que este medio de cultivo es eficiente.

Finalmente, se presenta contaminación en un 34% de las cajas inoculadas con el hongo *P. ostreatus*; estas cajas presentan el crecimiento de levadura, la cual es un contaminante común según Gaitán et al., 2006, donde indican que, los contaminantes aparecen por lo general en la fase de incubación y esto se puede

deber a la falta de higiene en el momento de la siembra; los contaminantes generalmente son hongos (mohos), bacterias y levaduras, estos aparecen en forma de manchas verdes, amarillentas, negras y/o anaranjadas, evitando o retrasando el crecimiento micelial del hongo.

Figura 9. Cajas inoculadas contaminadas al séptimo día



Fuente: Elaboración propia

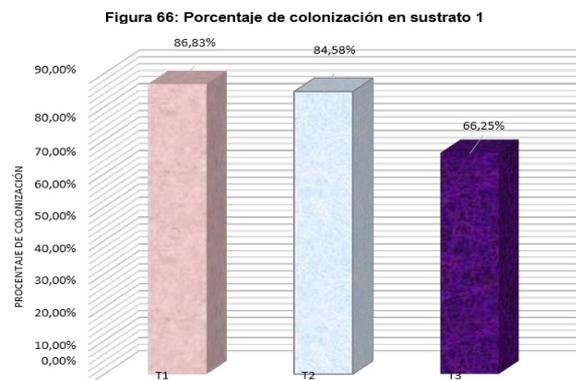
### Resultados de la determinación del sustrato adecuado para el tratamiento de colillas de cigarrillo mediante el hongo *Pleurotus ostreatus*

#### Porcentaje de colonización

##### a) Sustrato 1: paja de avena

Los tratamientos 1, 2 y 3 presentan un porcentaje de colonización que se encuentra entre el 66% a 86%, siendo el tratamiento 1 el que alcanza un mayor porcentaje de colonización.

Figura 10. Porcentaje de colonización en sustrato 1



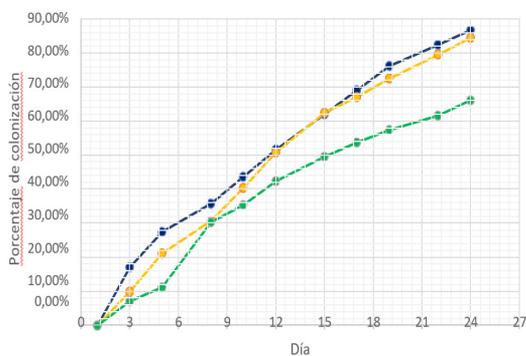
Fuente: Elaboración propia, 2022.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 11 se observa los primeros inicios del crecimiento micelial entre los primeros 3 a 5 días después de la siembra en los 3 tratamientos y, a partir del quinto día se observa un crecimiento continuo hasta el último día de la etapa de incubación.

Esto quiere decir que el hongo se ha adaptado al medio de cultivo (sustrato) y está aprovechando las condiciones que este le ofrece y, al estar cultivado en un medio sólido la curva de crecimiento presenta una fase de crecimiento más o menos lineal.

**Figura 11.** Curva de crecimiento del hongo en tratamientos 1, 2 y 3

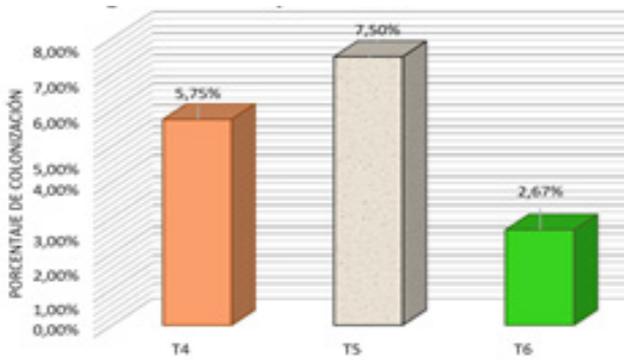


Fuente: Elaboración propia

b) Sustrato 2: aserrín de pino

En la evaluación realizada a los tratamientos 4, 5 y 6 se observa un porcentaje de colonización considerablemente bajo que se encuentra entre el 2% a 7%, siendo el tratamiento 5 el que alcanza un mayor porcentaje de colonización, como se muestra en la Figura 12.

**Figura 12.** Porcentaje de colonización en sustrato 1

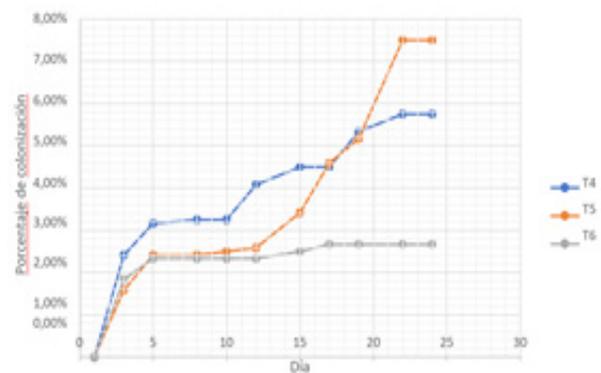


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 13 se observa que en estos tratamientos el crecimiento micelial es inestable y escaso para los 3 tratamientos, en donde a los 24 días se puede apreciar que todos ellos entran a una fase estacionaria.

Debido al bajo porcentaje de colonización el hongo no pudo salir de la fase de latencia, esto quiere decir que el hongo no encontró los componentes celulares necesarios para iniciar la elongación celular o que su crecimiento fue inhibido (Sánchez y Royse, 2001).

**Figura 13.** Curva de crecimiento del hongo en tratamientos 4, 5 y 6



Fuente: Elaboración propia

Masa final del micelio del hongo

Los datos se obtuvieron pasados los 24 días (finalización de la etapa de incubación). Para ello se separa el sustrato de la masa micelial que se genera en la etapa de incubación.

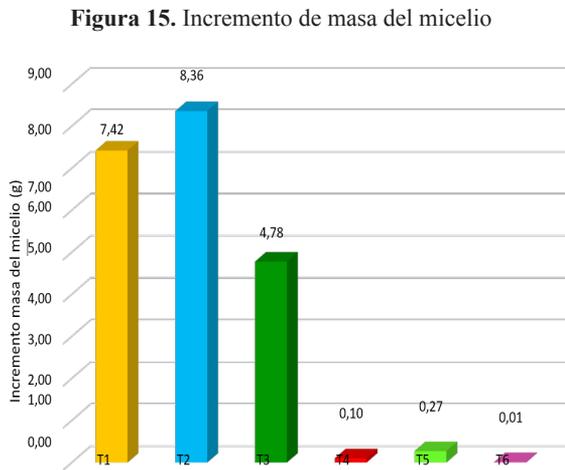
La masa micelial es de color blanco y aparece con la compactación del paquete de sustrato como una cobertura de una consistencia sólida (Figura 14).

**Figura 14.** Masa micelial del hongo



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 15, se observa el incremento de la masa micelial del hongo en todos los tratamientos. Los valores más altos corresponden a los tratamientos 1, 2 y 3 mientras que en los tratamientos 4, 5 y 6 el incremento de masa micelial fue casi inexistente.



Fuente: Elaboración propia

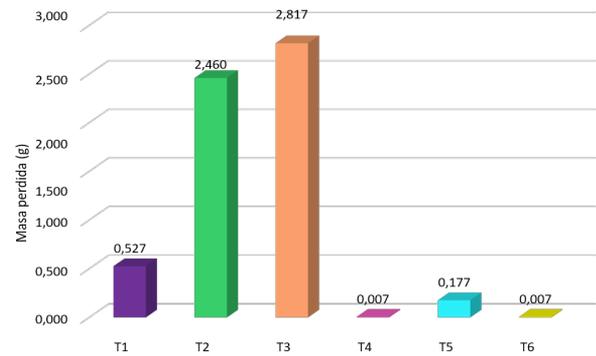
Los tratamientos donde se utilizó paja de avena son los que presentan un mayor incremento de masa micelial. Esto se relaciona con el porcentaje de colonización de sustrato, ya que, a diferencia de los tratamientos con aserrín de pino que no pudieron salir de la fase de latencia, los tratamientos con paja de avena si entraron a una fase de crecimiento continua donde el micelio continuó incrementando su masa.

#### Masa final de colillas de cigarrillo

Como se observa en la Figura 16, los tratamientos 2 y 3 muestran una mayor disminución de peso en las colillas de cigarrillo en comparación con su peso inicial, estos tratamientos corresponden al sustrato de avena.

También se observa que los tratamientos con el sustrato de aserrín de pino presentan una disminución del peso de colillas casi nula, esto se debe a que el hongo no alcanzó un porcentaje de colonización significativo lo que significa que el hongo no encontró los nutrientes primarios necesarios para continuar con su crecimiento y, debido al rol que estos sustratos cumplen como promotores de la degradación del residuo, este no logró degradarse.

**Figura 16.** Masa perdida de colillas de cigarrillo



Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta los resultados obtenidos para el porcentaje de colonización, masa final del micelio y masa final de las colillas de cigarrillo, se determina que el sustrato adecuado para obtener mejores resultados en el tratamiento de colillas de cigarrillo mediante el hongo *Pleurotus ostreatus* es el sustrato de paja de avena, ya que, al presentar un porcentaje de colonización alto generó una mayor masa micelial y por consecuencia esto promovió la degradación de las colillas de cigarrillo.

La avena es una planta herbácea anual, tiene raíces más abundantes y profundas que las de otros cereales, lo que le permite absorber mejor los nutrientes del suelo (Reyes, 2016) y por tanto esto beneficia al crecimiento del hongo. Además, los hongos que realizan descomposición aeróbica de un sustrato requieren una mayor presencia de carbono que de nitrógeno para crear un ambiente óptimo para su crecimiento y desarrollo y, la paja de avena al tener una relación de C:N de 92,5:1 (Sánchez y Royse, 2001) facilita la adaptación del hongo y promueve la degradación del sustrato, el cual es utilizado para su crecimiento y formación de biomasa (Hernández y López, 2013).

El aserrín de pino (*Pinus sp*), que proviene de la industria maderera, es un material que tiene potencial como sustrato. Es un sustrato ligero y con una capacidad de retención de agua de baja a media, aunque, la ventaja principal del aserrín es su bajo costo (Pineda et al., 2012).

El aserrín de pino cuenta con los componentes necesarios para que un hongo de pudrición blanca

pueda desarrollarse con facilidad ya que cuenta con un porcentaje de lignina (25-30%) y celulosa (40-55%). Sin embargo, aunque presente componentes que favorecen el crecimiento de estos hongos, en la madera de pino también se encuentran células resiníferas que producen resina de pino; esta es una sustancia viscosa y pegajosa, constituida por una mezcla de diferentes tipos de terpenos que son un tipo de sustancias químicas de olor fuerte que se encuentra especialmente en árboles que tienen conos (Puente et al., 2017). La resina de pino es una mezcla de ácidos resínicos, de los cuales se ha reportado que tienen un efecto antimicrobiano y antifúngico (Salas et al., s.f.), lo cual puede inhibir o retardar el crecimiento del hongo y, combinado con los compuestos tóxicos de las colillas de cigarrillo que forman parte del sustrato inhiben y retardan aún más el crecimiento del hongo.

**Resultados de la evaluación de la eficacia del hongo *Pleurotus ostreatus* en la biodegradación de las colillas de cigarrillo**

Posterior a la realización del cálculo de la eficiencia de biodegradación de las colillas de cigarrillo por acción del hongo *Pleurotus ostreatus* en función de la masa inicial y masa final de las colillas de cigarrillo, se obtiene como resultados los datos del siguiente cuadro.

Como se observa en la Figura 17, los tratamientos que consisten en la aplicación de paja de avena presentan los valores más altos de eficiencia en la biodegradación de las colillas de cigarrillo, siendo los tratamientos 2 y 3 que consisten en la aplicación de 50% y 70% de colillas respectivamente en el tratamiento presentan los valores más altos respecto a la eficiencia en la biodegradación de las colillas, coincidiendo de esta forma con los resultados del anterior objetivo donde se determina que los tratamientos con sustrato de paja de avena y 50% y 70% de colillas son los más significativos.

El valor de eficacia promedio del hongo *P. ostreatus* en la biodegradación de las colillas de cigarrillos más alto es de 22,09%; este valor corresponde al tratamiento 2. El segundo valor más alto corresponde al tratamiento 3 presentando un valor de 18,29% de eficiencia. Por otra parte, los valores de eficiencia más bajos corresponden a los tratamientos en cuales

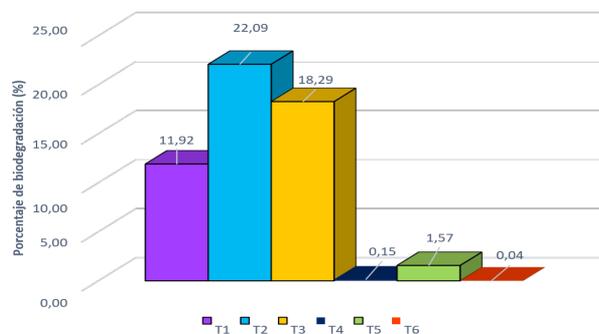
se aplicó aserrín de pino; estos tratamientos presentan valores que varían entre el 0,04 a 1,57% de eficiencia, por lo que son considerablemente menores en contraste con los tratamientos 1, 2 y 3. (Figura 17).

**Cuadro 1.** Resultados porcentaje de biodegradación de colillas de cigarrillo

Tratamiento	Repetición	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Porcentaje de biodegradación (%)	Porcentaje de biodegradación promedio (%)
T1	R2	4,41	3,81	13,61	11,92
	R2	4,42	3,92	11,31	
	R3	4,43	3,95	10,84	
T2	R1	11	8,63	21,55	18,29
	R2	11,2	8,85	20,98	
	R3	11,2	8,54	23,75	
T3	R1	15,39	12,5	18,78	18,29
	R2	15,4	12,34	19,87	
	R3	15,42	12,92	16,21	
T4	R1	4,42	4,41	0,23	0,15
	R2	4,41	4,41	0,00	
	R3	4,42	4,41	0,23	
T5	R1	11,2	10,98	1,96	1,57
	R2	11,31	11	2,74	
	R3	11,2	11,2	0,00	
T6	R1	15,4	15,39	0,06	0,04
	R2	15,42	15,42	0,00	
	R3	15,42	15,41	0,06	

Fuente: Elaboración propia

**Figura 17.** Eficiencia de biodegradación de colillas de cigarrillo



Fuente: Elaboración propia

La diferencia significativa que existe entre los valores de eficiencia del hongo en los tratamientos

compuestos por paja de avena y aserrín de pino se debe básicamente a que el hongo presentó un mejor desarrollo en el sustrato con paja de avena, mientras que en el sustrato de aserrín de pino, este presentó un crecimiento demasiado inestable por lo que no fue capaz de salir de la fase de latencia y, al ser estos sustratos los promotores de la acción biológica del hongo, la aplicación de paja de avena o aserrín de pino influyó significativamente en el valor de la eficiencia del hongo en los diferentes tratamientos.

Al final de la etapa de incubación del hongo, las colillas de cigarrillo presentan cambios físicos respecto a cómo lucían antes del tratamiento, en la Figura 18 se puede apreciar la degradación parcial de las colillas mostrando el efecto de la acción del hongo sobre el residuo. Otro cambio que se aprecia en las colillas es la desaparición del aroma a tabaco quemado, en su lugar ahora presenta un aroma más dulce.

**Figura 18.** Colillas de cigarrillo antes (izq) y después (der) del tratamiento



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos indican que, el hongo *Pleurotus ostreatus* es capaz de biodegradar las colillas de cigarrillo en medio de un sustrato que promueve la actividad biológica del hongo. Coincidiendo así, con estudios que sugieren que los hongos ostra son capaces de degradar desechos industriales como tintes de efluentes textiles, polímeros sintéticos y conservantes de madera.

Según Raymond (2014), las colillas de cigarrillo contienen acetato de celulosa, restos de tabaco y también pueden incluir lixiviados tóxicos como la nicotina y el arsénico. Considerando que los hongos del género *Pleurotus* tienen la capacidad de descomponer materiales similares a la lignina

como polímeros sintéticos se sugiere que estos hongos tienen la capacidad de descomponer los dos principales componentes de los residuos de las colillas de cigarrillo (acetato de celulosa y tabaco remanente). El hongo *Pleurotus ostreatus* al ser un hongo de pudrición blanca, oxida y rompe los materiales similares a la lignina para eliminar la barrera química y así poder acceder a los componentes necesarios para su desarrollo, en este proceso se generan moléculas más pequeñas que luego son incorporadas al ciclo metabólico del hongo para obtener como productos agua y dióxido de carbono (Jeffries, 1990; Papinutti et al., 2003).

La aplicación de un sustrato como la paja de avena promueve la biodegradación de las colillas coincidiendo de esta manera con Quintero (2007), que indica que los hongos de pudrición blanca como el *P. ostreatus* utilizan sustratos lignocelulósicos como fuente primaria de nutrientes, los cuales promueven su crecimiento y como resultado las hifas alcanzan una mayor extensión e invasión, incrementando de esta manera su capacidad degradadora. Magan, (2007) recalca que los mecanismos de biodegradación que utilizan los hongos de pudrición blanca transforman o mineralizan los contaminantes, sin utilizarlos como sustratos de crecimiento, por tanto, su degradación se da por cometabolismo. Cometabolismo se define como la degradación concomitante o asociada de dos compuestos orgánicos (García y Peralta, 2008).

Los resultados también se asemejan con el trabajo realizado por Puma, P. y Valenzuela, L. en el cual realizaron un cultivo in vitro del hongo *P. ostreatus* con colillas de cigarrillo mezcladas en un medio de cultivo a base de maíz, obteniendo como resultado que el hongo si es capaz de degradar las colillas de cigarrillo en un periodo de 28 días. Y, con el proyecto de la organización Ecofilter donde indican que, las colillas de cigarrillo degradadas en un 25% sirven de materia prima para la obtención de celulosa necesaria para la producción de papel y cartón

## CONCLUSIONES

Del trabajo realizado, se concluye:

- Se recolectaron 1661 colillas de cigarrillo en los puntos de recolección seleccionados que

conforman áreas verdes dentro del Municipio de La Paz, identificando 3 tipos de filtros de colillas de cigarrillo (filtro mono acetato, filtro cápsula y filtro slim), siendo el filtro mono acetato el que presenta una mayor cantidad. La encuesta realizada a los 6 encargados de limpieza y mantenimiento de cada uno de estos puntos indica que las colillas de cigarrillo son un residuo común y que recibe poca importancia entre la población dando como resultado su mala disposición tomando en cuenta que solo el 4% de las colillas observadas en los puntos de recolección se encontraban en los contenedores de residuos y el restante 96% se encontraba dispersa en el suelo, jardineras, bancas y canales de agua.

- La utilización del medio de cultivo Papa Agar Dextrosa permite el aislamiento del hongo *Pleurotus ostreatus* en el ambiente controlado de laboratorio a través de semillas de sorgo previamente inoculadas con el hongo. El micelio del hongo invade por completo la caja Petri de 9 cm de diámetro en 7 días a una temperatura de 35 °C, es decir, a razón de aproximadamente 1,3 cm por día; por lo tanto, el medio de cultivo le brinda al hongo los nutrientes y componentes necesarios para su desarrollo, y el ambiente controlado de laboratorio permite un crecimiento más acelerado del micelio y un porcentaje menor de contaminación.
- Del análisis estadístico de datos y resultados obtenidos se determina que la mezcla de sustrato paja de avena con los residuos de las colillas de cigarrillo es el más significativo permitiendo el desarrollo del hongo en los distintos tratamientos (1, 2 y 3). Los tratamientos con paja de avena presentan mejores resultados en las 3 variables de respuesta, alcanzando los valores máximos en el porcentaje de colonización (86,83%), incremento masa del micelio (8,36 g) y disminución de masa colillas de cigarrillo (2,81 g) debido a los componentes presentes en este sustrato que favorecen al desarrollo del hongo por lo que éste presenta una curva de crecimiento continua. Los tratamientos 4, 5 y 6 con sustrato a base de aserrín de pino y colillas de cigarrillo presentan los resultados más bajos en todas las variables de respuesta debido a un componente propio

del aserrín de pino que tiene características antibacterianas y antifúngicas que, combinadas con las sustancias tóxicas de las colillas de cigarrillo retardan e inhiben su crecimiento.

- De los resultados del cálculo de la eficiencia del hongo *Pleurotus ostreatus* en la biodegradación de las colillas de cigarrillo se evidencia que el hongo es capaz de biodegradar las colillas en el sustrato adecuado. El valor máximo de eficiencia que alcanza el hongo es de 22,09%, este valor corresponde al tratamiento 2 compuesto por 50% de paja de avena y 50% de colillas de cigarrillo. Los valores más bajos de eficiencia corresponden a los tratamientos compuestos por aserrín de pino, siendo el tratamiento 6 el que presentó el menor porcentaje de eficiencia (0,04%) entre todos los tratamientos. Por lo tanto, el tipo de sustrato y una proporción equitativa permiten la dispersión uniforme del hongo en el sustrato, lo cual a su vez promueve la biodegradación de las colillas y por consecuencia su eficiencia en la biodegradación de este residuo es mayor.

### CONFLICTO DE INTERÉS

La autora declara que no tiene conflictos de interés con la presente investigación.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. NI Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite II (NI ELVIS II) User Manual (2008). National Instruments. Recuperado el 1 de junio de 2012 desde internet. <http://www.ni.com/pdf/manuals/374629b.pdf>
- [2]. Integrated Suite of 12 Instruments for Hands-On, Multidiscipline Education (s.f.). National Instruments. Recuperado el 4 de junio (2008) desde internet. [http://www.ni.com/pdf/products/us/cat\\_nielvisii\\_plus.pdf](http://www.ni.com/pdf/products/us/cat_nielvisii_plus.pdf)
- [3]. Lugo, G. (2006). La importancia de los laboratorios. Recuperado el 30 de agosto de 2012 desde internet. <http://www.imcyc.com/revistact06/dic06/INGENIERIA.pdf>

- [4]. Morris Mano, M. (1991). Ingeniería Computacional, Diseño del Hardware. Estado de México: Prentice-Hall Hispanoamericana, S. A.



**Catherine Nicolle Moya Quisbert.**

Ingeniero Ambiental titulada de la Escuela Militar de Ingeniería – Unidad Académica La Paz.