

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



**“CAPACIDAD MICORREMEDIADORA DEL HONGO *Pleurotus ostreatus*
EN SUELOS CONTAMINADOS CON CADMIO”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

VASQUEZ CABRERA, ANDY LEWIS

ASESOR

APESTEGUIA INFANTES, JOSE ALFONSO

Villa El Salvador

2019

DEDICATORIA

A mis padres, por todo el apoyo y paciencia durante estos meses de duro trabajo, y ser el motivo de superación cada día.

AGRADECIMIENTO

A mis padres por confiar en mí, y apoyarme cada día en estos largos meses de trabajo, además de ser mi motivo de superación.

Agradecer al profesor Jaime Borja por el tiempo dedicado hacia persona y ser la persona que me oriento en este proyecto.

A Omar Mendoza por haber tenido una gran comprensión en el ámbito laboral, y aconsejarme siempre en base a su experiencia vivida.

A mi asesor Dr. José Apesteguía por esta ahí asesorándome y orientándome en la elaboración de mi tesina.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	ix
CAPÍTULO I: PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO	1
1.1 Descripción de la Realidad Problemática	1
1.2 Justificación del Problema.....	2
1.3 Delimitación del proyecto	2
1.3.1 Delimitación Teórica	2
1.3.2 Delimitación Temporal	2
1.3.3 Delimitación Espacial.....	3
1.4 Formulación del problema.....	3
1.4.1 Problema general.	3
1.4.2 Problemas Específicos.	3
1.5 Objetivos	4
1.5.1 Objetivo General.....	4
1.5.2 Objetivo Específicos	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Antecedentes	5
2.1.1 Antecedentes Nacionales	5
2.1.2 Antecedentes Internacionales.....	5
2.2 Bases Teóricas	6
2.2.1 Base Legal	6
2.2.2 Micorremediación	7
a. Micorremediación de metales pesados	7
2.2.3 Hongos y nutrición	9
a. Hongos Filamentosos en procesos de micorremediación.....	9
b. Hongos <i>Basidiomycetes</i>	9
c. Ventajas del uso de Hongos <i>Basidiomycetes</i>	10
2.2.4 <i>Pleurotus ostreatus</i>	11
a. Taxonomía.	11
b. Cultivo del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	12
c. Capacidad del Hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	13

2.2.5	Cadmio	13
a.	Síntesis de la Biogeoquímica de cadmio (Cd)	14
b.	Cadmio en el suelo	15
c.	Factores del suelo que afectan la acumulación del cadmio y su disponibilidad.....	16
2.2.6	Contaminación de Suelos	17
2.2.7	Contaminación por metales Pesados	17
a.	Metales pesados en ecosistemas	18
2.3	Definición de términos básicos.....	19
CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL		21
3.1	Modelo de solución propuesto	21
3.1.1	Lugar de Ejecución	21
3.1.2	Recursos empleados	21
3.1.3	Procedimiento.....	23
3.2	Resultados	32
3.2.1	Cultivo del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	32
3.2.2	Caracterización del suelo	33
3.2.3	Colonización del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> en el suelo contaminado.....	34
3.2.4	Análisis de datos para crecimiento de micelio	40
3.2.5	Disminución de cadmio en el suelo.....	44
3.2.6	Análisis de datos para la disminución de cadmio en el suelo.....	51
3.2.7	Análisis de pH en el suelo.....	54
CONCLUSIONES		56
RECOMENDACIONES		57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		58
ANEXOS.....		62
Anexo 1. Fotografías.....		62
Anexo 2. Primer análisis de disminución de cadmio.....		67
Anexo 3. Análisis de cadmio y análisis de humedad gravimétrica.....		68
Anexo 4. Segundo Análisis de disminución de cadmio.		69

Anexo 5. Caracterización de suelo.....	70
Anexo 6. Mapa de ubicación de lugar de proyecto.....	71

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Cadmio en el ambiente.	15
Figura 2. Transporte de cadmio en el suelo.	16
Figura 3. Distribución de los tratamientos.	29
Figura 4. Crecimiento micelial del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	33
Figura 5. Colonización promedio de inóculo en suelo contaminado en 4 días....	35
Figura 6. Colonización promedio de inóculo en suelo contaminado en 7 días....	36
Figura 7. Colonización promedio de inóculo en suelo contaminado en 10 días... 38	
Figura 8. Colonización promedio de inóculo en suelo contaminado en 14 días... 39	
Figura 9. Crecimiento promedio del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> durante 14 días. 40	
Figura 10. Intervalo de crecimiento al 95% (crecimiento vs días).....	43
Figura 11. Disminución de cadmio en el tratamiento número 1.	46
Figura 12. Disminución de cadmio en el tratamiento número 2.	46
Figura 13. Disminución de cadmio en el Tratamiento número 3.	47
Figura 14. Disminución de cadmio en el tratamiento número 4.	48
Figura 15. Disminución de cadmio en el tratamiento número 5.	48
Figura 16. Disminución de cadmio en el suelo.	49
Figura 17. Comparación final de la disminución de cadmio en los suelos contaminados.....	50
Figura 18. Porcentaje de disminución de cadmio en el suelo.	50
Figura 19. Intervalos de disminución de cadmio.....	53
Figura 20. pH inicial del tratamiento.	54
Figura 21. pH final de tratamientos con suelo contaminados con cadmio.	55

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Factores que afectan el crecimiento del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	12
Tabla 2 Metales tóxicos de interés.	18
Tabla 3 Actividades industriales y comerciales que generan contaminantes.....	19
Tabla 4 Tratamientos del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	31
Tabla 5 Crecimiento micelial del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	32
Tabla 6 Parámetros de caracterización del suelo.....	33
Tabla 7 Colonización del inóculo en suelo en 3 días.....	35
Tabla 8 Colonización de inóculo en suelo en 7 días.....	36
Tabla 9 Colonización de inóculo en suelo en 10 días.....	37
Tabla 10 Colonización de inóculo en suelo en 14 días.....	39
Tabla 11 Crecimiento del micelio del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	41
Tabla 12 Análisis de varianza	41
Tabla 13 Condiciones estadísticas.....	41
Tabla 14 Información agrupada método tukey a un nivel de confianza de 95%. .	42
Tabla 15 Significancia estadística entre los niveles de factor día	43
Tabla 16 Análisis de disminución de cadmio en el suelo.....	45
Tabla 17 Crecimiento del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	51
Tabla 18 Análisis de varianza	51
Tabla 19 Información agrupada método tukey a una confianza de 95%.	52
Tabla 20 Significancia estadística entre las medias de los tratamientos	53

INTRODUCCIÓN

La minería como sector económico genera muchos problemas de contaminación ambiental, debido a la gran demanda de extracción de mineral que realizan por años, dejando a su vez pasivos ambientales que con el tiempo van dañando la estructura del suelo, y los ecosistemas a sus alrededores.

La biorremediación de suelos contaminados con cadmio, se define, como la acción de recuperar un espacio que está afectado o contaminado con dicho metal, alterando así su estado natural, provocando que este se vuelva infértil. Dentro de la biorremediación, se propone el uso del hongo *Pleurotus ostreatus*, que, a través de mejores prácticas en su uso, permitirá mejorar la calidad de suelos, debido a que posee grandes capacidades de absorción de metales incluyendo al cadmio cuya capacidad de disminución es buena a largo plazo y con las condiciones adecuadas. (Gutiérrez, 2002, p.75)

El interés de realizar este trabajo proviene de mejorar la calidad de los suelos peruanos que se encuentran gravemente dañados y en donde no se toman las acciones correspondientes, las pruebas realizadas demuestran que se puede recuperar suelos dañados con este metal, logrando un buen porcentaje de remoción para cantidades que nuestros suelos poseen actualmente en la realidad.

Ante todo, lo mencionado, en nuestro país no se ha desarrollado por completo metodologías a nivel avanzado para poder explotar toda la capacidad del hongo *P. ostreatus* en relación a la disminución de metales pesados, asimismo, no existen muchos trabajos a una gran escala con fines de biorremediación, es por ello que el primer paso consiste en la formulación de este trabajo usando el inóculo primario, para posteriormente, se pueda realizar a mayor escala con el cuerpo fructífero del hongo.

CAPÍTULO I: PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO

1.1 Descripción de la Realidad Problemática

El suelo se forma por interacción de los sistemas atmósfera, hidrósfera y biósfera sobre la superficie de la geosfera, es uno de los recursos naturales de mayor importancia debido a que es el sustrato que mantiene la vida en el planeta, proporcionando nutrientes, agua y soporte físico para que se pueda desarrollar la flora y fauna en el medio ambiente. (Schmidt, 2000, p.22)

Pero la presencia de sustancias en concentraciones nocivas de algunos elementos químicos provenientes de distintas actividades antropogénicas, genera una contaminación por bioacumulación, rompiendo así el equilibrio natural que existe entre ellos. (Galán, 2008)

Esto genera una preocupación en todo el mundo, sobre el daño ambiental que se generan a los suelos, ya que aquellos contaminantes que predominan en el ambiente, son los que se han producido años atrás y en la actualidad se siguen produciendo. (Schmidt, 2000, p.23)

Hoy en día para disminuir esa contaminación causada por las actividades que generan sustancias nocivas (metales pesados) existen diversas alternativas que se pueden usar como manejo de la eliminación o fijación de dichos metales a través de los diferentes usos de los diversos microorganismos, como hongos y bacterias. Entre los microorganismos que se utilizan para estos fines se encuentra el hongo *Pleurotus ostreatus*, perteneciente a la clase Basidiomycetes, que gracias a la acción de la enzima peroxidasa degrada principalmente lignina

Estos hongos son muy efectivos debido a que producen la enzima extra celular que cataliza la reacción que tiende a degradar la lignina, que es un compuesto aromático. Para que pueda catalizar estas reacciones poderosas, la enzima requiere el compuesto de peróxido de hidrógeno, lo cual el hongo tiene la capacidad de producir. (Gutiérrez ,2002, p.75)

1.2 Justificación del Problema

La contaminación por metales pesados en el suelo viene siendo uno de los problemas más graves en la actualidad, teniendo un efecto negativo ya sea degradando su estructura, aumentando la lixiviación de los nutrientes que la contienen y a largo plazo provocando la desertificación de estas tierras, también tiene efecto perjudicial frente a los seres humanos, debido a la magnificación que pueden tener, es decir su simple entrada a la cadena trófica, que viene siendo un gran problema hoy en día (Jiménez, 2016). Esto destaca mucho en la realidad peruana a raíz del problema generado con los diferentes cultivos contaminados con cadmio, un ejemplo de ello es el conflicto reciente generado en el año 2018, sobre el cacao en la región amazónica, actualmente se viene cultivando este fruto en suelos contaminados con cadmio cuyos valores en su respectiva evaluación resultaron muy por encima de la normativa vigente, afectando así las exportaciones a países europeos, ocasionando un grave problema económico en el Perú (Gestión, 2018).

1.3 Delimitación del proyecto

1.3.1 Delimitación Teórica

El presente trabajo académico que se ha planteado debe cumplir con la exigencia de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS), en relación al grado de investigación y el esquema de presentación que han propuesto, para esto se deberá contar con estudios que proporcionaran conceptos y teorías sobre el proyecto que se realizó, a su vez se complementará con la parte experimental y la misma evaluación de los resultados. El proyecto se realizó a nivel de laboratorio, es decir a nivel micro, debido a que se desea demostrar la capacidad del hongo frente a suelos contaminados con cadmio en pequeñas pruebas, posteriormente pueda servir de antecedente para proyectos de escala macro.

1.3.2 Delimitación Temporal

Los datos obtenidos en la realización del presente trabajo académico comprenden una duración de 4 meses, considerando, la búsqueda de información bibliográfica, así mismo la parte experimental y la evaluación de

resultados, sus respectivos para cada etapa tiempos se muestran a continuación.

- Pre-Gabinete: Esta etapa se basó en la búsqueda información bibliográfica, como los antecedentes que puedan servir de guía al momento de pasar a la etapa de gabinete. Tiene una duración de 1 mes.
- Gabinete: Esta etapa se realizó la parte experimental del proyecto, teniendo una duración de 2 meses aproximadamente
- Gabinete 2: Esta etapa conlleva a la evaluación de resultados una vez concluido la parte experimental, tiene una duración aproximadamente de 1 mes.

1.3.3 Delimitación Espacial

El proyecto se realizó en el laboratorio de productos forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Forestal. Donde se dieron las condiciones adecuadas para que todas las etapas del hongo se desarrollen con el mayor cuidado posible, y evitar posibles alteraciones de resultados.

1.4 Formulación del problema

1.4.1 Problema general.

- ¿Cómo el uso del hongo *Pleurotus ostreatus*, disminuye la concentración de suelos contaminados con Cadmio?

1.4.2 Problemas Específicos.

- ¿Cómo la concentración de cadmio en los suelos tratados y no tratados superan los estándares de calidad ambiental para suelos?
- ¿Cómo el hongo *Pleurotus ostreatus* posee características micorremediadoras respecto al suelo contaminado por cadmio?
- ¿Es una óptima alternativa el uso del hongo *Pleurotus ostreatus*, para la disminución de los niveles de cadmio en los suelos contaminados?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Determinar la capacidad micorremediadora del hongo *Pleurotus ostreatus*, en suelos contaminados con cadmio.

1.5.2 Objetivo Específicos

- Comparar la concentración de cadmio en los suelos tratados y no tratados con los estándares de calidad ambiental para suelos.
- Determinar las características micorremediadoras del hongo *Pleurotus ostreatus* en los suelos contaminados con cadmio.
- Determinar el porcentaje de eficiencia del hongo *Pleurotus ostreatus*, para la disminución de los niveles de cadmio en los suelos contaminados.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes Nacionales

Zegarra (2017), afirmó lo siguiente: “Se evaluó la capacidad que tiene el hongo *P. ostreatus* para biorremediar suelo contaminado con Plomo, la biorremediación se logró mediante la reducción de concentración de Plomo en el suelo siendo el tratamiento T1 el más efectivo con 792.00 mg/kg reduciendo así en un 29.4% de plomo en el suelo”. (p.60)

Jiménez (2016), concluyó: “Se comprobó el poder de hiper acumulación del hongo *P. ostreatus* con concentración de los metales pesados (plomo), en el análisis inicial arrojó 93 mg/kg de suelo y con los resultados de los análisis finales disminuyó a una concentración de 65.3 mg/kg de suelo”. (p.60)

Sifuentes (2014), afirmó: “Se logró producir inóculo del hongo *P. ostreatus* en granos de trigo y cebada, alcanzando una colonización total de dichos sustratos en cuatro semanas de cultivo. En los cultivos inoculados con micelio crecido en agar PDA (inóculo primario), la producción de biomasa fue mayor al utilizar trigo como sustrato (1210.40 m/g) en comparación con la cebada (67 3.08 m/g), siendo estas diferencias significativas en la tercera y cuarta semana. En los cultivos inoculados con grano (inóculo secundario), la producción de biomasa fue mayor al utilizar trigo como sustrato (106 0 m/g) en comparación con la cebada (105 3.60 m/g) sin observarse diferencias significativas a lo largo del ensayo”. (p.60)

2.1.2 Antecedentes Internacionales

Coello (2011), llegó a la siguiente conclusión: “Se tuvo una gran eficacia del hongo *P. ostreatus* en forma de inóculo, para la remoción de los metales pesados Co, Cd y en menor proporción para el Pb, Cu. Es importante considerar que el inóculo propuesto solo es capaz de trabajar sobre una determinada concentración de metales pesados, pero si esta concentración se incrementa por el aumento de actividades humanas posiblemente sea una causa para que ocurra un fallo en el tratamiento”. (p.40)

Chuquín (2012), afirmó lo siguiente: “La utilización del hongo *P. ostreatus* presenta alta eficacia en los procesos de biorremediación de HAP's (86.2 %) y metales pesados Cd, (67%). En los metales Ni y Pb no se midió la eficacia ya que los valores de estos parámetros se encontraron dentro de los límites permisibles”. (p.91)

Ruiz (2008), llegó a la siguiente conclusión: “Se realizó experimentos con biomasa libre donde se obtuvo los siguientes porcentajes de remoción cuyos valores de 74%, 98% y 57% (cadmio, níquel y plomo) respectivamente y con biomasa inmovilizada 16%, 56% y 9% para metales ya mencionados en soluciones en mezcla. *P chrysosporium* alcanzo porcentajes significativos de valores altos de 74%, 57% y 98% en células libres e inmovilizadas en 16%, 9% y 56% respectivamente”. (p.71)

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Base Legal

Según el D.S. N° 011-2017-MINAM – Perú.

- a. Artículo 8° cuando se determine la existencia de un sitio contaminado derivado de las actividades extractivas, productivas o de servicios, el titular debe presentar el Plan de Descontaminación de Suelos (PDS), el cual es aprobado por la autoridad competente. El PDS determina las acciones de remediación correspondientes, tomando como base los estudios de caracterización de sitios contaminados, en relación a las concentraciones de los parámetros regulados en el Anexo I. En caso el nivel de fondo de un sitio excediera el ECA correspondiente para un parámetro determinado, se utilizará dicho nivel como concentración objetivo de remediación. (MINAM, 2013, p.2).

- b. Artículo 11° El análisis de las muestras de suelo deberá ser realizado por laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI), para los métodos de ensayo señalados en el Anexo I de la presente norma. En tanto no se disponga de laboratorios acreditados se utilizarán los

laboratorios aceptados expresamente por las autoridades competentes.
(MINAM, 2013, p.2)

2.2.2 Micorremediación

Los hongos han sido aprovechados por el ser humano en diversas aplicaciones por miles de años. En cualquier ecosistema, los hongos están entre los mayores degradadores de polímeros vegetales tales como la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. Los hongos poseen la habilidad de modificar la permeabilidad del suelo, su capacidad de intercambio iónico y desintoxicar suelos contaminados (Soares, 2011).

La micorremediación es el uso de hongos para degradar o remover contaminantes del ambiente. Los hongos tienen una gran capacidad para desarmar y romper largas y complejas cadenas de los contaminantes más recalcitrantes, convirtiéndolos en cadenas más simples y químicamente menos tóxicas. (Berger, 2005)

Para la micorremediación no se utiliza ningún químico peligroso. Los nutrientes agregados para permitir un mejor crecimiento de los microorganismos son fertilizantes usados como, la paja, el césped, entre otros. (EPA, 2011, p.43).

a. Micorremediación de metales pesados

Las actividades industriales vienen generando actualmente gran contaminación a una mayor escala cada día con el hecho de solo usar metales pesados y radionúclidos en el medio ambiente. En suelos, pueden ocasionar daños drásticamente en la fertilidad por el uso de estos metales, mientras sea el caso de los acuíferos y las aguas superficiales, se puede dañar gravemente este recurso siendo una fuente de agua que es utilizado para el consumo humano en todas las partes del mundo (Vullo, 2003).

La aplicación de métodos de remediación que son efectivos depende en muchas veces de un factor fundamental que es el conocimiento de distintos ambientes sean hidrológicos y geológicos, el sitio, la solubilidad y especiación de los metales pesados que se encuentran presentes, procesos de atenuación e inmovilización y en la mayor parte como tiende a dispersarse

tanto horizontal como verticalmente a medida de cómo es la migración de estos en el suelo otro ámbito, la utilización de diversos métodos sea el biológico para realizar la remediación de un ambiente contaminado (biorremediación) ofrece una alta probabilidad en la remoción de metales de interés, sea en sistemas in situ como ex-situ (Vullo, 2003).

Actualmente la gran demanda que se tiene por seguir con las diferentes búsquedas de distintas maneras de impulsar la conservación y mantener limpia las áreas naturales y a su vez contribuir al restablecimiento de su estado original, vienen siendo muy altas debido a las constantes contaminaciones antropogénicas que se vienen dando. La micorremediación como técnica que viene utilizando hongos para remediar, restablecer o devolver un suelo, agua a un estado limpio, librándolo de contaminantes o disminuir el valor de la concentración a niveles no tóxicos (Vullo, 2003).

Los contaminantes más frecuentes pueden encontrarse en los diversos tipos de suelos, sedimentos, agua subterránea o superficial. Lo ideal es que el tratamiento que se aplique en los suelos destruya o remueva completamente los contaminantes sin que pueda tener esa capacidad de poder crear productos intermedios que afecten al largo o mediano plazo el medio ambiente. Algunas tecnologías sólo tienen una poca capacidad de poder estabilizar el contaminante. Todos estos métodos de control de contaminación tienden a poseer ventajas y desventajas, es por ellos la obligación del encargado del proyecto que se estudie la mejor opción que mejor le aplique. Debido a que a pesar de que se tome en consideración muchos factores la biorremediación no suele ser la mejor opción para diversos casos (Cisterna, 2003).

La micorremediación a través del uso de hongos blancos de putrefacción es una tecnología muy alentadora hacia el futuro dado que viene siendo estudiada en la actualidad. Muchos estudios actualmente se están enfocando en la gran habilidad que tienen con la degradación, eliminación de compuestos persistentes, entre ellos los que destacan pertenecientes a la familia *phanerochaete* donde se encuentra el hongo *P. ostreatus*. Estos hongos son muy efectivos debido a que producen una enzima extra celular que cataliza una reacción que logra degradar la lignina, que viene a ser un compuesto aromático

muy parecido a los hidrocarburos. Para que pueda realizar acciones de catalización, la enzima requiere el peróxido de hidrógeno, reacción que el hongo produce (Cisterna, 2003).

2.2.3 Hongos y nutrición

Los hongos se caracterizan por ser heterótrofos, al no poseer clorofila estos no son capaces de producir su propio alimento mediante fotosíntesis, por ende, se toma el alimento de otras fuentes. Su mecanismo de digestión de los hongos es externo, por ello secretan sus enzimas al exterior, actuando como degradadoras de materia orgánica, produciendo moléculas sencillas que son absorbidas en forma de nutriente a través de su membrana y pared celular (Cisterna, 2003).

a. Hongos Filamentosos en procesos de micorremediación

La práctica de micorremediación involucra el hecho de mezclar micelio con suelo contaminado, es decir colocación de capas de micelio sobre lugares contaminados en tratamientos que son sucesivos o de una sola aplicación (Statemets, 1993).

Dentro de las moléculas orgánicas, descompuestas o transformadas, se incluyen los hidrocarburos policíclicos o aromáticos, tintes, pesticidas, componentes de efluentes e incluso cianuro. A diferencias de estas moléculas orgánicas, los metales pesados no pueden ser destruidos, pero los hongos logran causar una transformación a sus formas móviles o no móviles. (Gao, Wu y Liang, 2011, p.39)

b. Hongos *Basidiomycetes*

En la naturaleza, los hongos *Basidiomycetes* pertenecen a la clase *Hymenomycetes*, que se encuentran comúnmente en los bosques de pino y encino (Christian, 2005). Entre estos hongos destacan el *P. ostreatus*, *Lentinus hirtus*, *Bjerkandera adusta*, *Irpex lacteus*, *Dichomitus squalens*, *phanaerochaete chrysosporium* y *Trametes versicolor*. (Pointing, 2001, p.16)

En su naturaleza estos hongos no utilizan lignina como fuente de carbono, al contrario, la oxidan y rompen para eliminar esa barrera química y así acceder

a los polisacáridos que contiene la madera, que si constituyen una importante fuente de energía para ellos (Jeffries, 1990).

El entendimiento científico respecto a la degradación de la lignina no está completo aun, sin embargo las investigaciones que se han realizado a enzimas fúngicas en presencia de lignina natural y sintética ha avanzado lo suficiente para entender que las enzimas lacasas y peroxidases de clase II, como las enzimas que están involucradas en la pudrición blanca (Papinutti, 2003).

El complejo de enzimas oxidasa y peroxidasa que poseen estos hongos, son las que están encargadas de catalizar las primeras reacciones, que van a romper las uniones dentro de la molécula lignina y así generar moléculas de menor tamaño. Posteriormente se da una incorporación de estos productos provenientes de la degradación a sus ciclos metabólicos del organismo, para así dar como producto final agua y CO₂ (Papinutti, 2003).

Esta capacidad única de los hongos de pudrición blanca para degradar lignina se debe a la presencia de enzimas lignolíticas extracelulares como la lignina peroxidasa (LiP) y la Manganese Peroxidasa y Lacasa (Papinutti, 2003).

Es precisamente esa característica que radica el interés de su potencial aplicación en áreas como la industria del papel y la biorremediación (Baldrian, 2000).

c. Ventajas del uso de Hongos *Basidiomycetes*

Los hongos *Basidiomycetes* actualmente poseen grandes ventajas que pueden facilitar el estudio que se le viene realizando en las diferentes ocasiones de biorremediación, pues se encuentran presentes en muchos lugares con sedimentos acuáticos y en hábitats terrestres, favoreciendo así a la penetración de sus hifas al suelo contaminado, ayudan a generar enzimas extracelulares que degradan los contaminantes orgánicos. (Baldrian, 2000, p.79)

Entre ellas tenemos:

- Hongos basidiomycetes son abundantes en el ecosistema.
- Las enzimas claves del sistema de degradación de lignina son extracelulares.

- Estas enzimas permiten que los hongos toleren una concentración alta de contaminantes tóxicos.
- Son capaces de degradar una amplia variedad de contaminantes.
- Su extensión de hifas permite una eficiente colonización y exploración del suelo, es por ello que alcanza contaminantes en el suelo en formas que otros organismos no lo hacen.

2.2.4 *Pleurotus ostreatus*

Hongo saprofito, es una de las especies más estudiadas debido a sus propiedades lignolíticas, crecimiento fácil y un buen manejo de las condiciones de campo (Sifuentes, 2014).

Su micelio es blanquecino, con textura de algodón y crecimiento rápido, al envejecer forma una textura firme y delgada (Stamets, 1993).

Su desarrollo se da en forma de ostra, sin embargo para fines de investigación el hongo se trabaja a nivel microbiológico, sin llegar a desarrollar el cuerpo fructífero (Sifuentes, 2014).

Su habilidad para degradar lignina está relacionada con las enzimas Lacasa y manganeso peroxidasa (Papinutti, 2003, p.57). Es muy eficiente para una gran variedad de contaminantes ya sea en su modo líquido o en sistemas de suelo lignocelulosa.

En diferentes estudios la paja fue introducida como un sustrato y su uso fue satisfactoriamente como soporte para el hongo *P. ostreatus* en bandejas con suelos con estériles contaminados con HAP's y metales pesados. (Baldrian, 2000, p.91)

a. Taxonomía.

- División: *Basidiomycota*
- Subdivisión: Basidiomycotina
- Clase: Homobasidiomycetes
- Subclase: *Agaricomycetes*
- Orden: *Thricholomatales*
- Familia: *Pleurotaceae*

b. Cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus*

- Potencial de Hidrógeno (pH)

Para el crecimiento del Hongo *P. ostreatus* se han establecido rangos de crecimiento entre 4 y 7 de pH. Siendo el óptimo ente 5 y 6 de pH. Sin embargo, este valor suele variar entre cepas y especies. Los substratos ácidos (pH 4) pueden abstener al crecimiento del *P. ostreatus*. (Sánchez, 2001, p.27)

- Temperatura

Para el cultivo de *P. ostreatus* se requiere un rango de temperatura entre 20°C a 28°C, siendo la más óptima de 25° C. Y el tiempo de colonización total del sustrato sucede entre los 15 y 20 primeros días una vez iniciado el cultivo. Esto se suele realizar en bolsas de PVC, polietileno o polipropileno como en botellas de vidrio. (Sánchez, 2001, p.27)

Tabla 1 Factores que afectan el crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus*

Factor	Crecimiento del micelio	Fructificación
Temperatura	24° a 30° C	15° a 18°
Luminosidad	Oscuridad	Luz indirecta (longitudes de onda menores a 600 mm) y un fotoperiodo de 12 horas
Humedad Relativa	30 a 40%	85 a 90 %
Aireación	28% de CO ₂ , 20% de oxígeno en el ambiente	20 % de Oxígeno y menos de 700 ppm de CO ₂ en el ambiente
pH	5- 6 (bajo 4 existe inhibición)	5- 6 (bajo 4 existe inhibición)

Fuente: Sánchez, 2001.

- Producción de Inóculo.

El inóculo viene a ser el micelio vegetativo crecido en un medio que le es conveniente como trigo o cebada, con la finalidad de poder obtener una cosecha productiva de hongo en forma de seta.

Esta producción involucra la preparación de un cultivo puro de hongo a partir de sus esporas tejidos, en agar que le de las propiedades nutritivas necesarias, seguido en un cultivo a granos (Sánchez, 2001).

Gaitán, Salmenes y Mata (2006), aseguran que la elaboración de inóculo se realiza en dos etapas.

- a) Inóculo primario: Propagación de micelio en semillas, a partir de una cepa crecida en un medio de cultivo (agar).
- b) Inóculo secundario: Propagación del micelio en semillas a partir del inóculo primario, es decir la multiplicación del micelio para su siembra posterior en el sustrato adecuado elegido. (p.41)

Para una propagación del micelio adecuadamente se debe tener una humedad entre 90-100%, el mayor crecimiento para la propagación se da en temperaturas entre 25 C°- 28 C°, alcanzando una colonización entre 10 y 14 días (Statemets, 1993).

Se considera que el inóculo está listo para usarse cuando el sustrato está visualmente colonizado fúngicamente (Gaitán et al, 2006).

c. Capacidad del Hongo *Pleurotus ostreatus*

Es decir, la capacidad del hongo *P. ostreatus* para transformar una amplia variedad de metales ha incrementado el interés de las personas en la biorremediación, ya que estos son los únicos entre los eucariotas por haber desarrollado metodología no específica que involucra la degradación de la lignina, ya que no utilizan lignina como fuente de carbono para su crecimiento. (Gaitán et al, 2006 p.50).

2.2.5 Cadmio

Representa el 1.5x10⁻⁵ % en peso de la corteza terrestre. No se ha encontrado en su forma nativa. Normalmente se suele encontrar en cantidades pequeñas asociado al mineral cinc, tales como la esfalerita (ZnS), etc. (Jiménez, 2016, p.56)

El nivel natural de concentración de cadmio en el suelo es < 1ppm. Existe en forma natural en concentraciones mayores cuando está asociado a minerales como cinc o en depósitos de cadmio. Se recupera como un sub producto a raíz de los procesos de fundición y refinamiento en concentrados de cinc en proporción de 3.0-3.5 Kg.t^m⁻¹.(Jiménez, 2016, p.57)

La principal especie presente de cadmio en la solución del suelo es Cd²⁺ aunque también puede formar los siguientes iones complejos: CdCl⁺, CdOH⁺,

CdHCO_3^+ , CdCl_3^- , CdCl_4^{2-} , $\text{Cd}(\text{OH})_3^-$ y $\text{Cd}(\text{OH})_4^{2-}$ junto con complejos orgánicos. En las condiciones aeróbicas las especies de cadmio serán las siguientes: suelos ácidos Cd (II). CdSO_4 y CdCl^+ , CdHCO_3^+ . (Gonzales, 2010, p.50)

Diversos países tienen un estándar de valor máximo de 3 mg/kg de cd, en suelos agrícolas, considerados normales. Pero esto cambia si se aplica para la unión europea ya que el valor es de 3 mg/kg (miranda 2008).

Tener en cuenta que para la OMS-FAO el valor de 3 mg/kg ya representa un problema de fitotoxicidad según datos suministrados por su comité (Barragán, 2008).

El cadmio viene siendo el mayor responsable de modificar la composición de las poblaciones microbianas presentes en el suelo ocasionando consecuencias como: la reducción y la descomposición de la materia orgánica. Este metal fácilmente se puede alojar en plantas y en la fauna a través de pastos o aguas contaminadas (Rábago, 2011).

El hombre a raíz del tiempo ha liberado cadmio al ambiente sin saberlo, desde que podía fundir y refinar metales pesados como zinc, plomo y cobre. (Rábago, 2011, p.46)

a. Síntesis de la Biogeoquímica de cadmio (Cd)

Las importantes características biogeoquímicas de los metales pesados, se refleja en las funciones que desempeñan al entrar en la cadena trófica y la influencia que tiene en la salud humana como último eslabón en dicha cadena.

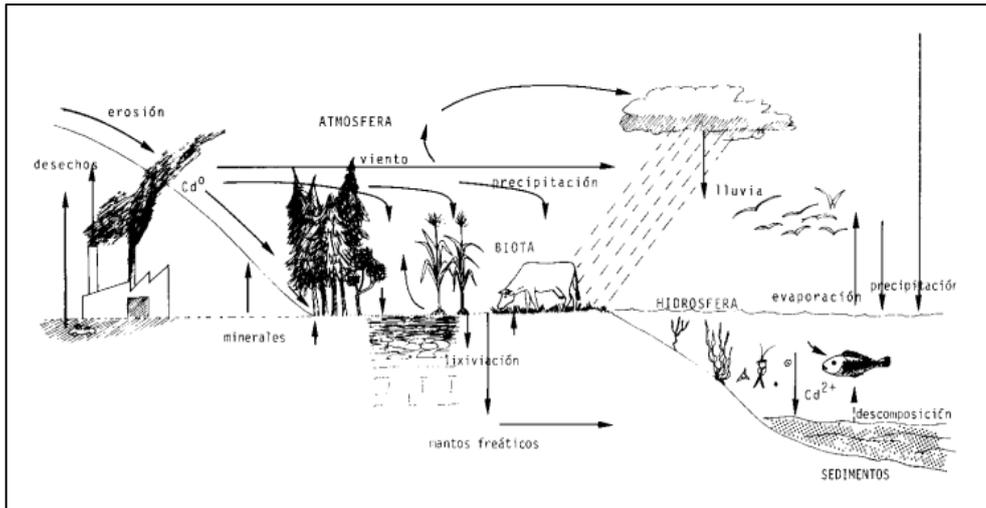


Figura 1. Cadmio en el ambiente. Fuente: Francisco Badillo German, 1992.

b. Cadmio en el suelo

El cadmio tiene un gran poder de movilización sea a través del suelo donde va depender de varios factores como el pH y el contenido de materia orgánica, este último tiende adherirse fuertemente hasta poder entrar en contacto con la superficie radical de las plantas a través de la difusión de iones. (Acosta de Armas y Montilla, 2011, p.35)

Es uno de los metales traza en el suelo con características más solubles y peligroso debido a la alta movilidad que posee (Miranda, 2008).

La movilidad de cadmio en suelos cultivados con trigo es baja. Además, estudios reportan que en suelos cultivados con papa la concentración de cadmio se suele alojar entre 0- 13 cm. (Gonzales, 2010, p.56)

Las principales variaciones del cadmio que se producen en el suelo se deben a la existencia de la composición de la roca madre y al suministro de metales que provienen en cantidad de fertilizantes, abonos, agroquímicos y la contaminación atmosférica generada por el hombre (Badillo, 1985).

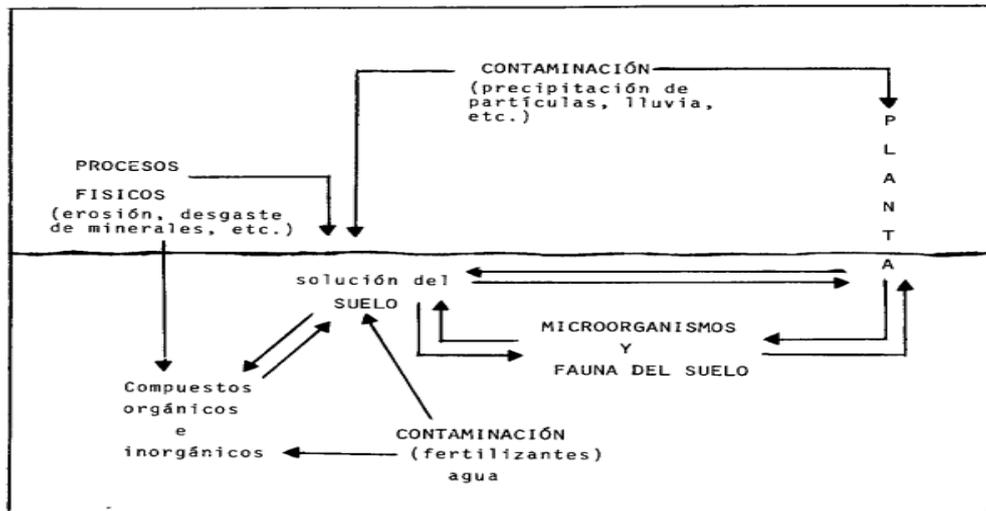


Figura 2. Transporte de cadmio en el suelo. Fuente: Francisco Badillo German, 1992.

c. Factores del suelo que afectan la acumulación del cadmio y su disponibilidad.

El cadmio suele reaccionar de manera distinta con cada componente presente en el suelo, esta reacción dependerá de factores como la textura, pH del suelo, materia orgánica, contenido y tipo de arcillas, capacidad de intercambio catiónico, carbonato y óxidos del hierro y manganeso (Subero, 2013).

La textura del suelo viene a ser un factor muy importante para la acumulación del metal pesado (Cd), debido a que, en suelos arcillosos, la arcilla tiende a retener y absorber el metal pesado, quedando almacenados en el complejo de cambio. Por el contrario, los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de metales pesados, los cuales suelen pasar rápidamente y contaminar las aguas (Subero, 2013).

pH es el principal factor que va condicionar los procesos de adsorción de Cd en los suelos, si los suelos tienen a tener un pH = 6 la adsorción del cadmio se incrementará rápidamente, eso dependido de las características constituyentes del suelo presente (Peris, 2006).

La materia orgánica va favorecer la absorción del cadmio no solo por la cantidad en la que se encuentra en el suelo presente sino también por la forma y composición del suelo. La capacidad de intercambio catiónico al aumentar el

contenido de materia orgánica, incrementa también el aumento de número de grupos funcionales responsables de adsorción de Cd. A mayor capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad con la que el suelo fijará metales (Subero, 2013).

2.2.6 Contaminación de Suelos

La contaminación del suelo es un efecto de las diferentes actividades que el hombre realiza, ya sean de producción de colorantes, preservantes, extracción, refinamiento, transformación y las actividades correspondientes al petróleo y sus derivados. (Soares, 2011, p.23)

Las principales actividades de contaminación son provenientes de las tecnologías agrícolas nocivas (uso de aguas negras o ríos contaminados), el uso de plaguicidas, pesticidas y fertilizantes que dañan la estructura del suelo. Asimismo, también son grandes contaminantes las empresas cuyas negligencias están relacionadas a la ruptura de tanques que contienen sustancias súper contaminantes o filtraciones en rellenos sanitarios, cuyo mantenimiento es escaso. (Soares, 2011, p.24)

El suelo contaminado es una gran amenaza para las personas que suelen entrar en contacto con estos. Se da en muchos casos que estos suelos contribuyen a la contaminación del agua, a través de la escorrentía que se da por las lluvias, facilitando el traslado de estas sustancias hacia los cuerpos de agua. (Gresham, 2011, p.38)

2.2.7 Contaminación por metales Pesados

Metal pesado es aquel que tiene una densidad igual o superior a 5 g/cm^3 o cuando su número atómico es superior a 20 (excluyendo aquellos metales presentes en la tabla periódica llamados, alcalinos o alcalinos- térreos). (García y Dorronsoro, 1999, p.65)

Dentro de los metales pesados existen dos grupos:

- Oligoelementos o micronutrientes: Aquellos que en pequeñas cantidades son necesarios para que los organismos logren completar su ciclo vital, pasando cierto límite, se vuelven tóxicos, estos metales son los

siguientes: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Fe, Se y Zn. (García y Dorronsoro, 1999, p.67)

- Metales cuya función biológica no es conocida: Su presencia en determinadas cantidades en los seres vivos, conllevan al mal funcionamiento de los organismos, son altamente tóxicos y presentan las propiedades de bioacumulación en los organismos vivos, estos metales son los siguientes: Cd, Hg Pb, Bi, Sb Ti. (García y Dorronsoro, 1999, p.68)

Tabla 2 Metales tóxicos de interés.

Muy tóxicos y fácilmente disponibles				Contaminantes prioritarios según la EPA				Metales y no metales por causas antrópicas.	
As	Pd	Zn	Tl	Sb	Pb	Cr	Hg	Ag	Pb
Co	Ag	Sn	Pb	As	H	Cu	Tl	As	Sb
Bi	Cd	Se	Te	Be	Ni	Zn		Cu	Sn
Ni	Pt	Cu	Hg	Cd	Se			Hg	Zn
Sb								Ni	

Fuente: Seoáñez, 1999

a. Metales pesados en ecosistemas

A raíz de las actividades industriales, con el tiempo se han venido generando graves problemas de Contaminación debido a los vertimientos con alta carga de metales pesados como el cadmio, plomo y níquel que hoy en día se desechan al medio ambiente. (Jiménez, 2016, p.54)

Debido a la capacidad de movilidad que tienen estos en los distintos ecosistemas sean acuáticos y terrestres y la toxicidad que poseen, los metales se han convertidos en uno de los más graves contaminantes que afectan hoy en día al medio ambiente, aun así, cuando posiblemente se encuentre presente en los diferentes cuerpos naturales ya sea en pequeñas cantidades implica que sucedan procesos naturales como la biomagnificación. (Jiménez, 2016, p.54)

Tabla 3 *Actividades industriales y comerciales que generan contaminantes*

Tipo de Industria	Parámetros a considerar como mínimo (puedes haber otros parámetros relevantes).
Acumuladores/ baterías	Plomo, Cromo, Níquel, Cadmio, Arsénico.
Refinerías	Aceite/ diese, BTEX, plomo.
Pinturas/Lacados	Disolventes (clorados y otros), Arsénico, Cromo, Cobre, Cadmio, Plomo, Zinc, Estaño, Ftalatos
Curtidos	Disolventes (clorados y otros), Arsénico, Cromo, Cobre, Cadmio, Níquel, Arsénico, Zinc.
Fábrica de gas	Fenoles, PAH, BTEX, cianuros, azufre.
Galvanización	Disolventes, Cromo, Cobre, Cadmio, Zinc, Arsénico.
Industria de Plásticos	Disolventes, Ftalatos, Plomo, Cadmio.

Fuente: Maldonado, 2008.

2.3 Definición de términos básicos

- **Basidiomycetes:** Son uno de los grupos más diversos de hongos, formados por unas 20000 especies, entre las cuales se encuentran las conocidas setas, hongos de la madera y hongos gelatinosos, entre todos ellos forman aproximadamente el 30% de los hongos conocidos. (Baldrian, 2000).
- **Cadmio:** Elemento químico relativamente raro, no se encuentra en estado libre, en la naturaleza, no es una fuente comercial de metal, todo lo producido es obtenido como subproducto de la fundición y refinamiento de minerales Zinc.
- **Calidad de suelos:** Viene hacer la capacidad natural del suelo para cumplir distintas funciones: ecológicas, agrícolas, agronómicas y recreacionales. La calidad de suelo es sinónimo de estado en el cual se encuentra el suelo en base a sus características físicas, químicas y biológicas que han obtenido naturalmente para poder sustentar un potencial natural y antropogénico.

- Estándar de calidad ambiental: Establece el nivel de concentración de parámetros, sustancias químicas y biológicas presentes en los diferentes medios sea el aire agua y el suelo. Su concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.
- Hongo: Organismo unicelulares o pluricelulares heterótrofos que no forman auténticos tejidos y que tienen estructura de talo. No poseen sensibilidad ni se pueden mover.
- Metales pesados: Los metales pesados son sustancias propias de la naturaleza de peso molecular alto, y en muchos casos muy útiles. Tienen efectos en la salud y afectan diferentes órganos (Jiménez, 2016).
- Micorremediación: Proceso el cual se usa hongos para poder degradar o retener los contaminantes en el ambiente. A través de la estimulación de su actividad microbiana, su micelio podrá reducir toxinas In-Situ. Algunos hongos tienden a ser hiperacumuladores, capaces de absorber y concentrar metales pesados en el esporocarpo (Soares, 2011).
- Sitio contaminado: Suelo cuyas características químicas han sido alteradas por presencia de provenientes del depósito de actividades humanas o industriales, cuya concentración emitida ya representa un riesgo para la salud humana y medio ambiente (Gresham, 2011).
- Suelo: Parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, proveniente de la desintegración, alteración física y química de las rocas madres y de los residuos que dejan los seres vivos sobre ella (Soares, 2011).

CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

3.1 Modelo de solución propuesto

3.1.1 Lugar de Ejecución

El trabajo académico se ejecutó en el laboratorio de productos forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM). En el anexo 6 se muestra el mapa de ubicación del lugar de ejecución del proyecto.

3.1.2 Recursos empleados

a. Para la obtención de suelo agrícola se utilizó los siguientes materiales:

- Reactivos para la contaminación de suelo.
- Ácido nítrico
- Agua destilada
- Cloruro de cadmio
- Bolsas de polietileno de alta densidad

b. Para la creación de muestra contaminada se utilizó los siguientes materiales:

- Autoclave.
- Pipeta
- Pipeteador
- Vasos precipitados
- Botellas de vidrio
- Cámara de absorción de gases
- Estufa
- Balanza digital
- Guantes
- Tapaboca
- Lentes protectores

c. Para la obtención del micelio se utilizó

- *P. ostreatus* (Seta)
- Jarra eléctrica
- Papa
- Agar- agar
- Dextrosa
- Semillas de Trigo
- Placas petri
- Mecheros
- Alcohol
- Pinza
- Balanza Digital
- Incubadora
- Lentes protectores
- Bolsas de polietileno
- Algodón
- Tetraciclina

d. Para la inoculación del hongo al suelo contaminado requirió los siguientes materiales:

- Mechero
- Paja de trigo
- Suelo contaminado
- Inóculo de *P. ostreatus* (Semilla)
- Incubadora
- Estufa
- Autoclave
- Algodón
- Pinza
- Pipeta
- Pipeteador
- Placas Petri

e. Para la colonización y medición de suelo contaminado se utilizó las siguientes herramientas de trabajo:

- Incubadora
- Cuaderno
- Lápiz
- Regla
- Para análisis de suelo
- Bolsas Ziploc

3.1.3 Procedimiento

Para la determinación de la capacidad micorremediadora del hongo *P. ostreatus* respecto al cadmio, se preparó a nivel de laboratorio un suelo agrícola contaminado con dicho metal. Para ello se realizaron las siguientes etapas:

a. Preparación de la solución contaminante

- Obtención de la solución de ácido nítrico

Según Arenas y Hernández (2012), la preparación de solución de ácido nítrico se realizó de la siguiente manera:

1. Se preparó ácido nítrico a 0.5 N, para ello primeramente se tuvo que hallar el peso meq con la siguiente formula.

$$Pm/V = 63/1 = 63/1000 = 0.063$$

2. Posteriormente se obtuvo los gramos correspondientes.

$$g = N * ml * pmeq$$

$$g = (0.5) (100 \text{ ml}) (0.063)$$

$$g = 3.1 \text{ ml}$$

3. Obtenido los gramos, se consultó la densidad del ácido nítrico para obtener la cantidad de ml que se va a combinar en 100 ml de agua destilada. La densidad correspondiente del ácido nítrico es de 1,51 g/ml.

4. Una vez obtenida la densidad, se procedió a usar la regla de tres simple

$$1.51 \text{ g} \text{-----} 1 \text{ ml}$$

$$3.1 \text{ g} \text{-----} x$$

$$X = 2.08 \text{ ml}$$

5. Obtenida esta cantidad se enrazó con 97.9 ml de agua destilada para obtener nuestra solución de 100 ml de ácido nítrico al 0.5 N.
6. Posteriormente se tomó 0.85 ml de esta solución para preparar la solución de nitrato de cadmio.

- Preparación de nitrato de cadmio

Se preparó una solución de nitrato de cadmio a una concentración de 50 ppm en 100 ml de solución. Para ello se realizó los siguientes pasos:

1. Se pesó 42.58 mg de cadmio
2. Se mezcló con 0.85 ml de ácido nítrico 0.5 N extraído de la mezcla anteriormente preparada.
3. Luego se disolvió en agua destilada hasta enrazar los 100 ml de solución correspondiente.
4. Obtenido la solución madre se evaluó 5 niveles de contaminantes, 2.5, 3, 3.5, 6 y 8 ppm.

- Preparación de los 5 niveles de soluciones de contaminantes.

Según Arenas y Hernández (2012), la preparación de los 5 niveles de contaminación se realizó utilizando la regla de 3 simples, en los siguientes pasos:

1. Concentración 2.5 ppm

Utilizando la concentración madre.

50 mg ----- 100ml

2.5 mg----- x

X = 5 ml de solución madre.

La solución madre de 5 ml se enrazó con 95 ml de agua destilada, a raíz de esta mezcla se obtuvo la concentración de 0.2 mg/100ml.

2. Concentración 3.0 ppm

50 mg ----- 100ml

3.0 mg----- x

X = 6 ml de solución madre.

La solución madre de 6 ml se enrazó con 94 ml de agua destilada, a raíz de esta mezcla se obtuvo la concentración de 0.25 mg/100ml.

3. Concentración 3.5 ppm

50 mg ----- 100ml

3.5 mg----- x

X = 7 ml de solución madre.

Esta solución madre de 7 ml se enrazó con 93 ml de agua destilada, a raíz de esta mezcla se obtuvo la concentración de 0.35 mg/100ml.

4. Concentración 6 ppm

50 mg ----- 100ml

6 mg----- x

X = 12 ml de solución madre.

Esta solución madre de 12 ml se enrazó con 88 ml de agua destilada, a raíz de esta mezcla se obtuvo la concentración de 6 mg/100ml.

5. Concentración 8 ppm

50 mg ----- 100ml

8 mg----- x

X = 16 ml de solución madre.

Esta solución madre de 16 ml se enrazó con 84 ml de agua destilada, a raíz de esta mezcla se obtuvo la concentración de 8 mg/100ml.

Después de obtener las concentraciones correspondientes, estas fueron almacenadas en recipientes de vidrio, respectivamente rotulados.

b. Preparación del suelo contaminado

- Obtención del insumo agrícola

Se obtuvo 3 kg de suelo agrícola de la facultad de Ingeniería Forestal de la UNALM. El suelo era utilizado para las áreas verdes de la facultad.

Se obtuvo 1 kg la paja de trigo de la Facultad de Agronomía de la UNALM. La paja se utilizó como sustrato para crecimiento del hongo.

- Acondicionamiento de los insumos agrícolas

Una vez obtenido el suelo y la paja de trigo, se procedió a esterilizar mediante el método de esterilización húmeda. Antes de eso el suelo agrícola fue tamizado y la paja de trigo fue picada para que pueda caber en las placas petri y no ocupe demasiado volumen.

Para la esterilización de la tierra agrícola y la paja de trigo se utilizó la autoclave a una presión de 180 ° y tiempo de 20 minutos, este procedimiento fue realizado en el laboratorio de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS).

Una vez obtenidos los materiales listos, se dejó enfriar para poder llevarlos al laboratorio de productos forestales de la UNALM.

Se procedió a pesar 200 g en 5 vasos precitados de 500 ml donde se mezcló con las 5 concentraciones de contaminantes estas muestras se dejaron reposar por 7 días.

c. Preparación del inóculo *Pleurotus ostreatus*

- Aislamiento y mantenimiento

Para el aislamiento y desarrollo de las cepas se empleó el medio de cultivo agar papa dextrosa, para ello fue necesario realizar la siguiente preparación:

1. Se procedió a pelar y a hervir papa en 500 ml de agua destilada en una jarra eléctrica durante 15 min.
2. Hervida el agua, se procedió a filtrar el caldo obtenido.
3. Se adicionó agua para completar 1 L de preparación de agar.
4. Se agregó 15 g de agar- agar obtenido en el laboratorio de productos forestales y 20 g de dextrosa.
5. Se procedió a hervir en la jarra eléctrica durante 2 minutos hasta que se produzca un hervor.

Los medios de cultivo fueron vertidos en matraces y se esterilizaron en una autoclave por 1 hora a 126°C de temperatura y 180° de presión.

El medio de cultivo esterilizado fue servido en placas petri al cual se le añadió tetraciclina de 500 mg, para evitar el crecimiento de otros microorganismos contaminantes.

- Cultivo

Según Gaitán (2006), una vez solidificado el medio de cultivo se procedió a realizar el aislamiento de la cepa. El aislamiento del hongo *P. ostreatus* se realizó a través del tejido del hongo que se obtuvo mediante compra de supermercado. Para realizar el aislamiento del hongo se realizaron los siguientes procedimientos:

1. Se esterilizo todos los materiales a usar, así como el área de trabajo.
2. Se realizaron cortes con navaja previamente esterilizada de 2 cm aproximadamente de tamaño entre el sombrero y el pie del cuerpo fructífero para el aislamiento desde el cuerpo fructífero, los cuales fueron colocados en cinco puntos de la placa con medio de cultivo PDA a través del uso de pinzas esterilizadas.
3. Antes de realizar el aislamiento de la cepa mediante el cuerpo fructífero en el medio de cultivo, se lavó con hipoclorito de sodio al 5% eso evitó problemas de contaminación.
4. Luego fueron colocados en la incubadora a 25 °C por espacio de tres días.
5. Transcurrido el tiempo se procedió a su respectiva evaluación.
6. Se observó el crecimiento micelial en forma de algodón sobre la superficie del medio de cultivo, el color fue blanco, posteriormente se trasladó el micelio blanco a otra placa con medio de cultivo, a este procedimiento se le llamó purificación, este procedimiento se realizó unas 2 veces en 6 días hasta tener el micelio completamente puro, la colonización tuvo una duración de 9 días en placa con agar Papa Dextrosa.

- Preparación de semillas o micelio secundario

Según Gaitán (2006), la preparación del inóculo constituye la base para poder realizar la experimentación. Para la preparación de las semillas se realizaron los siguientes pasos:

1. Con el micelio puro se procedió a la preparación de las semillas.

2. Las semillas fueron obtenidas por medio de compra.
3. Se lavó e hidrató 200 gr de semilla de trigo por espacio de 12 horas.
4. Transcurrido ese tiempo se enjuagó los granos y se escurrió el agua en exceso a través de un cernidor.
5. Posteriormente se cocieron a un término medio en la jarra eléctrica, se escurrió hasta tener el contenido de humedad de 70 %, esto se puede determinar a través del tacto.
6. Se añadió carbonato de calcio y sulfato de calcio para medir el pH, a su vez sirve para que los granos no se peguen entre sí.
7. Se incubó a 25°C por un tiempo determinado de 20 días hasta que el micelio del hongo cubra toda la semilla de trigo.
8. Pasado este tiempo el inóculo estuvo listo para usarse en el proyecto.

d. Preparación de los tratamientos para la descontaminación del suelo

Después de obtener los inóculos de *P. ostreatus*, se procedió a inocularlos en el suelo contaminado con cadmio en placas petri, a través de los siguientes pasos:

1. Se esterilizó 18 placas Petri a 150° por 2 horas en una estufa.
2. Se acondicionó el lugar de trabajo con dos mecheros y alcohol para evitar posibles contaminaciones.
3. Se pesó 30 gramos de suelo y 3 gr de paja en las placas petri que ya se tenían esterilizadas, dando un total de 33 gr de peso.
4. Mezclado el suelo con la paja, se procedió a agregar 5 ml de la solución de nitrato de cadmio a todas las placas. La solución se usó para la contaminación de los suelos y además brindo la humedad suficiente para que el hongo pueda desarrollarse.
5. Luego se procedió a inocular el suelo con las semillas de trigo. El número de semillas por placa fue según cada tratamiento, en la tabla 4 se muestra la distribución de las semillas en las 15 placas petri.
6. Luego de la distribución de las semillas, se procedió a incubar las placas a 25°C por 15 días. En la figura 3 se muestra la distribución de los tratamientos.

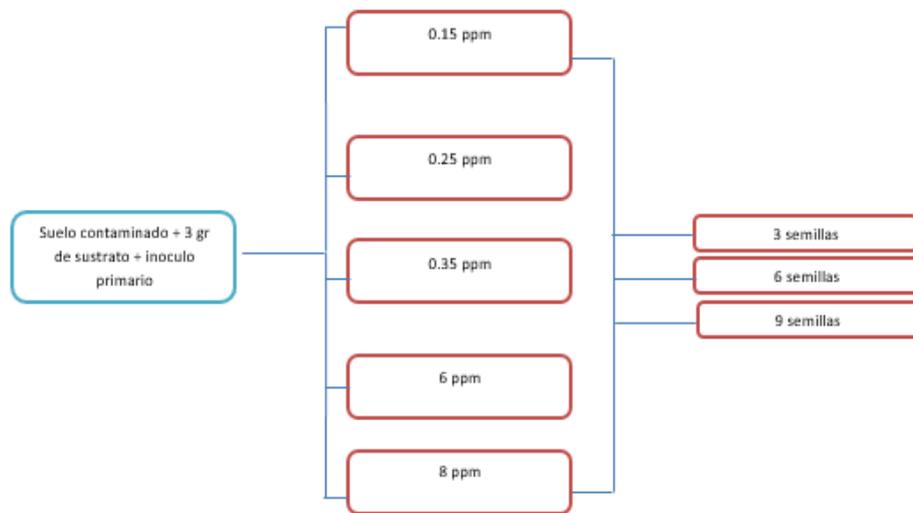


Figura 3. Distribución de los tratamientos.

e. Análisis de Parámetros del proceso de micorremediación

- Caracterización de suelo

Se realizó un análisis de caracterización de suelo contaminado con cadmio en el laboratorio de análisis de agua, suelo y fertirriego de la UNALM antes de iniciar el proceso de tratamiento con el fin de identificar los siguientes parámetros:

1. Textura
2. Humedad Relativa.
3. Materia Orgánica
4. Conductividad Eléctrica.

- Crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus*

Se analizó el crecimiento del hongo *P. ostreatus* durante la incubación, cada 3 y 4 días, con el uso de una regla y un marcador.

- Medición de pH

Se realizó la medición del pH al inicio y al final (14avo día) del tratamiento, en el laboratorio de Química General de la UNTELS, a través de la siguiente metodología (Zegarra, 2017):

1. Se secó 2 gr de muestra en estufa a 150 °C por 2 horas

2. Se le agrego 20 ml de agua destilada en un vaso precipitado de 50 ml
3. La muestra fue agitada por 20 minutos mediante un agitador magnético a 250 de revolución
4. Luego se procedió a utilizar el pHmetro, para realizar las lecturas correspondientes.

- Análisis de cadmio en suelo.

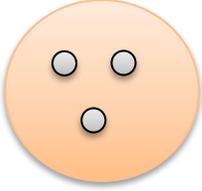
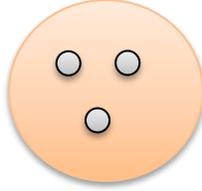
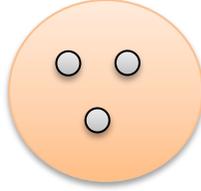
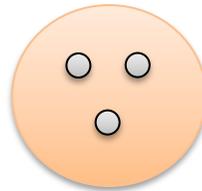
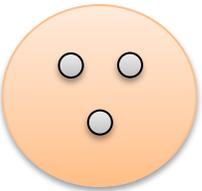
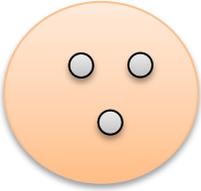
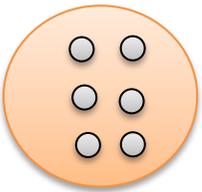
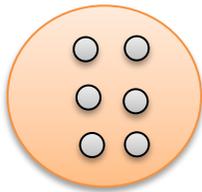
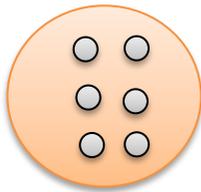
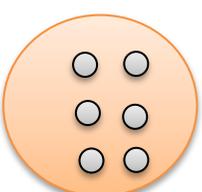
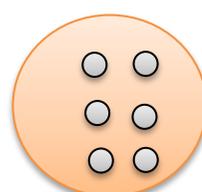
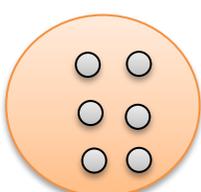
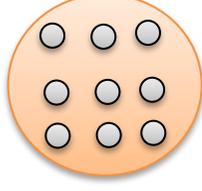
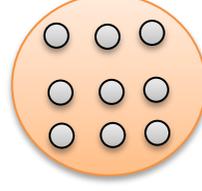
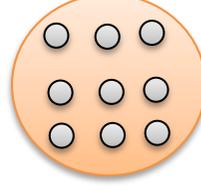
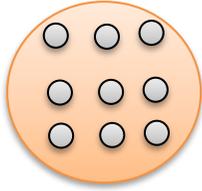
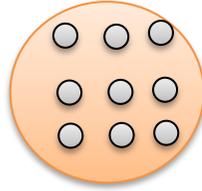
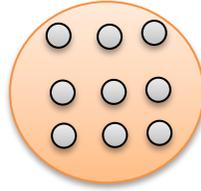
El análisis de disminución de cadmio en los suelos contaminados se realizó en el laboratorio de análisis de agua, suelo y fertirriego de la UNALM, para el 7mo y el 14avo día, donde se utilizó el método de digestión acida.

f. Proceso de recolección de datos.

El análisis estadístico que se utilizó para los resultados obtenidos se llevó a cabo a través del programa estadístico minitab statistical y Microsoft Excel de la siguiente manera:

1. Se analizó el grado de variación a través de la prueba estadística Análisis de Varianza (ANOVA) de dos factores para los 5 tratamientos a través del uso del programa minitab statistical.
- 2 Se utilizó la prueba de análisis Tukey: para para saber si existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos a través del uso del programa minitab statistical.
- 3 Se utilizó el software Microsoft Excel para representar los datos mediante tablas para obtener un consolidado de datos gráficos de barra y poder verificar la variación de los datos.

Tabla 4 Tratamientos del hongo *Pleurotus ostreatus*.

	Prueba Testigo	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4	Tratamiento 5
	3, 6 y 9 und de trigo sin <i>P. ostreatus</i>	3, 6 y 9 und de trigo con <i>P. ostreatus</i>	3, 6 y 9 und de trigo con <i>P. ostreatus</i>	3, 6 y 9 und de trigo con <i>P. ostreatus</i>	3, 6 y 9 und de trigo con <i>P. ostreatus</i>	3, 6 y 9 und de trigo con <i>P. ostreatus</i>
						
30 gr de tierra contaminada + inóculo primario + 3 gr de paja						
						

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Resultados

3.2.1 Cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus*

El cultivo del hongo *P. ostreatus* en agar papa dextrosa tuvo una duración de 9 días, su crecimiento micelial en la placa petri no fue constante, debido a que el desarrollo del hongo, en las mediciones que se realizaron, presento valores que fueron cambiando con el pasar de los días.

En la tabla 5 se presentan los valores de crecimiento micelial del hongo *P. ostreatus*.

Tabla 5 Crecimiento micelial del hongo *Pleurotus ostreatus*.

Días	Diámetro	Unidad
1	0.70	cm
2	0.60	cm
3	0.90	cm
4	0.50	cm
5	0.70	cm
6	1.50	cm
7	0.80	cm
8	0.90	cm
9	0.50	cm

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 4 se presenta la gráfica del crecimiento micelial del hongo *P. ostreatus*, observándose que el mayor crecimiento, se obtuvo en el día 6, a su vez los días 4 y 9 presentaron los valores de crecimiento más bajos en su desarrollo.

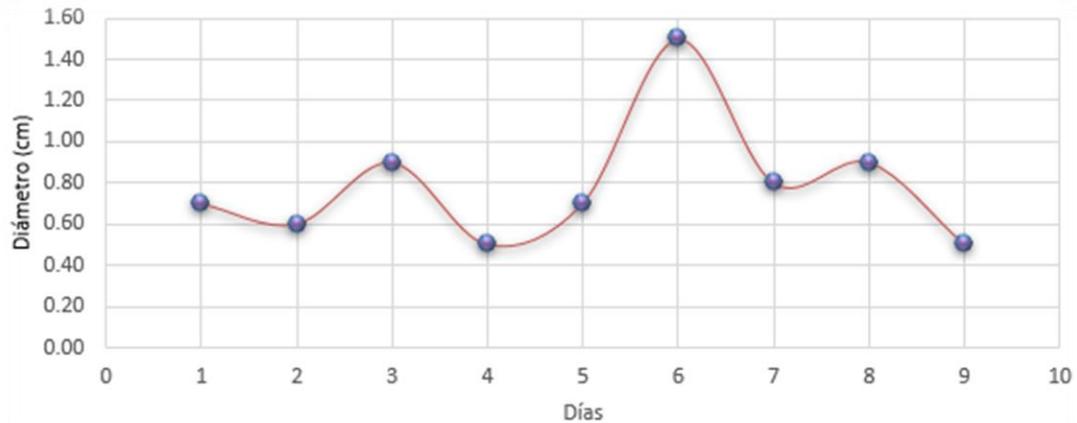


Figura 4. Crecimiento micelial del hongo *Pleurotus ostreatus*.

3.2.2 Caracterización del suelo

Se realizó una caracterización de suelo en el laboratorio de análisis de agua, suelo y fertirriego de la UNALM, para saber cuáles eran las características que poseía el suelo estando contaminado y bajo qué condiciones estaba creciendo el inóculo primario del hongo *P. ostreatus*. En la tabla 6 se presenta los resultados de la caracterización de suelo.

Tabla 6 *Parámetros de caracterización del suelo*

Parámetros	Indicadores	Unidad de medida	Resultados	Valoración
Físicos	Textura	-	Franco-Arenoso	Moderado
	T°	C°	25	Óptimo
	Hr	%	60	Óptimo
	Hgr	%	10	Óptimo
	Mo	%	1.23	Bajo
Químicos	pH	----	6.76	Regular
	CE	dS/m	1.08	Óptimo

Fuente: Laboratorio de análisis de, agua, suelo y fertirriego (UNALM).

El análisis de textura indicó que el suelo posee un contenido alto de arena, en menor cantidad de arcilla, con una permeabilidad moderadamente a moderadamente rápida y textura de grano fina a media, esto se vio reflejado al momento de aplicar la solución de Nitrato de cadmio, el suelo absorbió de manera moderada el líquido, evitando problemas de saturación. A continuación, se analizaron los siguientes parámetros físicos y químicos para la caracterización de suelo:

- Humedad relativa.

El análisis de humedad gravimétrica para el suelo contaminado en el cual se desarrollaba el inóculo del hongo tuvo un porcentaje de casi 11%, producto de la aplicación de la solución líquida de nitrato de cadmio, pero el ambiente en el cual se desarrollaban tenía una temperatura de 25 C° a una humedad ambiente de 60%, cumpliendo así las características, para lograr un desarrollo óptimo.

- Materia orgánica

El análisis de materia orgánica demostró que el suelo en el cual se estaba desarrollando el hongo *P. ostreatus*, es considerado, en diferentes literaturas como un suelo medianamente pobre, o medio en materia orgánica. Es por ello que se aplicó un sustrato para poder darle las condiciones adecuadas al suelo para un óptimo desarrollo del hongo.

- Conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica del suelo, resultó ser muy favorable, debido a que se encuentra libre de sales, y es por ello que no existe ninguna restricción para algún cultivo, por lo tanto, el hongo se pudo desarrollar, sin ningún problema.

3.2.3 Colonización del hongo *Pleurotus ostreatus* en el suelo contaminado

La colonización del hongo *P. ostreatus* en el suelo tuvo una duración de 14 días realizándose las mediciones de crecimiento cada 3 y 4 días teniendo un total de 4 mediciones en su periodo de tratamiento.

- Primera medición

La primera medición se realizó a los 4 días de iniciado el tratamiento. Las mediciones realizadas a los tratamientos en el día 4 alcanzaron un crecimiento máximo de 0.9 cm y un crecimiento promedio de 0.6 cm, mientras que la prueba de testigo sin contaminación obtuvo valores máximos de 1.5 cm y un crecimiento promedio de 1.1 cm. En la tabla 7 se presenta la colonización de inóculo en el suelo en 3 días.

Tabla 7 Colonización del inóculo en suelo en 3 días.

Tratamientos Realizados	Dosis (ppm)	Tiempo (Días)	Fecha	Granos en placa				Muestra Testigo			Unidad
				3	6	9	Promedio	3	6	9	
T1	2.52	4	10/03/2019	0.9	1.1	0.6	0.9	1.5	1.2	1.1	cm
T2	3.05	4	10/03/2019	0.4	0.5	0.5	0.5				cm
T3	3.52	4	10/03/2019	0.5	0.7	0.8	0.7				cm
T4	6.03	4	10/03/2019	0.6	0.6	0.5	0.6				cm
T5	8.1	4	10/03/2019	0.7	0.6	0.5	0.6				cm

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 5 se muestra la colonización del inóculo en suelo 3 días, para los tratamientos analizados y la prueba testigo.

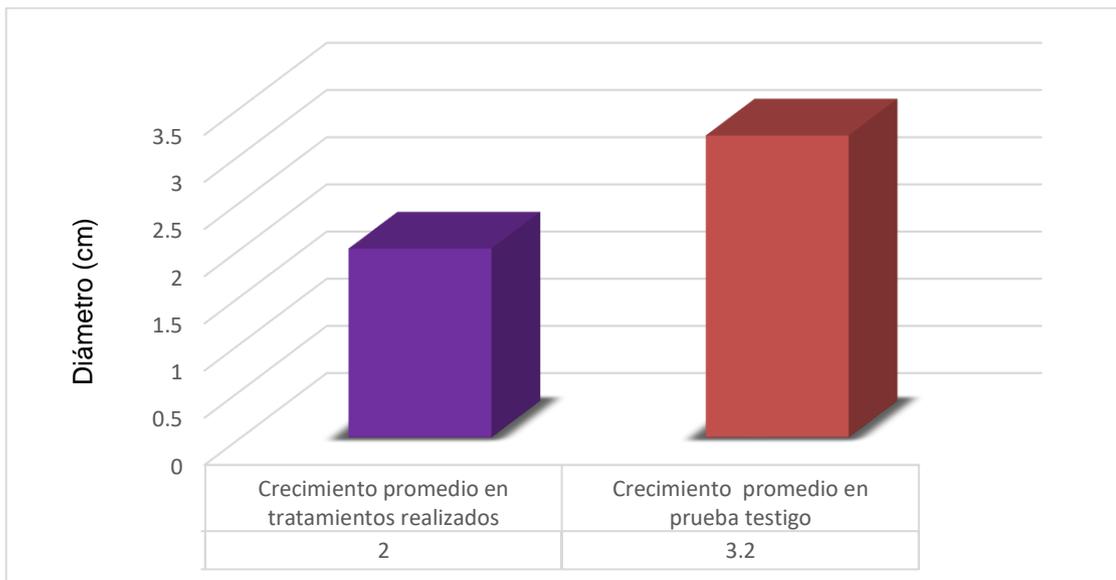


Figura 5. Colonización promedio de inóculo en suelo contaminado en 4 días.

Según la figura 5, se observó una gran diferencia en el crecimiento del hongo *P. ostreatus*, esto se debe a que la prueba testigo no posee contaminación alguna, teniendo un mejor desarrollo en comparación de la muestra contaminada.

- Segunda medición

La segunda medición se realizó a los 7 días del tratamiento. En esta medición se obtuvo un crecimiento máximo de 1.3 cm y un crecimiento promedio de 1.1 cm, a diferencia de la prueba testigo que alcanzó valores de 2.1 cm y un crecimiento promedio de 2.0 cm. En la tabla 8 se presenta la colonización de inóculo en el suelo en 7 días.

Tabla 8 Colonización de inóculo en suelo en 7 días.

Tratamientos Realizados	Dosis (ppm)	Tiempo (Días)	Fecha	Granos en placa				Muestra Testigo			Unidad
				3	6	9	Promedio	3	6	9	
T1	2.52	7	14/03/2019	1.4	1.2	1	1.2	2.1	2.0	1.8	cm
T2	3.05	7	14/03/2019	1.2	1.1	0.9	1.1				cm
T3	3.52	7	14/03/2019	0.9	1.4	1	1.1				cm
T4	6.03	7	14/03/2019	1.4	1.5	0.9	1.3				cm
T5	8.1	7	14/03/2019	1.2	1	0.9	1.0				cm

Fuente: Elaboración propia

En la figura 6 se muestra la colonización del inóculo en suelo en 7 días para los tratamientos y la prueba testigo.

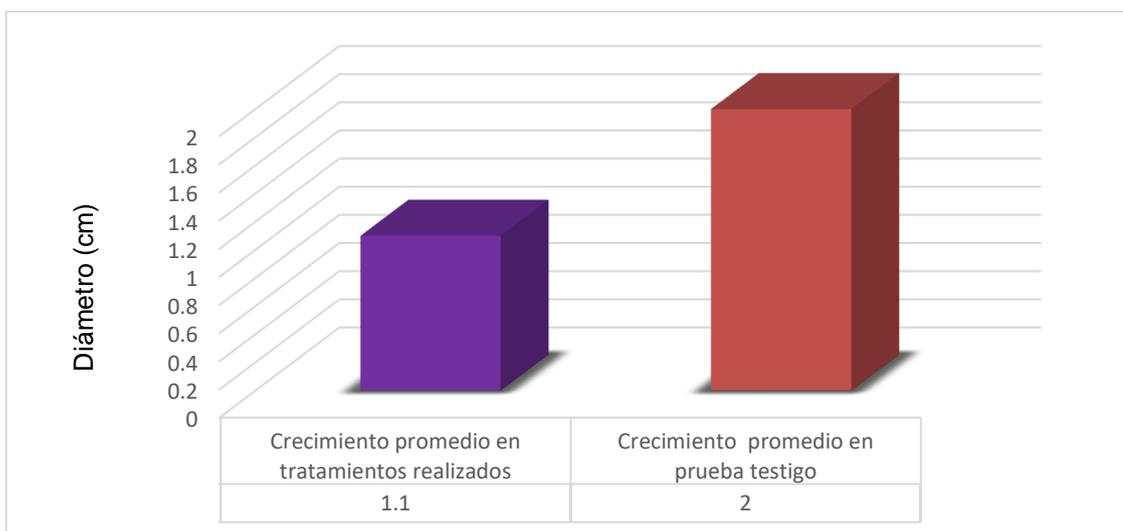


Figura 6. Colonización promedio de inóculo en suelo contaminado en 7 días.

En la figura 6, se observa que la prueba testigo sigue teniendo un mejor desarrollo, alcanzando un crecimiento micelial promedio de 2.0 cm, en comparación de los tratamientos, cuyo valor de crecimiento promedio

alcanzado para el día 7 fue de 1.1 cm, evidencia una gran diferencia de 0.9 cm entre ambos.

Culminado los primeros 7 días de análisis las placas de 3 granos de trigo se mandaron al laboratorio de análisis de suelo, agua y fertirriego, con la finalidad de saber los valores de disminución de cadmio en el suelo contaminado.

- Tercera medición

La tercera medición se realizó en el día 10. Para las placas de 6 y 9 granos de trigo, se vio reflejado un crecimiento máximo de 2.1 cm y un crecimiento promedio de 1.7 cm, estando muy por debajo de la prueba testigo que llegó a valores de 2.8 cm y un crecimiento promedio de 2.7 cm. En la tabla 9 se presenta la colonización del inóculo en 10 días.

Tabla 9 Colonización de inóculo en suelo en 10 días

Tratamientos realizados	Dosis (ppm)	Tiempo (Días)	Fecha	Grano en placas				Muestras Testigo			Unidad	Observaciones
				3	6	9	Promedio	3	6	9		
T1	2.52	10	17/03/2019	-	1.5	1.4	1.5	-	2.8	2.8	cm	Se realizó el primer análisis de 3 semillas
T2	3.05	10	17/03/2019	-	2	2.1	2.1				cm	Se realizó el primer análisis de 3 semillas
T3	3.52	10	17/03/2019	-	1.8	1.6	1.7				cm	Se realizó el primer análisis de 3 semillas
T4	6.03	10	17/03/2019	-	1.8	1.5	1.7				cm	Se realizó el primer análisis de 3 semillas
T5	8.1	10	17/03/2019	-	1.7	1,6	1.7				cm	Se realizó el primer análisis de 3 semillas

Fuente: Elaboración propia

En la figura 7 se muestra la colonización del inóculo en suelo en 10 días para los tratamientos y la prueba testigo.

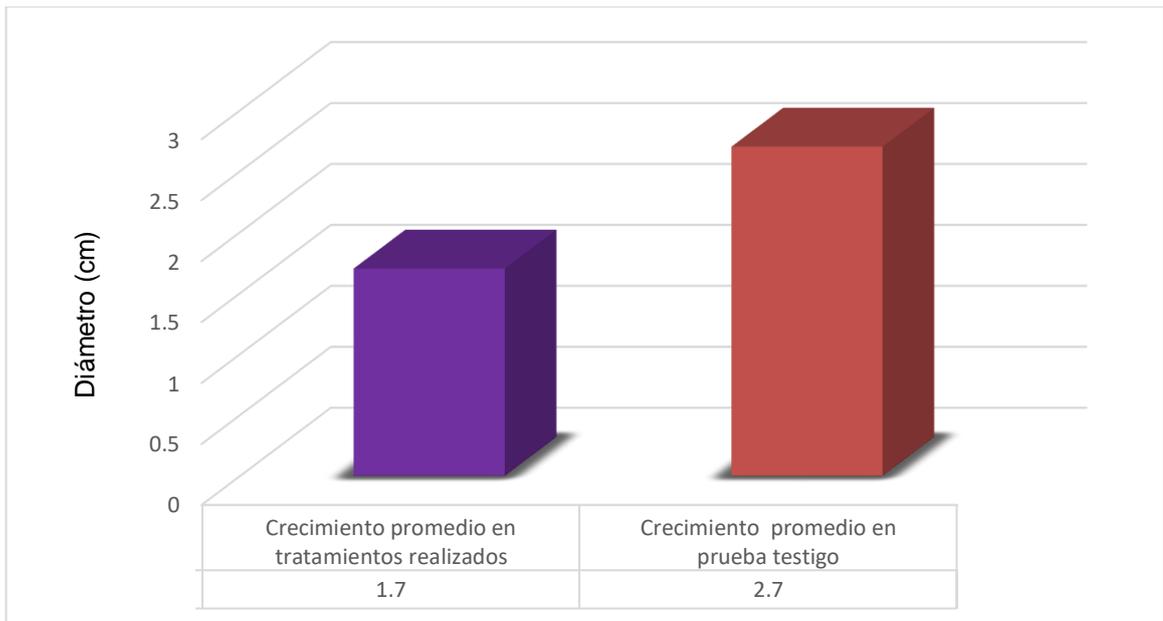


Figura 7. Colonización promedio de inóculo en suelo contaminado en 10 días.

En la figura 7, se observa que la diferencia de crecimiento micelial había reducido, comparado con los días anteriores, evidenciando que la prueba testigo alcanzo un crecimiento micelial promedio de 2.7 cm y los tratamientos realizados alcanzaron un valor de crecimiento micelial promedio de 1.7 cm, existiendo una mínima diferencia de 1.0 cm.

- Cuarta medición

Para finalizar el tiempo de tratamiento se realizó la cuarta y última lectura de crecimiento de micelio de hongo en el suelo contaminado, observando que su máximo crecimiento llego a 2.1 cm con un promedio de 2.0 cm. A su vez se visualizó que el sustrato agregado perdía humedad, esto conlleva a que el hongo tenga reacciones más lentas. Por otra parte, la prueba testigo seguía de manera normal teniendo un crecimiento máximo hasta el día 14 de 3.5 cm y un promedio de 3.2 cm superando por completo a las mediciones hechas en los tratamientos. En la tabla 10 se presenta la colonización del inóculo en 14 días. Cabe resaltar que ningún tratamiento alcanzo mayor crecimiento que el control sin contaminante.

Tabla 10 Colonización de inóculo en suelo en 14 días

Tratamientos realizados	Dosis (ppm)	Tiempo (Días)	Fecha	Grano/placa				Testigo			Unidad
				3	6	9	Promedio	3	6	9	
T1	2.52	14	17/03/2019		2	2	2.0	3.5	3.0	3.0	cm
T2	3.05	14	17/03/2019		2.1	2.1	2.1				cm
T3	3.52	14	17/03/2019		1.8	1.6	1.7				cm
T4	6.03	14	17/03/2019		2.1	2	2.1				cm
T5	8.1	14	17/03/2019		2	2	2.0				cm

Fuente: Elaboración propia

En la figura 8 se muestra la colonización final del inóculo en suelo en 14 días.

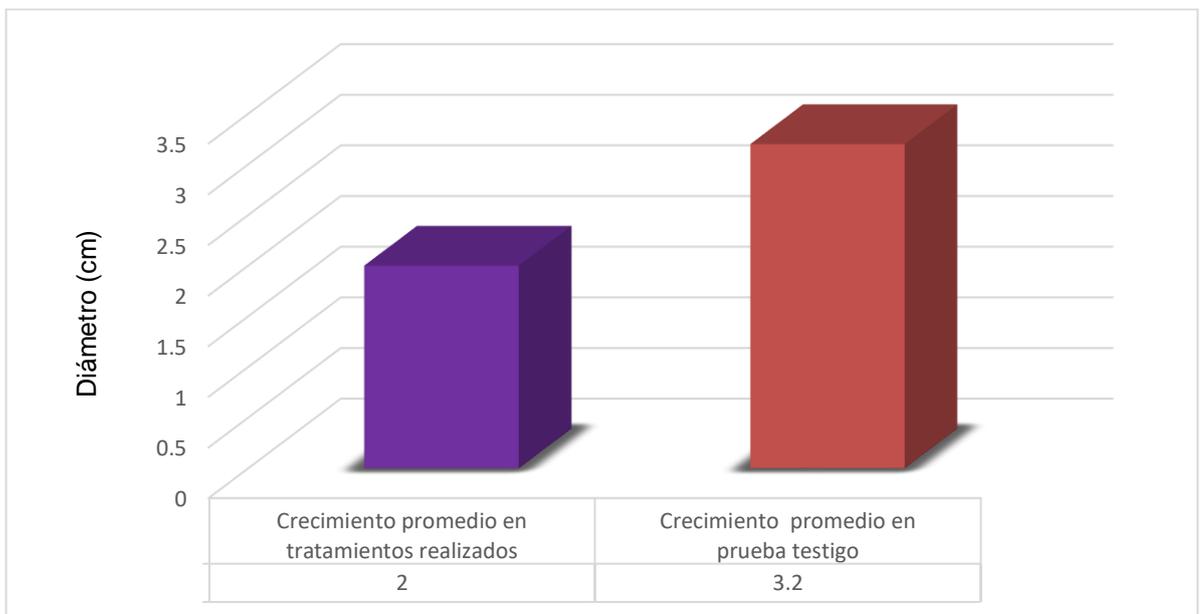


Figura 8. Colonización promedio de inóculo en suelo contaminado en 14 días.

En la figura 8, se observó que los tratamientos realizados para el día 14 tuvieron un crecimiento micelial promedio de 2.0 cm, en comparación a la prueba testigo que logró un valor de crecimiento micelial promedio de 3.2 cm para el día 14, evidenciando que ya existe una gran diferencia de 1.2 cm.

- Comparación final de crecimiento micelial tratamientos vs muestra testigo.

En la figura 9 se muestra el crecimiento final del hongo durante 14 días.

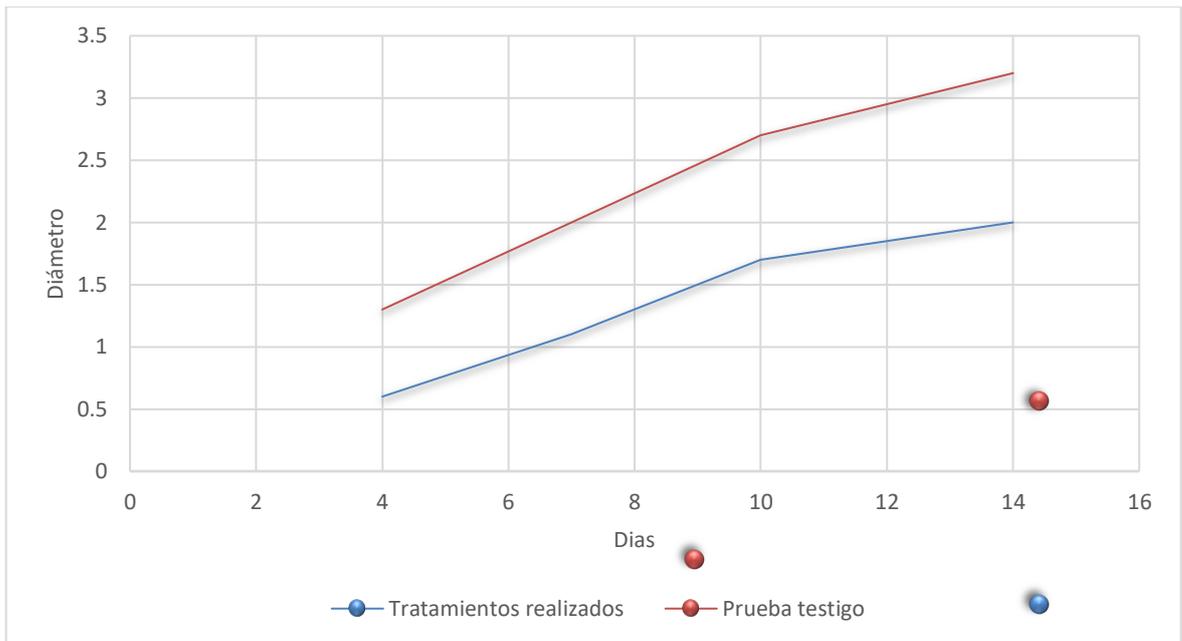


Figura 9. Crecimiento promedio del hongo *Pleurotus ostreatus* durante 14 días

En la figura 9 se muestra una comparación del crecimiento del hongo *P. ostreatus* entre los tratamientos y la prueba testigo durante 14 días, observándose que la prueba testigo alcanzó valores mínimos de crecimiento promedio de 1.3 cm y valores máximos de crecimiento de 3.2 cm, a su vez los tratamientos alcanzaron valores mínimos de crecimiento promedio de 0.6 cm y valores máximos de crecimiento de 2.0 cm.

Para evaluar la significancia del crecimiento y determinar su eficiencia, se utilizó el análisis de varianza (ANOVA). Asimismo, para comparar las medias entre los tratamientos y saber si existen diferencias significativas entre las medias de los crecimientos se utilizó la prueba Tukey. Para realizar los análisis estadísticos mencionados se utilizó el programa Minitab statistical.

3.2.4 Análisis de datos para crecimiento de micelio

Se analizaron las diferencias significativas entre el crecimiento del micelio del hongo *P. ostreatus* de los tratamientos propuestos en el presente trabajo académico a través del uso de la prueba estadística Análisis de varianza (ANOVA) de dos factores (tratamientos y días) y un nivel de significancia al 5%.

En la tabla 11 se observa los valores de crecimiento del micelio del hongo *P. ostreatus* para cada tratamiento propuesto, estos valores serán introducidos en el programa estadístico minitab statisticals, para realizar su análisis de varianza.

Tabla 11 Crecimiento del micelio del hongo *Pleurotus ostreatus*.

Tratamientos realizados	Crecimiento/Días			
	4	7	10	14
T1	0.9	1.2	1.5	2
T2	0.5	1.1	2.1	2.1
T3	0.7	1.1	1.7	1.7
T4	0.6	1.3	1.7	2.1
T5	0.3	1	1.7	2

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12 se muestra el análisis de varianza, para las variables tratamientos y días, obtenido a través del uso del programa minitab statisticals. Para realizar el análisis correspondiente una vez obtenido los valores estadísticos.

Tabla 12 Análisis de varianza

Análisis de varianza						
Factor	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F _c	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamiento	0.118	4.000	0.030	0.820	0.539	3.490
Días	5.774	3.000	1.925	53.210	0.000	3.259
Error	0.434	12.000	0.036			
Total	6.326	19.000				

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13 se muestra las condiciones estadísticas que se aplicaron para realizar el análisis de la prueba de tukey.

Tabla 13 Condiciones estadísticas.

VARIABLES	HIPÓTESIS	CONDICIÓN
H_0 (Hipótesis nula)	Todas las medias son iguales $U_1=U_2=U_3=U_4$	Si $F_c < F$, Se aceptará la H_0
H_1 (Hipótesis alternativa)	No todas las medias son iguales $U_1 \neq U_2 \neq U_3 \neq U_4$	Si $F_c > F$, Se aceptará la H_1

Fuente: Elaboración propia

Respecto al factor "Tratamiento", los valores obtenidos en la tabla 13 presentaron que la F_c es menor que la F ($0.82 < 3.490$), por tanto, la hipótesis

nula es aprobada, siendo así que las medias de crecimiento con respecto a los tratamientos son iguales.

Respecto al factor “Días”, los valores obtenidos en la tabla 13 presentaron que la F_c es mayor que la F ($53.2 > 3.259$), por tanto, se rechaza la hipótesis nula, existiendo medias diferentes, es por ello que es importante conocer en que grupos se dieron las diferencias de crecimiento con respecto a los días, ya que al menos una media de crecimiento con respecto a los días es diferente.

Para ello se utilizó la prueba Tukey para encontrar las diferencias significativas entre grupo de medias.

En la tabla 14 se muestra la información agrupada para el método tukey obtenida mediante el programa minitab statisticals. En donde se evaluará las condiciones correspondientes:

Tabla 14 Información agrupada método tukey a un nivel de confianza de 95%.

Días	N	Media	Agrupación	
14	5	1.98	A	
10	5	1.74	A	
7	5	1.14		B
4	5	0.6		C

Fuente: Elaboración propia

Si dos medias comparten una letra entre si significa que sus medias son bastantes parecidas y que no existe diferencias significativas entre ellas. Ahora para detectar las diferencias significativas entre medias estas no deben compartir una misma letra, es decir deben ser independientes.

Se observa que las medias de los días 14 y 10 comparten la letra A, teniendo medias de 1.98 cm y 1.74 cm, bastantes parecidas. Caso contrario ocurre con las medias en comparación de los días 14 y 7, 10 y 7, 7 y 4, 14 y 4, y 10 y 4, cuyas medias no comparten una misma letra, detectando así las diferencias entre las medias. A su vez se observa que el mayor crecimiento se dio en el día 14 con un promedio de 1.98 cm.

En la figura 10 se muestra los intervalos de crecimiento del desarrollo del hongo en función de los días para sus respectivas medias calculadas.

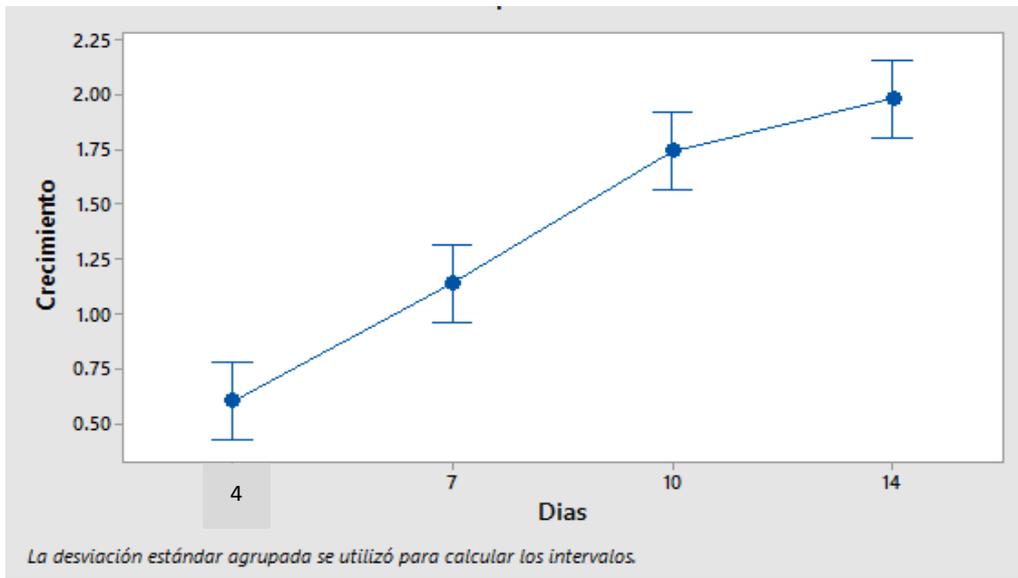


Figura 10. Intervalo de crecimiento al 95% (crecimiento vs días)

Se observa en la figura 10 que los intervalos de crecimiento al 95% para las variables crecimiento y días fueron de forma progresiva, obteniendo una media máxima de 2.0 cm para el día 14 y una media mínima de 0.6 cm para el día 4.

En la tabla 15 se muestra la significancia estadística que existe entre las medias de las variables días.

Tabla 15 Significancia estadística entre los niveles de factor día

Días	14	10	7
14			
10	0.24		
7	0.84	0.34	
4	1.38	1,14	0.54

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la mayor diferencia significativa se dio en las medias de los días 4 y 14, evidenciando que el crecimiento micelial fue en aumento durante los 14 días, la menor diferencia significativa se dio entre los días 10 y 14,

donde se evidencio que el crecimiento del micelio permaneci6 casi constante durante 4 d1as.

3.2.5 Disminuci6n de cadmio en el suelo

La colonizaci6n del hongo *P. ostreatus* en el suelo tuvo una duraci6n de 14 d1as, realiz6ndose dos an6lisis cada 7 d1as. Se observ6 en el primer an6lisis, que el tratamiento numero 1 no tuvo una disminuci6n alguna, caso contrario a los dem6s tratamientos, donde s1 se observ6 disminuci6n de cadmio, siendo los mayores tratamientos el n6mero 2 y 3 disminuyendo en casi 1 ppm con respecto al tratamiento inicial, a pesar que el crecimiento micelial en los tratamientos 2 y 3 no fue el mejor posible. Los tratamientos 4 y 5 disminuyeron en 0.5 ppm con respecto al tratamiento inicial, siendo menos efectivos, a pesar del buen crecimiento del micelio. En la tabla 16 se muestra los an6lisis de disminuci6n de cadmio en el suelo.

Tabla 16 Análisis de disminución de cadmio en el suelo

Tipo de Envase	Tiempo (Días)	Dosis Analizada (Blanco) (ppm)	Primer Análisis (Fecha)	Grano (ppm)	pH	Segundo Análisis (Fecha)	Tiempo (Días)	Grano(ppm)		Disminución promedio (ppm)	Cantidad de Disminución (ppm)	Porcentaje de disminución (%)	pH promedio	Humedad Relativa
				3				6	9					
Bolsa de polietileno Alta densidad	7	2.52	22/03/2019	2.52	6.76	03/04/2019	14	2.5	2.4	2.47	0.05	1.85	6.20	60%
Bolsa de polietileno Alta densidad	7	3.05	22/03/2019	2.03	6.76	03/04/2019	14	2.84	2.81	2.56	0.49	16.07	6.00	60%
Bolsa de polietileno Alta densidad	7	3.53	22/03/2019	2.55	6.76	03/04/2019	14	3.06	2.04	2.55	0.98	27.76	5.90	60%
Bolsa de polietileno Alta densidad	7	6.03	22/03/2019	5.55	6.76	03/04/2019	14	6.4	6.03	5.99	0.04	3.015	6.30	60%
Bolsa de polietileno Alta densidad	7	8.1	22/03/2019	7.51	6.76	03/04/2019	14	4.12	4.37	5.33	2.77	34.16	5.30	60%

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el análisis de disminución de cadmio correspondiente para cada tratamiento.

- Tratamiento 1

En la figura 11 se presenta la disminución de cadmio en el tratamiento 1

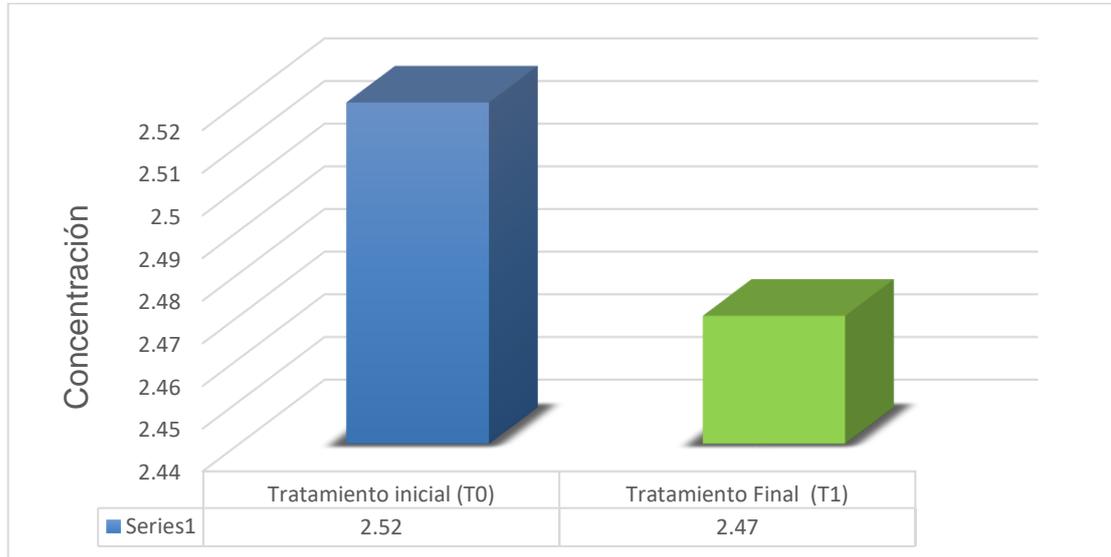


Figura 11. Disminución de cadmio en el tratamiento número 1.

Culminado los 14 días de tratamiento, y realizado el segundo análisis se observó que el tratamiento número 1, logro tener una disminución promedio de 2.47 ppm en comparación a los 2.52 ppm que poseía la muestra inicial, es decir redujo 0.05 ppm (2 %) en 14 días.

- Tratamiento 2

En la figura 12 se presenta la disminución de cadmio en el tratamiento 2.

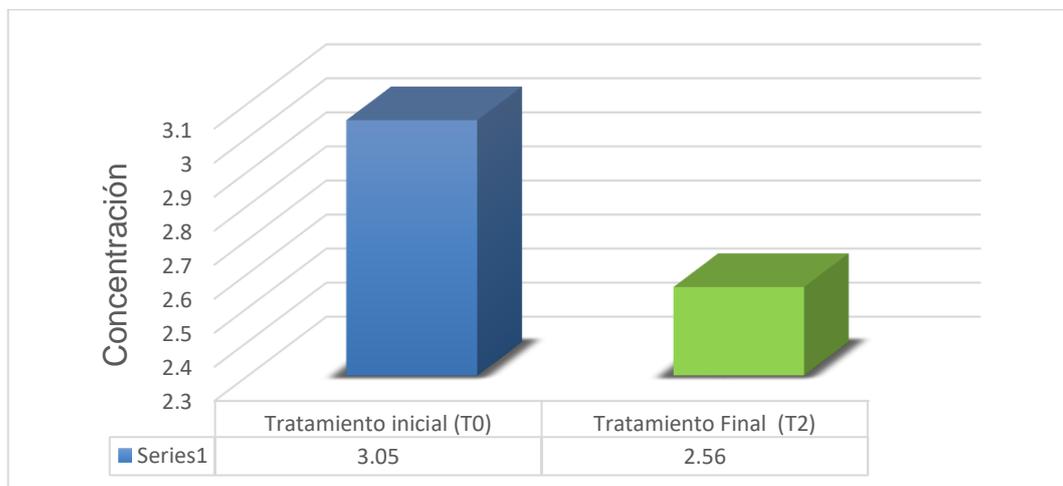


Figura 12. Disminución de cadmio en el tratamiento número 2.

El segundo tratamiento tuvo una disminución promedio de 2.56 ppm, comparado a los 3.05 ppm de la dosis inicial, es decir la cantidad disminuida fue de 0.49 ppm (16 %), siendo más efectivo que el primer tratamiento.

- Tratamiento 3

En la figura 13 se presenta la disminución de cadmio en el tratamiento 3

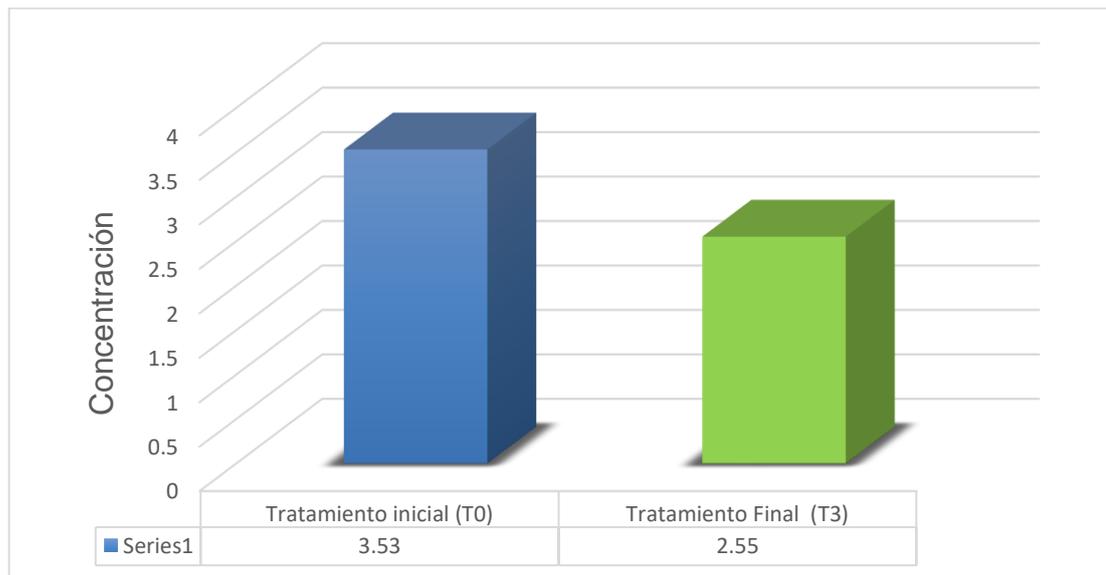


Figura 13. Disminución de cadmio en el Tratamiento número 3.

El tratamiento número 3 tuvo una disminución promedio de 2.55 ppm, comparado a los 3.53 ppm de la dosis inicial, es decir la cantidad disminuida fue de 0.98 ppm (27.76 %), siendo más efectivo que el primer y segundo tratamiento. En la figura 14 se muestra la disminución de cadmio en el tratamiento número 3.

- Tratamiento 4

En la figura 14 se presenta la disminución de cadmio en el tratamiento 4

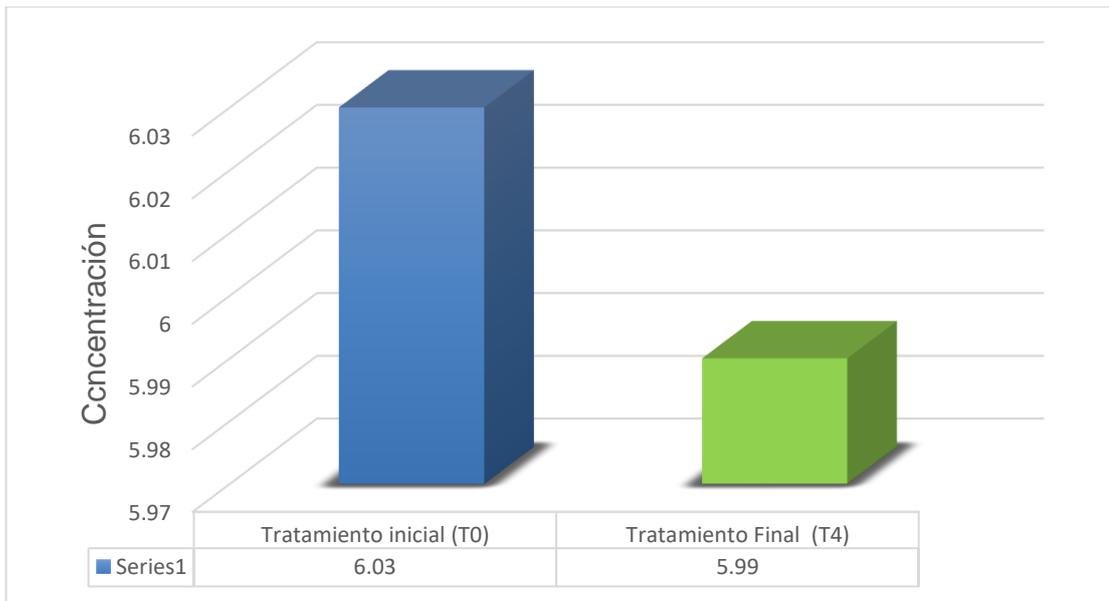


Figura 14. Disminución de cadmio en el tratamiento número 4.

El tratamiento número 4 fue uno de los más bajos respecto a la disminución de cadmio, se presencié un dato anómalo en el análisis registrando un valor de 6.40 ppm, que sobrepasa a la concentración inicial de 6.03 ppm, esto influye en el promedio de disminución total para los 3 tratamientos, debido a que se tuvo que inicialmente había logrado una buena disminución de cadmio. La disminución promedio fue de 0.04 ppm con un porcentaje muy bajo de (0.6 %).

- Tratamiento 5

En la figura 15 se muestra la disminución de cadmio en el tratamiento número 5.

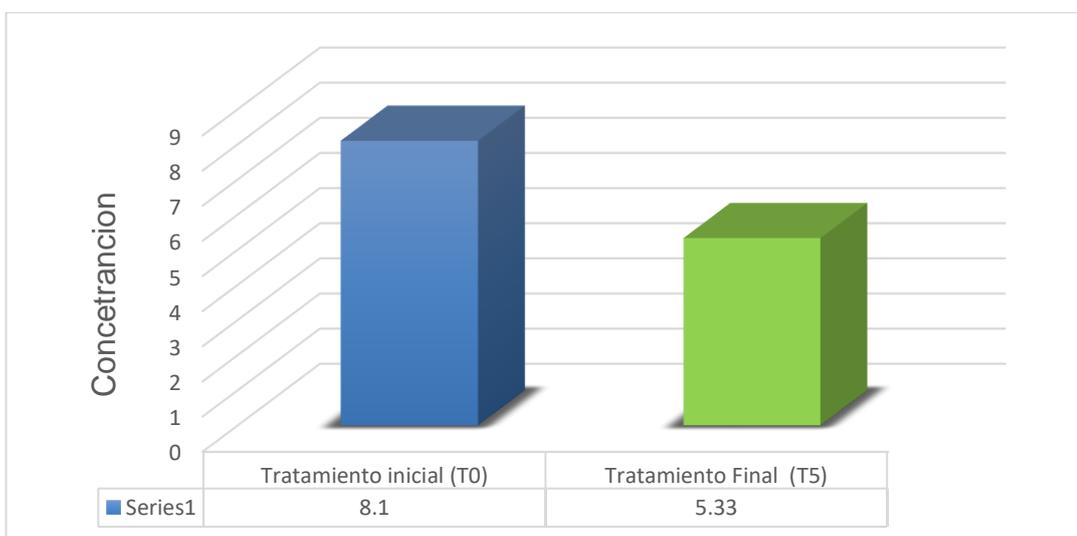


Figura 15. Disminución de cadmio en el tratamiento número 5.

El quinto tratamiento con las semillas de hongo tuvo una disminución promedio de 5.3 ppm, comparado a los 8.10 ppm de la dosis inicial, es decir la cantidad disminuida fue de 2.77 ppm (34.16 %) siendo este el tratamiento más efectivo para la disminución de cadmio.

- Análisis general de disminución de cadmio en el suelo

En la figura 16 se presenta la disminución de cadmio en los 5 tratamientos del presente trabajo académico.

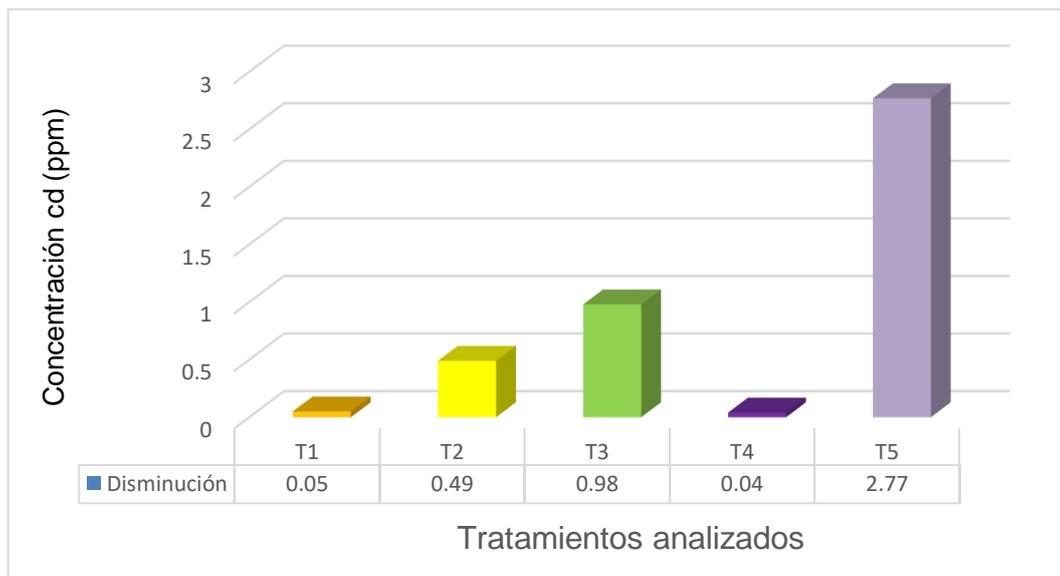


Figura 16. Disminución de cadmio en el suelo.

En la figura 16 se muestra los valores respectivos de disminución de cadmio para los 5 tratamientos analizados, observando que el tratamiento número 5 obtuvo la mejor disminución de cadmio con un valor de 2.77 ppm, siendo este muy superior, respecto a los tratamientos restantes que obtuvieron valores muy por debajo del tratamiento número 5.

En la figura 17 se muestra la comparación final de la disminución de cadmio en los suelos para los 5 tratamientos en 14 días.

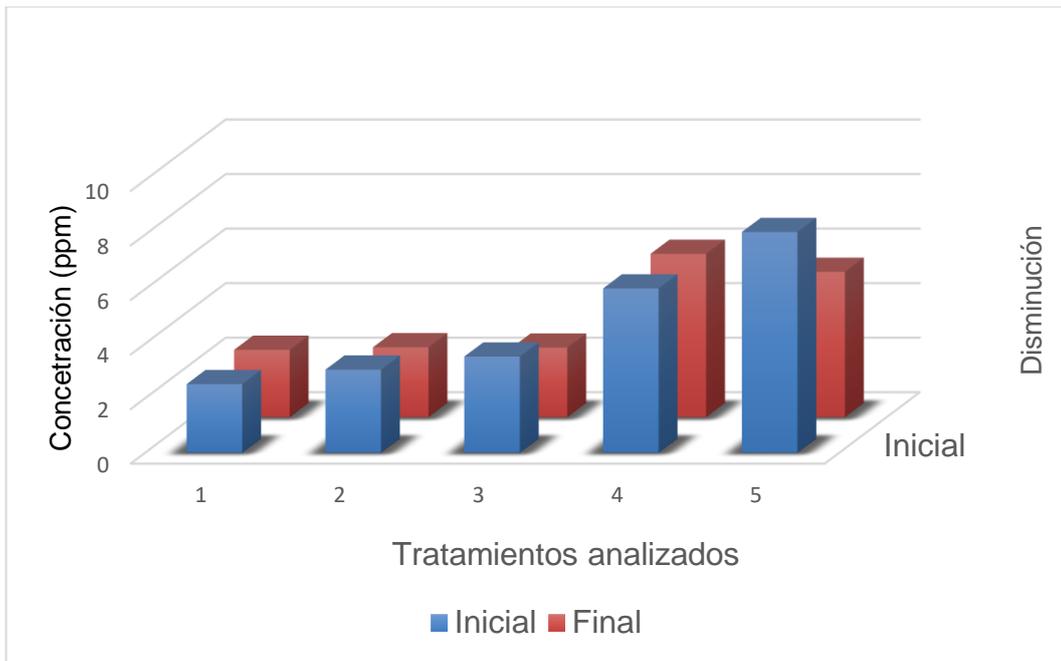


Figura 17. Comparación final de la disminución de cadmio en los suelos contaminados.

La figura 17, muestra las comparaciones finales de la disminución de cadmio para cada tratamiento, observándose que el tratamiento número 5 presento la mejor disminución de cadmio, seguido por el tratamiento número 3, estos tratamientos fueron muy superiores a los tratamientos número 1, 2 y 4, cuya disminución de cadmio no fue muy efectiva.

En la figura 18 se muestra los porcentajes respectivos de disminución de cadmio para los 5 tratamientos analizados.

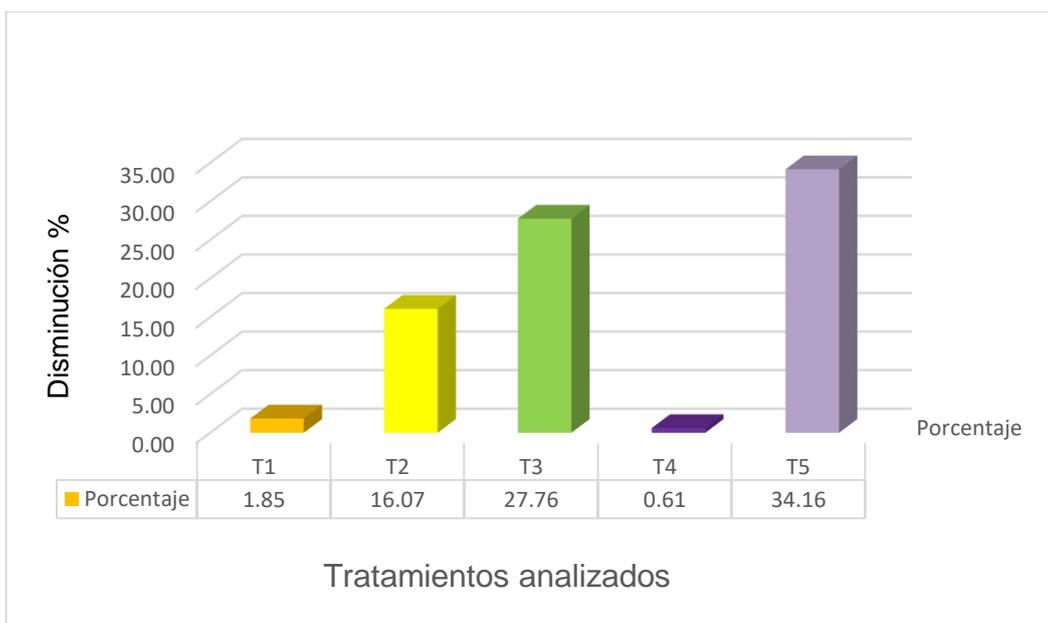


Figura 18. Porcentaje de disminución de cadmio en el suelo.

En la figura 18 se observó que el tratamiento número 5 obtuvo un porcentaje de disminución de 34.16 %, seguido por el tratamiento número 3 con un porcentaje de disminución de 27.76 %, estos tratamientos fueron muy superiores a los tratamientos número 1, 2 y 4, cuyo porcentaje de disminución de cadmio no alcanzo valores de 20%.

3.2.6 Análisis de datos para la disminución de cadmio en el suelo.

Para la evaluación de la significancia de los tratamientos y determinar su eficiencia, se utilizó el análisis de varianza (ANOVA). Asimismo, para comparar las medias entre los tratamientos y determinar sus diferencias significativas se utilizó la prueba Tukey.

En la tabla 17 se muestra los valores de disminución de cadmio en el suelo para los distintos tratamientos, estos valores serán introducidos en el programa minitab statistical.

Tabla 17 Crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus*.

Tratamientos realizados	Disminución de cadmio (ppm)		
	7 días	14 días	
	3 semillas	6 semillas	9 semillas
T1	2.52	2.5	2.4
T2	2.03	2.84	2.81
T3	2.55	3.06	2.04
T4	5.55	6.4	6.03
T5	7.51	4.12	4.37

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 19 se muestra el análisis de varianza, para los factores tratamientos y días, obtenido a través del uso del programa minitab statistical.

Tabla 18 Análisis de varianza

Análisis de Varianza						
Factor	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	36.061	4	9.015	9.220	0.004	3.840
Colonización	0.630	2	0.315	0.32	0.734	4.45
Error	7.822	8	0.9777			
<i>Total</i>	<i>44.513</i>	<i>14</i>				

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el análisis correspondiente una vez obtenido los valores estadísticos, se aplicarán las condiciones que se muestran en la tabla 14.

Respecto al factor de “Colonización”, se cumple que $F_c < F_{cr}$ ($0.32 < 4.45$), por ende, la hipótesis nula es aprobada, siendo así que las medias de todas las colonizaciones son iguales. No es necesario encontrar diferencias significativas.

Respecto al factor “Tratamiento”, se cumple que $F_c > F_{cr}$ ($9.220 > 3.840$), por ende, se rechaza la hipótesis nula, existiendo medias diferentes, es por ello que es importante conocer en que grupos se dieron las diferencias de tratamientos, ya que al menos una media de tratamiento con respecto a la disminución de cadmio es diferente.

Para ello pasaremos a la prueba Tukey para encontrar las diferencias significativas entre grupo de medias.

En la tabla 21 se muestra la información agrupada para el método tukey obtenida mediante el programa minitab statistical.

Tabla 19 Información agrupada método tukey a una confianza de 95%.

Tratamientos	N	Media	Agrupación	
T5	3	5.33	A	-
T3	3	2.55	-	B
T2	3	2.56	-	B
T1	3	2.47	-	B
T4	3	5.99	A	-

Fuente: Minitab statistical

Se obtuvo que los tratamientos son significativos, influyendo positivamente al someter los tratamientos a la prueba tukey, se encontró que el tratamiento número 5 es mejor que el tratamiento número 3, seguidos por el tratamiento número 2, número 1 y el tratamiento número 4 cuya media es afectada por el valor anómalo obtenido en el 2do análisis de disminución de cadmio. Lo que significa que el mejor promedio de disminución de cadmio para los tratamientos es de 5.33 ppm, respecto a los 8.10 ppm que poseía inicialmente.

En la tabla 22 se muestra la significancia estadística que existe entre las medias de las variables tratamientos.

Tabla 20 Significancia estadística entre las medias de los tratamientos

Tratamientos	T5	T4	T3	T2	T1
T5		0.66			
T4					3.252
T3	2.78	3.44		0.01	
T2	2.77	3.43			
T1	2.86		0.08	0.09	

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la mayor diferencia significativa se dio en la media de los tratamientos número 5 y 1, evidenciando que existe una gran diferencia de disminución de cadmio en 14 días, la menor diferencia significativa se dio entre los tratamientos número 3 y 2, que obtuvieron una disminución de cadmio muy pareja, pero inferior al tratamiento número 5. No se tomó en cuenta la diferencia significativa del tratamiento número 4 debido a que el resultado anómalo obtenido podría alterar la estadística realizada.

En la figura 19 se muestra los intervalos de disminución de cadmio en el suelo.

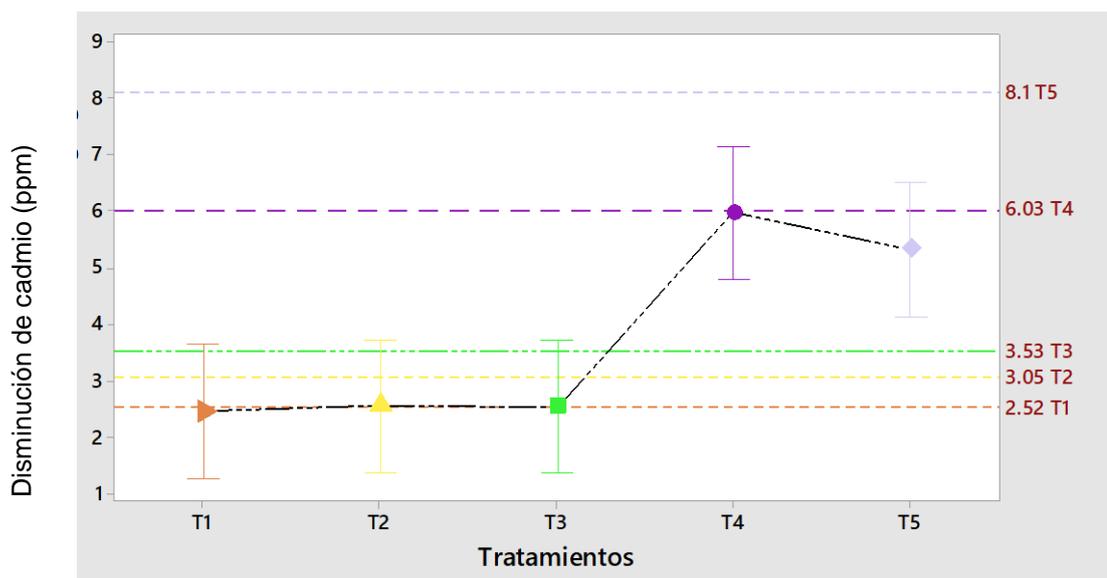


Figura 19. Intervalos de disminución de cadmio.

En la figura 19, se observa que la mayor reducción de cadmio en el suelo se dio en el tratamiento número 5, reflejándose una mayor diferencia entre la línea

de referencia y el punto correspondiente a su promedio de disminución. Se aprecia que los tratamientos menos efectivos fueron el tratamiento número 4 y el tratamiento número 1.

3.2.7 Análisis de pH en el suelo.

Para un adecuado crecimiento del hongo *P. ostreatus* se han citados rangos de pH (4-7) en los cuales puede tener un óptimo desarrollo e influir en la disminución de cadmio, en los tratamientos analizados, se obtuvo resultados congruentes con la disminución de cadmio, logrando obtener un valor de pH de hasta 5.30, siendo este un valor muy adecuado para lograr un buen tratamiento.

En la figura 20 se observa el pH inicial para los suelos contaminados con cadmio.

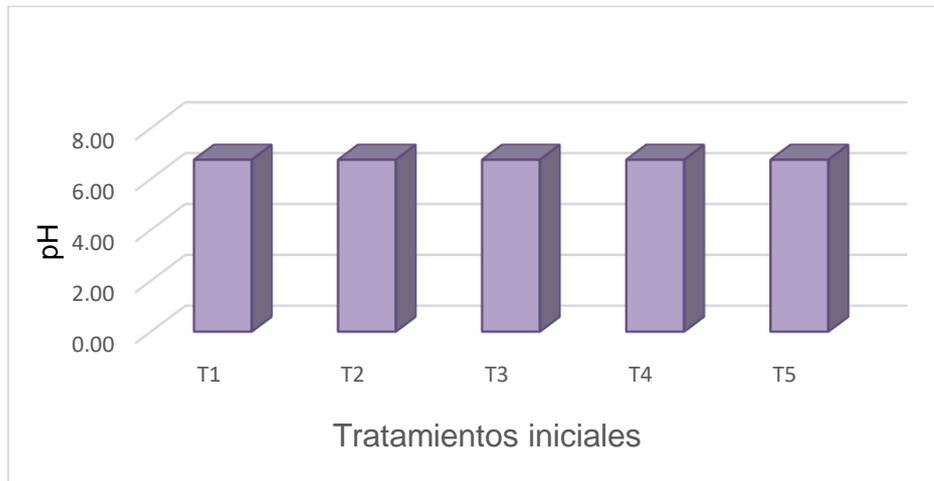


Figura 20. pH inicial del tratamiento.

En la figura 20 se muestra que el pH inicial de los suelos contaminado con cadmio para los 5 tratamientos empleados fue de 6.76.

En la figura 21 se muestra el pH final de los suelos contaminados con cadmio.

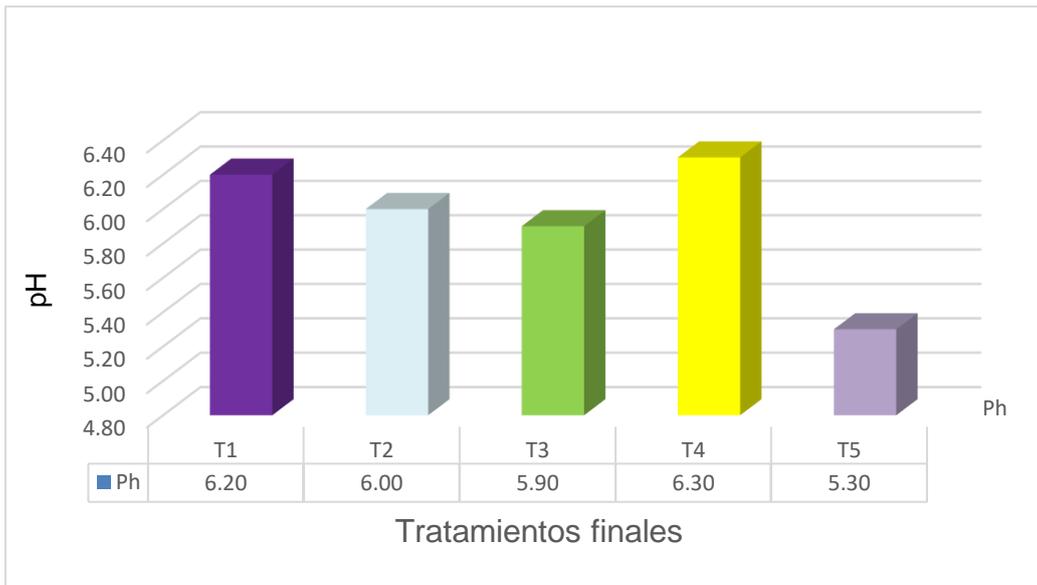


Figura 21. pH final de tratamientos con suelo contaminados con cadmio.

En la figura 21 se muestra los valores de pH culminado los 14 días de tratamiento en los suelos contaminados con cadmio, observando que el tratamiento número 5 obtuvo el mejor pH (5.30), a su vez los tratamientos número 4 y 1 obtuvieron valores de pH muy altos que impidió que el hongo se desarrolle de la mejor manera y obtenga una mejor disminución de cadmio en el suelo.

CONCLUSIONES

Se logro determinar que el hongo *P. ostreatus* tiene la capacidad de reducir el ph del suelo a 5.30 y mantener la humedad gravimétrica del suelo en 11%, con la finalidad de lograr un ambiente adecuado para su desarrollo y una mejor eficiencia en la disminución de cadmio en el suelo (34%).

Se logro obtener valores de cadmio en los suelos tratados y no tratados (> 3 ppm) superiores a las concentraciones que se encuentran en el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM (<1.4 ppm), evidenciando que existe una severa contaminación, en las muestras creadas para realizar los tratamientos.

Se determinó que el hongo *P. ostreatus* tiene la característica de poseer un micelio de una tonalidad blanquecina, que logra expandirse por todo el sustrato (paja) que contiene el suelo contaminado con cadmio, a través de sus hifas penetra el suelo contaminando, logrando así la disminución del cadmio.

Se logro determinar que los tratamientos aplicando el hongo *P. ostreatus*, lograron un porcentaje alto de disminución de 34%, para los suelos contaminados con cadmio a un buen pH (5.30), humedad gravimétrica (11%) y humedad relativa (60%).

RECOMENDACIONES

Experimentar con valores de cadmio superiores a los 8 ppm, para examinar el comportamiento del hongo *P. ostreatus* a concentraciones superiores realizadas en el presente trabajo.

Realizar evaluaciones de descontaminación de suelos contaminados con cadmio a través del uso de distintos hongos de la familia basidiomycetes.

Evaluar la metodología aplicada a mayor escala (medio ambiente natural).

Expandir los tiempos de tratamiento para suelos contaminados con cadmio, utilizados en el presente trabajo académico (15 días).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, M. y Montilla, J. (2011). *Evaluación de la Contaminación por Cadmio y Plomo en agua, suelo, y sedimento y Análisis de impactos ambientales en la subcuenca del río Balsillas afluente del río Bogotá* (Tesis de Pregrado). Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.
- Arenas, S. y Hernández, S. (2012). Fitotoxicidad del Cadmio (Cd) y el Mercurio (Hg) en la especie *Brassica Nigra* (Tesis de Pregrado). Universidad de Medellín. Medellín, Colombia.
- Barragán, M. (2008) Estudio de diferentes metodologías para determinar la biodisponibilidad de cadmio y arsénico en suelos y su relación con la concentración en Plantas. *Científica en Ciencias Biomédicas* 1(1), 35-39. DOI: 10.22490/24629448.394
- Badillo, J. F. (1985) Curso Básico de Toxicología Ambiental. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Veracruz, México.
- Baldrian, P. (2002) Interactions of heavy metals with white-rot fungi. *Enzyme and Microbial Technology* 2(32), 78-91. [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(02\)00245-4](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(02)00245-4)
- Berger, T. (2005). Biorremediação de solos contaminados com Hidrocarbonetos Totais de Petróleo – enfoque na aplicação do processo de Terraferm (Tesis de Doctorado). Departamento de Ecologia, Universidad de Federal Do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre, Brasil.
- Cisterna, C. (2003). Clasificación eco fisiológica de los hongos comestibles. Micotec Ltda. Recuperado de <http://www.micotec.cl/articulos.html>
- Chuquín, C. (2012). Estudio de la viabilidad de crecimiento del hongo *Pleurotus Ostreatus* aplicado en inóculo líquido para uso en biorremediación (Tesis de Pregrado). Escuela superior politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

- Coello, J. (2011). Aplicación del hongo *Pleurotus ostreatus* como alternativa para la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- El peruano (2017). Normas Legales. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, 4
- Epa (2015) "Effluent limitation guidelines for metallic mineral mining (40 cfr part 440). part 440 - ore mining and dressing point source category". publicado el 30 de julio de 1979, corregido el 04 de febrero de 1981. pp. 14. Consulta: 10 de setiembre de 2014.
- Gaitán, H., Salmones, D., Pérez, R. y Mata G. (2006). Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción. Instituto de Ecología. Xalapa, México.
- Gao, D., Yang, J., Wu, W. y Liang, H. (2010). A critical review of the application of white rot fungus to environmental pollution control. *Critical Reviews in Biotechnology* 30(1), 70-77, <https://doi.org/10.3109/07388550903427272>.
- Galán, E. y Romero, A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Revista de la Sociedad española de mineralogía* 1(2),13-16.
- García, I. y Dorronsoro, C. (1999). Contaminación por metales pesados. *Edafología* 16(2), 95-107.
- González, A. (2010). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10 (1): 29-44.
- Gresham, T. (2011). Brief introduction to water and soil pollution. National Geographic. Recuperado de <http://greenliving.nationalgeographic.com/brief-introduction-water-soil-pollution-2137.html>.
- Jeffries, T. W. (1990). Biodegradation of lignin-carbohydrate complexes. *Biodegradation* 7(1),163-176.
- Jiménez, M (2016). Biorremediación con Inóculos de *Pleurotus ostreatus* para recuperar suelos contaminados con metales pesados en La Florida –

- Cajamarca (Tesis de Pregrado). Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Cesar Vallejo. Lima, Perú.
- Maldonado, C. (2008). Tratamiento de aguas residuales de la etapa de curtido con *phanerochaete chrysosporium* hipertolerante a sulfato de cromo (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Javeriana. Programa de postgrado en Microbiología. Bogotá, Colombia.
- Miranda, D. (2008). Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas regados con agua del río Bogotá. *Colombian Journal of Horticultural Science* (2) ISSN 2011-2173.
- Papinutti, V (2003). Degradación de madera de álamo por *Fomes sclerodermeus*: producción de enzimas ligninolíticas en aserrín de álamo y cedro. *Iberoamericana de Micología* 5(20), 16-20.
- Peris, M. (2006). Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón (Tesis de Pregrado). Universidad de Valencia. Valencia, España.
- Pointing, S. B. (2001). Feasibility of bioremediation by white rot fungi. *Microbiol Biotechnol* 8(57), 20-33.
- Rábago, I. (2011). Capacidad de amortiguación de la contaminación por Plomo y Cadmio en suelos de la comunidad de Madrid (Tesis de Pregrado) Universidad Complutense Madrid. Madrid, España.
- Ruiz, L. (2008). Determinación de la capacidad de remoción de cadmio, plomo y níquel por hongos de la podredumbre blanca inmovilizados (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Reid, E. (1989). Utilización de Hongos para degradar Lignina. México.
- Sánchez, J. (2001). Biología y cultivo de *Pleurotus* spp. Uteha–Ecosur. México.
- Schmidt, W. (2000). Suelos contaminados con Hidrocarburos: la biorremediación como una solución ecológicamente compatible. Cooperación Técnica Alemana (GTZ). México

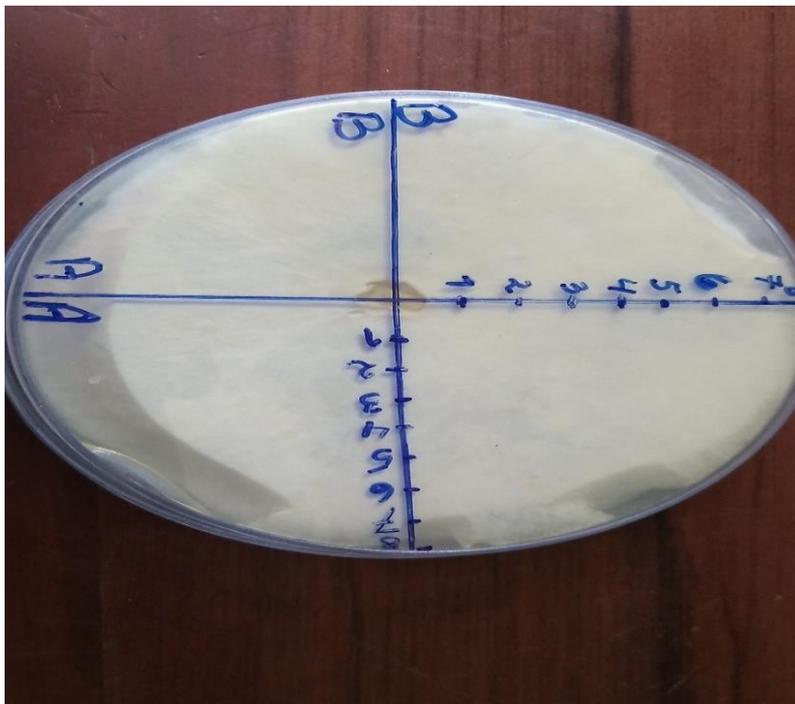
- Seoáñez, M. (1999). Contaminación del suelo: Estudios, tratamiento y gestión. Ediciones Mundi-Prensa 5(1), 147-149. Madrid, España.
- Sifuentes, E. (2014). Producción de inóculo de *Pleurotus ostreatus* para uso en biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- Soares, F. (2011). Fungos na biorremediação de áreas degradadas. Arquivos do Instituto Biológico 78(2), 341-350.
- Subero, N. (2013). Evaluación de las fracciones de fósforo y del contenido de cadmio en suelos ácidos fertilizados con fosfatos por largos periodos y su absorción por el arroz (Tesis de Pregrado). Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Stamets, P. (1993). Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms 5(1), 280-289.
- Vullo, D. (2003). Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. Química Viva, 8(2), 3-11.
- Zegarra, E. (2017). Capacidad del hongo *Pleurotus ostreatus* para la biorremediación de suelos contaminados por Plomo (Pb) en el laboratorio (Tesis de Pregrado). Escuela Profesional de Ingeniería ambiental, Universidad Cesar Vallejo. Lima, Perú.

ANEXOS

Anexo 1. Fotografías



Fotografía 1. Crecimiento de hongo en placa primer día.



Fotografía 2. Crecimiento final de hongo en placa octavo día.



Fotografía 3. Elaboración del inóculo primario.



Fotografía 4. Inóculo primario.



Fotografía 5. Elaboración de los tratamientos



Fotografía 6. Medición del hongo Pleurotus ostreatus en suelo contaminado 3 días



Fotografía 7. Medición del hongo Pleurotus ostreatus en suelo contaminado 7 días



Fotografía 8. Medición del hongo Pleurotus ostreatus en suelo contaminado 10 días



Fotografía 9. Medición del hongo Pleurotus ostreatus en suelo contaminado 14 días

Anexo 2. Primer análisis de disminución de cadmio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : ANDY VASQUEZ CABRERA
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
REFERENCIA : H.R. 67552
FACTURA : 4629
FECHA : 22/03/2019

Número Muestra		Cd ppm
Lab	Claves	
760	T-1	2.52
761	T-2	3.05
762	T-3	3.53
763	T-4	6.03
764	T-1-1	2.52
765	T-2-1	2.03
766	T-3-1	2.55
767	T-4-1	5.55
768	T-5-1	7.51



Dr. Sady García Bendezu
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 3. Análisis de cadmio y análisis de humedad gravimétrica.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : ANDY VASQUEZ CABRERA
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
REFERENCIA : H.R. 67553
FACTURA : 4629
FECHA : 21/03/2019

Lab	Número Muestra	Cd ppm	Humedad gravimetrica %
	Claves		
769		8.10	10.72



Dr. Sady García Bendejú L.
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 4. Segundo Análisis de disminución de cadmio.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : ANDY VASQUEZ CABRERA
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
REFERENCIA : H.R. 67644
FACTURA : 4667
FECHA : 29/03/2019

Lab	Número Muestra		Cd ppm
	Claves		
814	T.1.2		2.50
815	T.1.3		2.40
816	T.2.2		2.84
817	T.2.3		2.81
818	T.3.2		3.06
819	T.3.3		2.41
820	T.4.2		6.40
821	T.4.3		6.04
822	T.5.2		4.12
823	T.5.3		4.37



Dr. Sady García Bendezu
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 5. Caracterización de suelo.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : ANDY VÁSQUEZ CABRERA
 PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
 REFERENCIA : H.R. 67605
 BOLETA : 2771
 FECHA : 27/03/2019

Número Muestra		Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
Lab	Claves				
781	T-0	44	28	28	Fr.Ar.

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	M.O. %
Lab	Claves			
781	T-0	6.76	1.08	1.23



Dr. Saúl García Bendezú
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 6. Mapa de ubicación de lugar de proyecto



LIMA



LA MOLINA

MAPA DE UBICACIÓN POLÍTICA DEL PROYECTO	
AUTOR:	ANDY VASQUEZ
FECHA:	MAYO 2019
ESCALA:	1:30,000

