

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CULIACÁN

DICTAMEN DE APROBACIÓN DE CONTENIDO
DEL DOCUMENTO DE TESIS

Culiacán, Sinaloa, 03/06/2025

CONCEPCION MENDOZA ROSALES
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PRESENTE.

Con relación a la tesis de grado de licenciatura titulada **Determinación de nutrientes en soca posterior a la inoculación del hongo *Pleurotus ostreatus*** derivada de la LGAC Biotecnología, presentada por Rommel Gutiérrez Grajeda, del programa de Ingeniería Ambiental de esta institución con número de control 20170038, informamos a usted que el comité de tesis designado efectuó la revisión del trabajo de tesis en el marco del documento normativo vigente "Manual de Lineamientos Académico-Administrativos del Tecnológico Nacional de México", capítulo 14 Lineamiento para la Titulación Integral, y de acuerdo con lo establecido por el Comité Académico en minuta de la reunión realizada el viernes 28 de marzo de 2025 para la documentación del "Proceso de Validación de Tesis de Licenciatura para el Repositorio Institucional".

Al respecto, se dictamina que el contenido del documento de tesis cumple con todos los requisitos establecidos correspondientes, el dictamen del comité es: **APROBADO EN TODAS SUS PARTES**, por lo que se recomienda continuar, con el proceso de validación para su publicación en el Repositorio Institucional.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

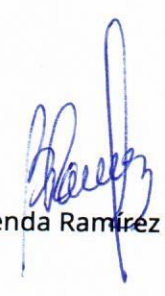


DR. LEONEL ERNESTO AMABILIS SOSA
ASESOR DE TESIS

Vo. Bo.
Revisores del Comité de Tesis



DR. Jesús Jaime Rochin Medina



Dra. Blenda Ramírez Pereda

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CULIACÁN

CONSTANCIA DE CUMPLIMIENTO DEL
NIVEL DE ORIGINALIDAD REQUERIDO

Culiacán, Sinaloa, **03/06/2025**

El que suscribe, Jefe de Oficina de Proyectos de Investigación del Departamento de Ingeniería Química-Bioquímica

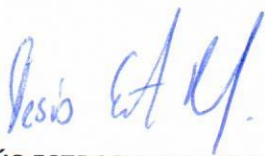
HACE CONSTAR

Que, con relación a la revisión de la tesis titulada **Determinación de nutrientes en soca posterior a la inoculación del hongo *Pleurotus ostreatus*** derivada de la LGAC Biotecnología, presentada por **Rommel Gutiérrez Grajeda**, del programa de **Ingeniería Ambiental** de esta institución con número de control 20170038, se hace constar que el documento obtuvo un **porcentaje de similitud del 8%**, el cual **cumple** con el rango de los parámetros de similitud y la configuración de los filtros y umbrales de exclusión establecidos por el Comité Académico en minuta de la reunión realizada el viernes 28 de marzo de 2025 para la documentación del Proceso de Validación de Tesis de Licenciatura para el Repositorio Institucional. Anexo reporte de similitud.

Se expide la presente constancia en la ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, a los cuatro días del mes de junio del año dos mil veinticinco.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®



JESÚS ESTRADA MANJARREZ
JEFE DE OFICINA DE PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN

Vo. Bo.



BRENDA LIBERTAD DÍAZ LÓPEZ
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA QUÍMICA-BIOQUÍMICA

LICENCIA DE USO OTORGADA POR Rommel Gutierrez Grajeda de nacionalidad Mexicana mayor de edad, con domicilio ubicado calle circuito Villa San Sebastián, 3552, Col. Villas del Rio, Elite, C.P. 80050, Culiacán, Sinaloa, en; en mi calidad de titular de los derechos patrimoniales y morales y autor de la tesis denominada "Determinación de nutrientes en soca posterior a la inoculación del hongo *Pleurotus ostreatus*" en adelante **"LA OBRA"** quien paratodos los fines del presente documento se denominará **"EL AUTOR Y/O EL TITULAR"**, a favor del Instituto Tecnológico de Culiacán del Tecnológico Nacional de México, la cual se registrá por las cláusulas siguientes:

PRIMERA –OBJETO: **"EL AUTOR Y/O TITULAR"**, mediante el presente documento otorga al Instituto Tecnológico de Culiacán del Tecnológico Nacional de México, licencia de uso gratuita e indefinida respecto de **"LA OBRA"**, para almacenar, preservar, publicar, reproducir y/o divulgar la misma, con fines académicos, por cualquier medio en forma física y a través del repositorio institucional y del repositorionacional, éste último consultable en la página: (<https://www.repositorionacionalcti.mx/>).

SEGUNDA - TERRITORIO: La presente licencia se otorga, de manera no exclusiva, sin limitación geográfica o territorial alguna, de manera gratuita e indefinida.

TERCERA -ALCANCE: La presente licencia contempla la autorización para formato uso de **"LA OBRA"** en cualquier formato o soporte material y se extiende a la utilización, de manera enunciativa más no limitativa alos siguientes medios: óptico, magnético, electrónico, virtual (red), mensaje de datos o similar conocido por conocerse en medio óptico, magnético, electrónico, en red, mensajes de datos o similar, conocido o por conocerse.

CUARTA – EXCLUSIVIDAD: La presente licencia de aquí establecida no implica exclusividad en favor del Instituto Tecnológico de Culiacán; por lo tanto, **"EL AUTOR Y/O TITULAR"** conserva los derechos ~~patrimoniales~~ y morales de **"LA OBRA"**, objeto del presente documento.

QUINTA – CRÉDITOS: El Instituto Tecnológico de Culiacán y/o el Tecnológico Nacional de México reconoce que el **"AUTOR Y/O TITULAR"** es el único, primigenio y perpetuo titular de los derechos morales sobre **"LA OBRA"**; por lo tanto, siempre deberá otorgarle los créditos correspondientes por la autoría de la misma.

SEXTA – AUTORÍA: **"EL AUTOR Y/O TITULAR"** manifiesta ser el único titular de los derechos de autor que derivan de **"LA OBRA"** y declara que el material objeto del presente fue realizado por él, sin violentar o usurpar derechos de propiedad intelectual de terceros; por lo tanto, en caso de controversia sobre los mismos, se obliga a ser el único responsable.

Dado en la ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, a los días 4 del mes de junio del 2025.

"EL AUTOR Y/O TITULAR"

ROMMEL GUTIERREZ GRAJEDA

"EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CULIACÁN"

FRANCISCA PIÑA ZAZUETA
DIRECTORA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Culiacán



TITULACIÓN INTEGRAL

Opción:

Tesis

“Determinación de nutrientes en soca posterior a la inoculación del hongo *Pleurotus ostreatus*”

ALUMNO(A):

Rommel Gutiérrez Grajeda

CARRERA:

Ingeniería Ambiental

No. DE CONTROL:

20170038

Culiacán, Sinaloa



Instituto Tecnológico de Culiacán

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ASUNTO: **Autorización de Impresión**

Culiacán, Sinaloa, 12/05/2025 11:17

C. ROMMEL GUTIERREZ GRAJEDA
PASANTE(S) DE LA CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL
P R E S E N T E.

De acuerdo con fallo emitido por la Comisión Revisora Integrada por:

Cédula Profesional

Presidente:	Doctorado en Ingeniería Ambiental Leonel Ernesto Amabilis Sosa	10359494
Secretario:	Doctor en Biotecnología de Alimentos Jesus Jaime Rochín Medina	9240544
Vocal:	Doctorado en Ingeniería y Ciencias Aplicadas(Tecnología Química) Blenda Ramírez Pereda	12152006

Y considerando que reúne los requisitos establecidos en la Opción: **TITULACION INTEGRAL: TESIS PROFESIONAL "DETERMINACIÓN DE NUTRIENTES EN SOCA POSTERIOR A LA INOCULACIÓN DEL HONGO *PLEUROTUS OSTREATUS*"**, damos a usted nuestra autorización para que proceda a imprimir su trabajo profesional.

Sin otro particular, quedo de usted.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

CONCEPCION MENDOZA ROSALES

JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CULIACÁN

DEPARTAMENTO DE DIVISIÓN DE
ESTUDIOS PROFESIONALES



2025
Año de
**La Mujer
Indígena**

Juan de Dios Bátiz 310 Pte. Col. Guadalupe C.P. 80220
Culiacán, Sinaloa. Tel. 667-454-0100
tecnm.mx www.culiacan.tecnm.mx



Agradecimientos

El presente trabajo de investigación forma parte del proyecto SECIHTI, Investigadoras e investigadores por México 7057.

Agradezco a mi asesor de tesis, el Dr. Leonel Ernesto Amabilis Sosa por otorgarme su tiempo y sus recursos a favor de mi investigación, así como su cooperación y su guía

Agradezco a mis compañeros de laboratorio, tanto Manuel Reyes como Kassandra Meza, que me guiaron con su experiencia tanto en la fase experimental como en mi redacción. Sin duda su cooperación fue bien recibida y valorada.

Agradezco a mi familia, mi mamá Ivett Gutiérrez y mi papá Jorge Gutiérrez que me apoyaron desde el momento en el que elegí mi carrera, sin duda su compañía incondicional durante todo este recorrido ha sido indispensable.

Finalmente, agradezco a mi pareja, Litzy Mariela Bazua por apoyarme en este proceso y confiar que es el camino correcto a seguir para mi crecimiento profesional.

Resumen

Sinaloa es el mayor productor de maíz a nivel nacional, esta actividad deriva en una alta cantidad de residuos denominados soca. Dado que la gestión de dicho residuo no ha dado resultados satisfactorios, la quema de la soca ha sido por mucho tiempo una práctica realizada a gran escala. Con el hongo *Pleurotus ostreatus* es posible degradar la soca y encontrar una forma de aprovecharla, mitigando un daño tanto en las tierras de cosecha como en los trabajadores del campo. La presente investigación plantea la degradación eficiente de la soca tomando al hongo *P. ostreatus* como herramienta principal gracias a su capacidad de utilizar la soca como fuente de carbono y otros nutrientes. Así mismo, el empleo del organismo no representa riesgos ambientales y cuenta con potencial como suministro de alimentos. En la presente investigación, se realizó la inoculación del micelio en agar dextrosa Sabouraud por un periodo de 10 días, una vez pasado el periodo de 10 días, se inoculó el micelio en soca extraída de campos de cultivo regionales, sustrato en el cual se evaluaron los niveles de fósforo y nitrógeno después de un periodo de tiempo de 21 días. Pasado este periodo de tiempo, se le dio un tratamiento físico a la soca con el fin de determinar sus nutrientes. Se encontraron niveles considerables de nitrógeno y fósforo, con lo cual se puede determinar que el producto final es apto para su implementación en tierras destinadas al cultivo.

Palabras clave: Biotransformación, organismo saprófito, biofertilizante.

Abstract

Sinaloa is the greatest corn producer nationwide. This activity results in a large amount of waste called stubble. Due to the lack of satisfactory results on its management, stubble burning has been a large scale practice for a long time. It's possible to degrade stubble and mitigate damage to both farmland and field workers with the *Pleurotus ostreatus* fungus. This research proposes efficient stubble degradation using the *P. ostreatus* fungus as the main tool, due to its ability to utilize stubble as a source of carbon and other nutrients. Furthermore, the use of this organism has no environmental risks and has potential as a food source. To this end, the mycelium was inoculated on Sabouraud dextrose agar for 10 days, capturing photographic evidence to generate growth kinetics. After a 10 day period, the mycelium was inoculated on stubble collected from regional farmland, stubble in which phosphorus and nitrogen levels were evaluated after 21 days of growth. After this period, the stubble was physically treated to determine its nutrients. There were found considerable levels of nitrogen and phosphorus, allowing the final product to be suitable for its use.

Key words: Biotransformation, saprotrophic organism, biofertilizer.

Contenido

1. Introducción.....	1
1.1. Problemática	4
1.2. Actividad agrícola y erosión	4
1.2.1. Micorremediación.....	6
1.2.2. Estado del arte	8
1.3. Planteamiento del problema	11
1.4. Justificación.....	13
1.5. Hipótesis	15
1.6. Objetivos	16
1.6.1. General	16
1.6.2. Específicos	16
2. Materiales y métodos	17
2.1. Obtención y preservación de materiales	17
2.1.1. Preservación del micelio	17
2.2. Medio de cultivo	18
2.3. Inoculación del hongo <i>P. ostreatus</i>	20
2.4. Análisis cinético del crecimiento del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> en cajas petri	21
2.4.1. Toma de datos en el programa ToupView	21
2.4.2. Análisis de datos y conversión de unidades	23
2.4.3. Generación de gráficas en Minitab y Excel	23
2.5. Inoculación del micelio en soca.....	27
2.6. Análisis de nutrientes	28
2.7. Diseño experimental y Análisis estadístico	33
3. Resultados y discusión.....	35
3.1. Cinética de crecimiento del hongo <i>P. ostreatus</i>	35
3.2. Análisis de nutrientes	37
3.2.1. Análisis de nitratos.....	37
3.2.2. Análisis de fosfatos	39
4. Conclusiones y recomendaciones.....	40
5. Fuentes de información	42

6. Anexos	46
6.1. Análisis ANOVA unidireccional de Nitratos en el software Minitab	46
6.2. Reconocimiento por divulgación científica en la semana estatal del conocimiento Sinaloa 2024 “La ciencia en tiempos de crisis hídrica” otorgado por CECyTE	47
6.3. Publicación en memorias del congreso Ciencias del suelo Chihuahua 2024	48
6.4. Participación y obtención de primer lugar en la Feria Mexicana de Ciencias e Ingenierías 2024 etapa regional.....	49
6.5. participación en la Feria Mexicana de Ciencias e Ingenierías etapa nacional	50

Índice de figuras

Figura 1.1. Anatomía del hongo <i>P. ostreatus</i> . Gerardo Díaz, Maura Téllez, et. al. (2017) “Characterization of the solid-state and liquid fermentation for the production of laccases of <i>Pleurotus ostreatus</i> ”. Fermentation Processes.	9
Figura 2.1. Almacenamiento de micelio en bolsas herméticas de manera refrigerada para su conservación	18
Figura 2.2. Preparación y esterilización del medio de cultivo agar dextrosa Sabouraud.....	19
Figura 2.3. Placas Petri con agar dextrosa sabouraud	20
Figura 2.4. Placas Petri inoculadas previo al almacenamiento.....	21
Figura 2.5. Imagen desplegada en software ToupView y selección de herramienta de medición	22
Figura 2.6. Extracción de datos en pixeles cuadrados	22
Figura 2.7. Tabla de crecimiento del micelio en Minitab15	24
Figura 2.8. Gráfica de intervalos de área de crecimiento en centímetros cuadrados	25
Figura 2.9. Área de crecimiento del hongo <i>P. ostreatus</i>	26
Figura 2.10. Línea de tendencia del crecimiento del hongo <i>P. ostreatus</i>	26
Figura 2.11. Ecuaciones y coeficientes de correlación obtenidos al graficar mediante los diferentes ordenes de reacción. Pasar a resultados	27
Figura 2.12. Inoculación de micelio de <i>P. ostreatus</i> en soca.....	28
Figura 2.13. Soca colonizada por el micelio de <i>P. ostreatus</i>	29
Figura 2.14. Eliminación del micelio del hongo <i>P. ostreatus</i> en soca.....	30
Figura 2.15. Triturado de soca mediante molino eléctrico modelo M150B	31
Figura 2.16. Almacenamiento de muestras de soca.....	32
Figura 3.1. Crecimiento del micelio del hongo <i>P. ostreatus</i>	35
Figura 3.2. Crecimiento del hongo <i>P. ostreatus</i>	36
Figura 3.3. Comparación del crecimiento del hongo <i>P. ostreatus</i> evaluado mediante diferentes órdenes de reacción. $n = 0$ ($-R^2 = 0.97$); $n = 1$ ($R^2 = 0.94$); $n = 2$ ($R^2 = 0.76$)	37
Figura 3.4. Volumen de la soca inoculada frente a la soca sin inocular	39
Figura 3.5. Concentración de nutrientes en soca	40

Índice de tablas

Tabla 1.1. Clasificación de tierras de cultivo según su tipo de manejo	4
Tabla 1.2. Hongos utilizados en la micorremediación y contaminantes en los que se aplican. Tomado de Springer (2017).	7
Tabla 1.3. Tablas de orden de crecimiento para identificar el orden de reacción del hongo <i>P. ostreatus</i>	25
Tabla 1.4. Diseño experimental correspondiente a bloques aleatorios simples para su posterior evaluación estadística mediante una prueba t de Student.	34
Tabla 1.5. Resultados arrojados tras el análisis espectrofotométrico	38
Tabla 1.6. Análisis ANOVA unidireccional de los nitratos presentes en las muestras de soca inoculadas con el hongo <i>P. ostreatus</i> y las muestras de soca sin inocular	38
Tabla 1.7. Concentraciones de PO ₄ encontradas en muestras de soca inoculadas y sin inocular en mg/kg	39

1. Introducción

Los suelos de cultivo representan una fuente vital para México. La calidad de los suelos interviene tanto en el suministro de alimentos, como en el impacto económico, relacionándose directamente con la calidad de vida de las regiones.

Sinaloa es el principal productor de productos agrícolas a nivel nacional, cuenta con la mayor cantidad de hectáreas dedicadas al cultivo. SIEGSIN (2023) reporta que los cultivos más destacables de la región son el tomate rojo (jitomate), el chile verde, el sorgo forrajero (en verde), la caña de azúcar, y el maíz. Para el maíz, en el año 2023 se obtuvieron aproximadamente 22,046,099 toneladas de maíz en grano, aportando Sinaloa el 29.9% de la producción nacional (CIEGSIN, Agricultura indicadores por tema, 2021).

El cultivo intensivo del maíz es el responsable de un impacto ambiental significativo en el territorio sinaloense. Anualmente se generan alrededor de 25,100,000 toneladas de residuos. Estos residuos son toda aquella parte de la planta que no sea el grano. A este conjunto de tallo, hojas, espiga y raíz se le conoce como soca. (CONAHCYT, 2016)

La soca se ha tratado de gestionar de diversas maneras. Se ha planteado proporcionarlo de alimento al ganado, pero dado su alto contenido en fibra, es muy difícil que los animales logren digerirlo. Estos resultados negativos han orillado a la comunidad agrícola a quemar todo este desperdicio, lo que genera impactos negativos en la atmósfera y en los suelos. Los daños más destacables son: la disminución y deterioro de la cubierta vegetal, el empobrecimiento de las tierras de cultivo, la generación de una mayor dependencia a los fertilizantes de origen químico, el aumento de las temperaturas atmosféricas y la contribución a la desertificación (Sinaloa U. A., 2019).

En paralelo, el reino fungi cuenta con una longevidad que data de millones de años. Originalmente evolucionados a partir de un ancestro en común con el reino animal en un ambiente acuático. La evidencia fósil del hongo más antiguo data de hace 715,000,000 de años. Hoy en día se estima la existencia de al menos 700,000

especies de hongos en el mundo, de los cuales, entre 53,000 y 110,000 especies son clasificados como macrohongos. De entre esta enorme cantidad de especies, se estima que existen más de 2,000 especies de hongos comestibles en el mundo, y de estos 2,000, solamente 200 especies son cultivadas de manera experimental o industrial (Main, 2020) (Elvira Aguirre Acosta, 2014) (Yanrong Zhang, 2020).

En México solamente se cultivan 5 especies de hongos comestibles: champiñón, hongo blanco, portobello, seta y shiitake. A pesar de que la industria del cultivo de hongos data en México desde los años 40, su explotación a nivel industrial apenas cuenta con unos pocos años de existencia (rural, 2016) (Galván).

Los hongos no solamente son explotables gracias a sus características nutrimentales, sino que cuentan con un amplio desempeño en el área de la biorremediación, en específico, la micorremediación. La micorremediación se refiere al uso de hongos para biotransformar residuos en productos menos dañinos y que, además, sean aprovechables para el medio ambiente. (Biomar, 2019)

Para lo antes mencionado, se utilizan una gran variedad de hongos generalmente de pudrición blanca, dentro de los cuales se encuentra el género *Pleurotus*. Dentro de esta amplia gama de hongos se halla al *P. ostreatus*, este hongo se caracteriza por su gran aprovechamiento a la hora de ser cosechado y la vasta cantidad de sustratos en el que es posible inocularlo. Usualmente se suele utilizar como sustrato el sorgo, residuos del café, bagazo de la caña y de agave.

Las enzimas del hongo *P. ostreatus* muestran comportamiento ligninolítico, lo que significa que se alimenta de las moléculas de lignina presentes en la corteza vegetal. Muchos compuestos contaminantes comparten similitudes a nivel molecular con la lignina, lo cual abre un abanico de posibilidades a la hora de aplicar hongos de pudrición blanca, tales como el *P. ostreatus*, para asimilar estos compuestos. Según Ana Paredes (2017), una gran ventaja que ofrece este organismo es que no bioacumula los contaminantes, sino que los asimila y los biotransforma en compuestos mucho más simples y menos contaminantes, tales como dióxido de carbono y agua.

Se ha estudiado la degradación de contaminantes con *P. ostreatus* en compuestos como bifenilos policlorados, hidrocarburos aromáticos policíclicos, diversos agroquímicos, residuos agroindustriales. Sin embargo, es imperativo ejecutar acciones que permitan el no tener que llegar a tratar estos contaminantes. Por ejemplo, si desde un principio se mantienen las tierras de cultivo sanas, no será necesario saturarlas con productos químicos que fomenten el crecimiento de las cosechas en terrenos donde existe una carencia de nutrientes (SC Chun, 2019) (Escandon, 2022).

Tomando en cuenta todo lo anterior, la presente investigación busca aprovechar las capacidades metabólicas de *P. ostreatus* para transformar un desecho que genera tantos problemas como es la soca, en un posible biofertilizante. Esto, evaluando el tiempo de acción del micelio del hongo en el sustrato y, posteriormente, registrando las medidas de nitrógeno, fósforo y potasio dentro del sustrato procesado, de esta manera se le daría una segunda vida útil. Así se contribuye a solucionar una serie de problemáticas que atañen a la región.

1.1. Problemática

1.2. Actividad agrícola y erosión

La FAO (2011) define el aprovechamiento de la tierra como aquel terreno destinado a la explotación agropecuaria durante un periodo de referencia. Las tierras de cultivo se destinan a una gran cantidad de fines, por consecuencia, se establecen diversas categorías para facilitar su manejo. Este manejo se establece en la tabla 1.1 (Keith Paustian, 2006):

Tabla 1.1. Clasificación de tierras de cultivo según su tipo de manejo

Tipo de manejo	Descripción	Referencias
Terrenos arables	Dicho de toda tierra de cultivo dedicada a la producción de cosechas y que se mantienen en buenas condiciones agrícolas y medioambientales, con independencia de que se encuentren en invernadero o bajo protección	Agencia estatal de meteorología, 2011
Cultivos anuales y perenes	Toda planta de crecimiento temporal la cual solo es productiva durante un periodo en concreto y debe ser replantada cada año previsto a su temporada	Tamara, 2021
Barbecho temporario	Tierras donde no se ha cultivado ningún tipo de cosecha de modo consiente con el fin de darle descanso por un periodo de 5 años	FAO, 2011
Sistemas agroforestales	Uso del suelo en el cual se combina el cultivo de especies leñosas perennes con cultivos con fin agrícola o producción animal	Florencia Montagnini, 2015
Tierras arables destinadas a cultivos anuales	se emplean para pasturas o cultivos de forrajes como parte de una rotación temporal	Keith Paustian, 2006

México destina un total de 29,806,706 hectáreas para la actividad agrícola. Al practicarse de manera intensiva, la agricultura genera un impacto ambiental que representa un reto para la sociedad mexicana. Tan solo en el periodo de octubre del 2021 a septiembre del 2022, México produjo más de 21 millones de toneladas de maíz grano blanco, el cual, Sinaloa aportó un 29.9%. La magnitud de producto generado deriva en una cantidad de residuos muy amplia. Al residuo del maíz se le denomina soca, la soca es todo el conjunto de tallo, olote, hojas de la planta del maíz (CIEGSIN, Centro de Información Estadística y Geográfica del Estado de Sinaloa, 2023) (INEGI, 2023).

El residuo del maíz es de difícil y costoso manejo debido a la lignina. Esta molécula se encuentra en la materia vegetal y es la encargada de darle vigor y rigidez a las plantas. Se considera el principal obstáculo a la hora de buscar la degradación de la soca. Por esto mismo, los agricultores optan a la quema. La quema de soca es de tanta magnitud, que es responsable de zonas de isotermas regionales, así como de erosión en los suelos y de afectar la calidad del aire (Garcia, 2024) (Agustín Maceada, 2021).

En específico, la erosión de los suelos es el proceso mediante el cual la capa superficial del suelo se ve deteriorada, disminuyendo los niveles de nutrientes y de agua que las plantas necesitan para su desarrollo. Dicho fenómeno puede ser ocasionado por motivos meteorológicos como tormentas o granizo y climatológicos como heladas o sequías. Mayoritariamente, el origen de la erosión es de tipo antropogénico, como el uso intensivo de los suelos o el mal manejo de estos. En efecto, la erosión antropogénica representa el 12% de la totalidad del terreno disponible para los seres humanos (Tarakanov, 2024)

Dentro de un entorno político y social, se han implementado reformas y artículos en reglamentos de protección al ambiente. Respecto a la quema de la soca, en el año 2006 en el reglamento de ecología de Salvador Alvarado, Sinaloa, se establece la prohibición de la quema al aire libre de cualquier residuo. A su vez, en el año 2020, el congreso del estado de Sinaloa levantó en vigor reformas que penalizan la quema de soca y demás desechos agrícolas. Sumadas a estas iniciativas, el ayuntamiento

de Culiacán en el año 2023 instaló el comité contra quema de soca. Esta iniciativa busca diseñar estrategias cuya función sea el control de la quema indiscriminada de soca, llevando una cooperación de la mano del sector productivo y gobierno (Culiacán, 2023) (Montoya, 2006) (Sinaloa C. d., 2020).

Se han buscado alternativas para darle un segundo uso a la soca. En recientes años, se ha suministrado como fuente de alimento para el ganado. Sin embargo, La soca ha sido rechazada por los rumiantes debido al alto nivel de fibra (Gabriela Vázquez Olivo, 2016).

1.2.1. Micorremediación

A través de los ciclos biogeoquímicos, la naturaleza autorregula la fertilidad de sus suelos. Por mencionar un ejemplo, la mortandad de fauna y flora genera los nutrientes necesarios para nutrir los suelos. En un enfoque microscópico, enzimas generadas por microorganismos tales como la β -1,4-glucosidasa, β -1,4-N-acetil-glucosaminidasa y leucina aminopeptidasa son responsables de conectar la teoría metabólica de la ecología con la teoría de estequiometría ecológica. Esto sugiere un vínculo entre el metabolismo microbiano y la disponibilidad de nutrientes en un ecosistema. Además, muchos procesos naturales promueven la fertilidad del suelo. Por ejemplo, el follaje de los árboles evita la erosión causada por la lluvia y los rayos solares. Así mismo, las raíces de la vegetación mantienen el suelo firme y estable (Jakubas Daunoras, 2024).

Los microorganismos en los suelos son indispensables; representan entre el 0.1% - 2% del volumen total del suelo, a pesar de esto, se involucran hasta el 90% de las funciones de los ecosistemas. Según Roesch (2007), en un gramo de suelo se estima que se encuentran hasta mil millones de bacterias y 200 metros de hifas (agropecuaria, 2023).

Entre los microorganismos, los pertenecientes al reino fungi destacan por la biodegradación de materia vegetal inerte gracias a su producción enzimática. Por ejemplo, el hongo *P. ostreatus*, conocido como un hongo de pudrición blanca, produce lacasa, manganeso peroxidasa y lignina peroxidasa. Esta especie del reino

fungi, también se caracteriza por su desempeño a su capacidad de desarrollo en medios carentes de nutrientes como nitrógeno o carbono, y su flexibilidad de desarrollo en distintos sustratos (Springer, 2017).

En un entorno natural, el micelio de los hongos cumple la función de fortificar la estabilidad de los taludes de tierra, la extensión total de las hifas alrededor del volumen del suelo funciona como una red de contención que mantiene la estructura interior firme.

Además de la estructura física del micelio, el conjunto de compuestos segregados por las hifas de los hongos de pudrición blanca, cuentan con propiedades adhesivas. Estas propiedades contribuyen a la estabilidad y contrarrestan en cierta medida la erosión del suelo (Karl Ritz, 2004).

La diversidad de especies que son utilizadas en el campo de la micorremediación como los contaminantes que son tratados es muy extensa. En la tabla 2.2 se plasman algunas especies de hongos comúnmente utilizados y sus aplicaciones. Como se puede observar en dicha tabla, los procesos de los hongos son muy versátiles debido a la diversidad de organismos que pueden ser aplicados. Con lo que cabe destacar, que son seguros de utilizar, no requiere la adición de químicos, por lo que son de bajo costo económico (Springer, 2017).

Tabla 1.2. Hongos utilizados en la micorremediación y contaminantes en los que se aplican. Tomado de Springer (2017).

Nombre del hongo	Nombre común	Contaminantes
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Hongo ostra	TNT, PCBs, hidrocarburos, dioxinas.
<i>Lentinus edodes</i>	Hongo Shiitake	Conservantes de madera, herbicidas, PCBs, hidrocarburos.
<i>Trametes versicolor</i>	Yun zhi	Conservadores de madera, herbicidas, TNT, dioxinas, organofosforados persistentes.

<i>Psilocybe spp.</i>	Hongos Psilocibios	Organofosforados persistentes.
-----------------------	--------------------	--------------------------------

1.2.2. Estado del arte

Los hongos del género *Pleurotus* son un tipo de hongo de pudrición blanca los cuales cuentan con un cuerpo fructífero capaz de aprovecharse como alimento. El hongo *Pleurotus ostreatus* es una especie de este género la cual cuenta con un alto valor nutricional. Descrito por Mongthomabm (2021), cuenta con niveles altos de vitamina C y vitamina B, además de un nivel proteico relevante que puede variar desde 1.6 a 2.5 porciento.

P. ostreatus es un organismo saprófito debido a que basa su desarrollo en la descomposición de materia orgánica inerte. Este proceso catabólico cumple la labor ecológica de retornar los nutrientes hallados en la materia orgánica al medio natural al que pertenecen. Hongos lignocelulíticos como el *P. ostreatus* se encargan específicamente de la descomposición de materia vegetal inerte. La alimentación de dichos organismos se basa en la segregación de enzimas sobre la materia de interés para su disolución y consumo.

Las enzimas segregadas por el hongo *P. ostreatus* se encuentran en sus hifas, estas hifas son las encargadas de penetrar en el sustrato donde se desarrolla el organismo y generalmente se encuentran cubiertas, tal como se observa en la figura 1.1. En dicha figura también se observan el resto del cuerpo fructífero del hongo, vía principal para su reproducción.

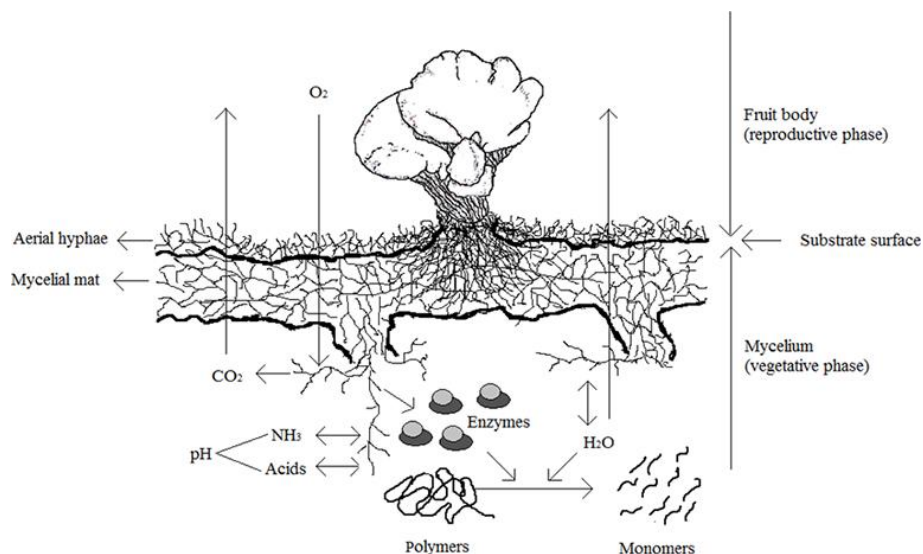


Figura 1.1. Anatomía del hongo *P. ostreatus*. Gerardo Díaz, Maura Téllez, et. al. (2017) "Characterization of the solid-state and liquid fermentation for the production of laccases of *Pleurotus ostreatus*". Fermentation Processes.

Según lo descrito por Cuesta (2003), existen dos grandes grupos de hongos saprófitos que se alimentan de materia vegetal inerte: los hongos de pudrición roja y los hongos de pudrición blanca. Los primeros se caracterizan por degradar la celulosa presente en la estructura celular de la materia. Por consecuencia, se obtiene un residuo un material rojizo y con estructuras cúbicas rico en lignina. Por otra parte, los hongos de pudrición blanca se especializan en la degradación de lignina. Esto resulta en un material fibroso, esponjoso y de color blanquecino cuyo componente principal es la celulosa.

Al ser un hongo lignocelulítico, *P. ostreatus* cuenta con la capacidad de desarrollarse en una variedad de sustratos gracias a su producción enzimática. La capacidad de dicho hongo de adaptarse lo convierte en uno de los hongos más cultivados a nivel global (Hassan El-Ramady, 2022).

El aprovechamiento de las enzimas del hongo *P. ostreatus* no se limita a residuos agroindustriales. La micorremediación también es aplicable en la industria textil, por mencionar un ejemplo. Cuentan con un rendimiento favorable en el uso de enzimas producidas por hongos ligninolíticos al utilizarse como una herramienta de

biodegradación en aguas residuales contaminadas con colorantes, específicamente, los colorantes azoicos.

A su vez, la actividad enzimática de *P. ostreatus* ha demostrado un buen rendimiento en contaminantes como hidrocarburos en suelos. Fajardo (2013) identificó que el hongo *P. ostreatus* remueven un 58% de Benzo [A] pireno en 30 días.

En materia vegetal, Verdesoto (2020), evaluó la degradación de los residuos de corteza de eucalipto, analizando parámetros de eficiencia biológica, nitrógeno total, materia orgánica y la relación carbono – nitrógeno, identificando que la corteza de eucalipto es eficiente al momento de ser utilizada como sustrato. En efecto, reportaron 16.32% y 48.20% de eficiencia biológica en nitrógeno total y materia orgánica respectivamente. Aunado a esto, se obtuvo una proporción carbono – nitrógeno de 252.60.

La inoculación de *P. ostreatus* en cascarilla de arroz se realizó con el fin de designificar el residuo. Gracias a sus altos niveles de azúcares, este residuo es aprovechable para la producción de biocombustibles. Habiendo degradada la lignina gracias a la actividad enzimática del hongo *P. ostreatus*, se realizaron comparaciones con tres métodos de cuantificación de azúcares provenientes de hidrólisis enzimáticas: cromatografía líquida de alta resolución, método de Miller y método de Trinder. Al cuantificar los resultados, Camacho (2018) reporta una designificación, pérdida de celulosa y de hemicelulosa, esto con unos valores de 11.18%, 28.35% y 32.78% respectivamente.

Además de lo anterior, *P. ostreatus* es capaz de degradar residuos vegetales tanto en una matriz sólido como líquida. W.A Tapie (2016) utilizó el hongo para tratar las vinazas de caña en un reactor de lecho empacado. Inoculó el micelio en agar dextrosa. Pasado el tiempo de desarrollo, se trasladó el micelio desarrollado en 500 gramos de trigo. Después de colonizar el sustrato, se inoculó el micelio del hongo en tamo de arroz, el cual fue utilizado como lecho del reactor. Se obtuvieron datos con respecto al COT, DQO y DBO₅ posterior a un periodo de evaluación de 36 días, valores de 45%, 87% y 92% de remoción respectivamente.

Al momento de inocular hongos para su cosecha, Gloria Cetz (2000) usó como sustrato rastrojo de calabaza. En este, inoculó el micelio de *Pleurotus djamor* y se reportó que para el día 44 ya se habían tenido 5 cosechas exitosas, lo cual indica que este tipo de sustratos son idóneos para la generación y proliferación de hongos de pudrición blanca.

1.3. Planteamiento del problema

La quema de residuos es una práctica generalizada alrededor de todo el país. La falta de espacios adecuados para la disposición de los residuos, así como la falta de educación ambiental la convierten en una práctica común tanto en zonas urbanas como rurales. Esta práctica se suele realizar a cielo abierto y sin regulación alguna, a pesar de la existencia de métodos y zonas donde se puede realizar de manera controlada.

Esta práctica trae consecuencias tanto en la salud humana como en el medio ambiente debido a las emisiones producidas por la combustión. Algunas de las principales preocupaciones a la hora de exponerse a gases producidos por combustión de residuos, son las dioxinas y furanos. Estos gases pueden llegar a causar problemas reproductivos, afectar al sistema inmune, el sistema hormonal y causar cáncer (Ramírez, 2023) (OMS, 2023).

En las regiones donde las actividades agrícolas son intensivas, es común ver como son acompañadas por la quema de los residuos vegetales post cosecha. El uso de fuego como método para purgar las tierras de cultivo es una práctica que, a pesar de ser eficiente a la hora de deshacerse del residuo, provoca daños a la biodiversidad y la calidad del aire, aumenta la temperatura de la zona, retrasa las lluvias y empobrece las tierras a nivel microbiológico. Además, la quema no controlada de los residuos es capaz de derivar en incendios forestales. En Sinaloa, para mediados del año 2024 ya se habían superado los 43 siniestros, alcanzando el número total de incendios ocurridos el año anterior en el estado (desarrollo, 2022) (Villegas, 2024).

La manera en la que estos incendios afectan a los suelos va más allá de lo que se ve a simple vista, dentro de una visión microscópica, el fuego esteriliza casi por completo los suelos donde se cultiva. Esto es preocupante dado que las cosechas se ven ampliamente beneficiadas por el microbiota que habita en la rizosfera. Eliminar este ecosistema da pie a que se entorpezca el crecimiento de la planta, su obtención de nutrientes, su resistencia a enfermedades y su tolerancia al estrés (Garcilazo, 2023).

A pesar de las ventajas que ofrecen procesos llevados a cabo por microorganismos al momento de degradar residuos, tal como lo estipula Malesani (2021) al plantear la producción de calor generado por el compostaje capaz de transformarse en energía eléctrica. Existen diversos motivos tanto sociales, culturales, políticos y económicos por los que se opta por la quema. Algunos de estos motivos son el ahorro de tiempo y de recursos económicos. Por hectárea, los precios de desbroce oscilan entre los 16,000 hasta 20,000 pesos.

1.4. Justificación

Es indispensable implementar técnicas en las que se utilicen residuos de producción agrícola para contribuir a la práctica sustentable de producción de alimentos. El riesgo ambiental por la quema de más de 970,000 toneladas de soca es la pérdida de microbiota necesaria en los suelos de cultivo para mantenerlos saludables y beneficiar a las plantas en su desarrollo. A su vez, al ser la quema de residuos agrícolas una práctica no controlada, puede generar incendios forestales. Como reportó Pamela Bolaños (2017), de cara a la salud humana, gases como el CO son causantes de complicaciones en el sistema respiratorio y cardíaca.

Por otra parte, el cultivo del maíz presenta muchas áreas de oportunidad en cuanto a otorgarle un valor agregado. Una alternativa técnica es incorporar la inoculación del hongo *P. ostreatus* a sus residuos. Dicho proceso puede generar un producto que funcione como un biofertilizante orgánico. La base consiste en que el micelio del hongo *P. ostreatus* es capaz de degradar la lignina presente en las plantas, promoviendo la biodisponibilidad de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, beneficios para el ecosistema. Además de esto, al decidir cosechar todo el cuerpo del organismo, se obtiene un producto comestible rico en nutrientes como es el hongo *per se*, capaz de rendir hasta 5 cosechas si se realiza el procedimiento adecuado.

El aprovechamiento de los hongos del género *Pleurotus* sigue post cosecha del vegetal, ya que son de los géneros dentro del reino *fungi* que mayor desempeño tienen al extraer nutrientes de los residuos vegetales, esto gracias a su alto nivel de producción de enzimas lignocelulíticas, como bien describen Poonam Dehariya (2020) en su investigación al colonizar distintos sustratos, tales como rastrojo de trigo, rastrojo de soya y rastrojo de arroz con los hongos *P. sajor-caju*, *P. Florida*, *P. ostreatus* y *P. djamor*. Demostrando que *P. ostreatus* cuenta con un gran desempeño a la hora de degradar la lignina. Esto abre un campo de estudio para encontrar nuevas maneras de aprovechar este hongo. De manera simultánea, aprovechan los residuos vegetales de la post cosecha del maíz para ser convertidos a biofertilizantes y se contribuye a reducir las emisiones de gases contaminantes a

la atmosfera, como lo son el CO, CO₂, NOX, PM₁₀, entre otros. La reducción de la emisión de estos contaminantes representa una mejora para la calidad de vida de las poblaciones aledañas a las tierras de cultivo, así como una mejora medioambiental y del rendimiento del cultivo. Consecuencias causadas por la quema de los residuos agrícolas.

1.5. Hipótesis

La inoculación del micelio del hongo *P. ostreatus* en soca permitirá el desarrollo del organismo en el sustrato, degradando las moléculas de lignina y biotransformando el residuo en un mejorador de suelos debido al nitrógeno y fósforo biodisponibles de la soca.

1.6. Objetivos

1.6.1. General: Evaluar el efecto de la inoculación del hongo *P. ostreatus* en soca sobre el contenido de nitrógeno y fósforo biodisponible.

1.6.2. Específicos:

- Desarrollar el micelio del hongo *P. ostreatus* bajo condiciones controladas.
- Evaluar la cinética de crecimiento del hongo *P. ostreatus* bajo condiciones controladas.
- Evaluar los niveles de nitrógeno y fósforo en el sustrato inoculado con micelio de *P. ostreatus*.

2. Materiales y métodos

Todos los procedimientos analíticos fueron realizados en el Laboratorio de Bioprocesos y Análisis Ambientales de la Unidad de Posgrado del Instituto Tecnológico de Culiacán.

2.1. Obtención y preservación de materiales

Se obtuvo el micelio del hongo *P. ostreatus* por medio de Hongosmx, distribuidor especializado en cosecha de hongos, procurando que el distribuidor cumpliera estándares de calidad. Esto se analizó revisando la satisfacción de clientes previos, experiencia en el mercado y las características del producto.

La soca fue proporcionada por agricultores locales del Distrito de riego 010 de Culiacán, Sinaloa.

2.1.1. Preservación del micelio

Para procurar la vida útil del micelio del hongo por un periodo prolongado de tiempo, se mantuvo bajo refrigeración constante a una temperatura de $\pm 9^{\circ}\text{C}$. Posteriormente, el micelio se mantuvo almacenado de manera compacta en bolsas de plástico de polietileno y dentro de una caja de cartón cerrada. Al utilizar el micelio, se preparó un área de trabajo estéril y se procuró exponer el micelio al ambiente lo menos posible. Al finalizar su manejo, se almacenó herméticamente a una temperatura de $\pm 9^{\circ}\text{C}$ como se observa en la figura 2.1.



Figura 2.1. Almacenamiento de micelio en bolsas herméticas de manera refrigerada para su conservación

2.2. Medio de cultivo

Posterior a un análisis en las características de diversos medios de cultivo, se optó por utilizar agar dextrosa Sabouraud, el cual contiene cloranfenicol en su fórmula, lo que hace un medio ideal para el crecimiento de hongos debido a la inhibición del crecimiento bacteriano.

Así, se elaboró el medio de cultivo siguiendo las indicaciones del fabricante que a continuación se mencionan.

Suspender 65 gramos del polvo en un litro de agua estrictamente purificada. Se calentó con agitación constante hasta hervir por un minuto. Una vez realizado este proceso (Figura 2.2), el medio fue esterilizado por vapor húmedo a una temperatura de 121°C durante 15 minutos para esterilizar.

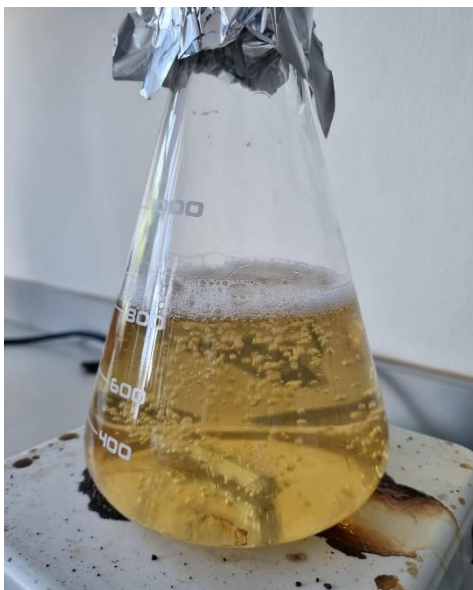


Figura 2.2. Preparación y esterilización del medio de cultivo agar dextrosa Sabouraud

Las preparaciones fueron ajustadas a un volumen de 800 mililitros. Para ello, se utilizó un vaso de precipitado de un litro sobre un agitador magnético a una temperatura de $\pm 95^{\circ}\text{C}$. Una vez lograda una mezcla cristalina, se mantuvo la temperatura en punto de burbuja por un periodo de tiempo de 15 minutos con el fin de esterilizar el medio.

Se dejó enfriar la mezcla hasta ser manipulable y se vertió en 30 placas Petri de 9 centímetros de diámetro. Las placas Petri fueron enfriadas a temperatura ambiente como se muestra en la figura 2.3. y, una vez obtenida una consistencia firme, fueron almacenadas a una temperatura de $\pm 4^{\circ}\text{C}$.

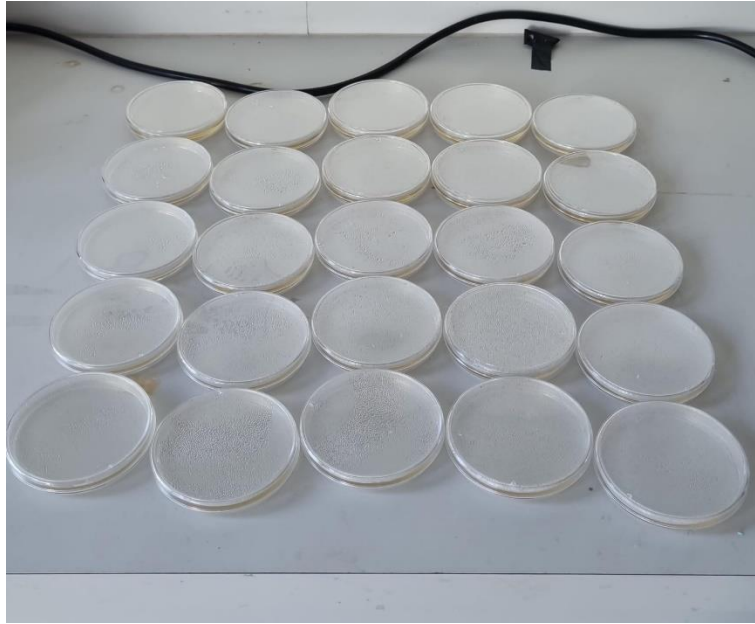


Figura 2.3. Placas Petri con agar dextrosa sabouraud

2.3. Inoculación del hongo *P. ostreatus*

En primera instancia, se esterilizaron la campana de extracción de flujo laminar y las herramientas de trabajo utilizando alcohol isopropílico al 70% y aplicando calor seco. Posteriormente se procedió a la inoculación del micelio del hongo *P. ostreatus*.

Para lo anterior, se tomó el micelio del hongo *P. ostreatus* con unas pinzas de precisión con el código ESD-14 para ser colocado en el centro de las placas Petri. Durante este procedimiento se procuró que los montículos fuesen del mismo tamaño. Una vez que todas las placas fueron inoculadas, se cerraron y sellaron con Parafilm (Figura 2.4). Al terminar, se tomaron las 30 cajas Petri y se resguardaron en un contenedor oscuro a temperatura ambiente.

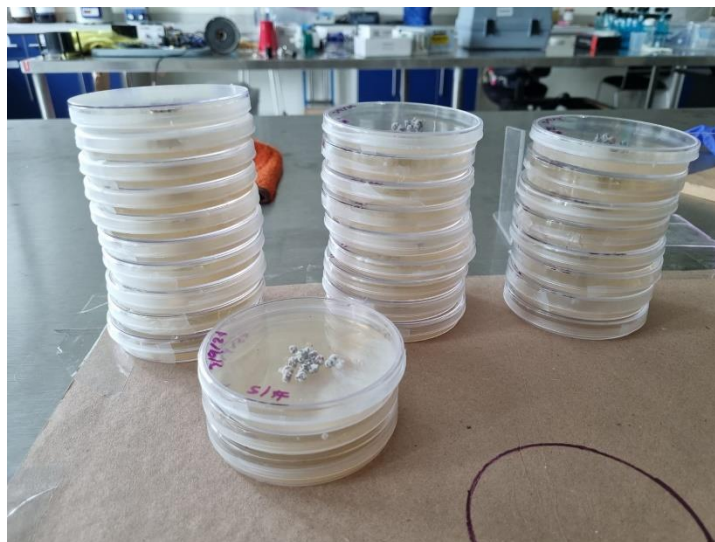


Figura 2.4. Placas Petri inoculadas previo al almacenamiento

2.4. Análisis cinético del crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus* en cajas petri

Para realizar el estudio cinético del hongo *P. ostreatus* se cuantificó y analizó el área de crecimiento diario del inóculo en cada caja petri. Para ello, se cubrió la mesa de trabajo del laboratorio de bioprocesos y análisis ambientales con papel craft. Se delimitaron dos espacios en el papel craft, uno con el contorno de las placas Petri y otro con el contorno de la base de la cámara. Estos espacios cumplieron la función de mantener una precisión constante en la toma de evidencias fotográficas.

Cada 24 horas por un periodo de nueve días se tomaron evidencias fotográficas de cada una de las placas Petri. Se nombraron las evidencias con base a su fecha de obtención y el número de repetición, esto con el fin de llevar un seguimiento de cada una de ellas.

2.4.1. Toma de datos en el programa ToupView

Los datos de la cinética de crecimiento fueron extraídos mediante el software ToupView. Este software permite determinar el área de crecimiento de cada una de las cajas petri mediante la opción polígono de las herramientas de medición. Con

esta herramienta se remarcó el contorno de la figura para que automáticamente se calculara el área de crecimiento. Finalmente, el software arrojó los resultados de área en pixeles, por lo que fue necesario transformar estos datos en centímetros cuadrados. Este proceso se repitió por cada una de las evidencias fotográficas, generando un total de 300 datos.

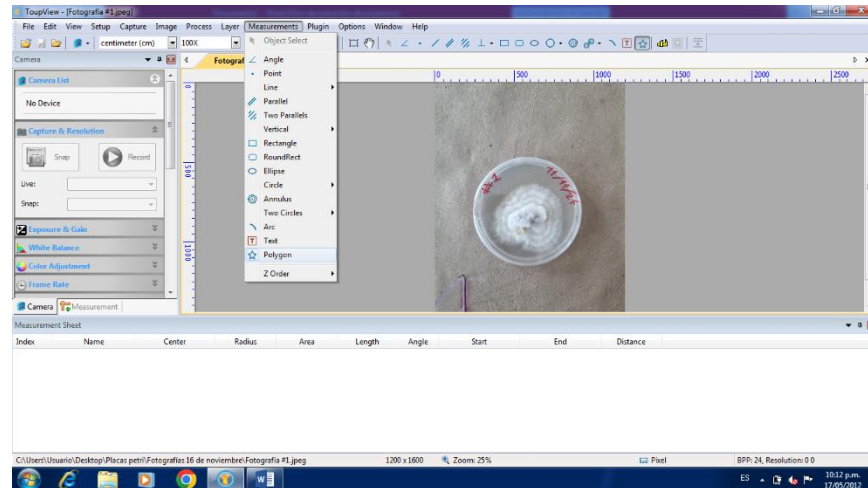


Figura 2.5. Imagen desplegada en software ToupView y selección de herramienta de medición

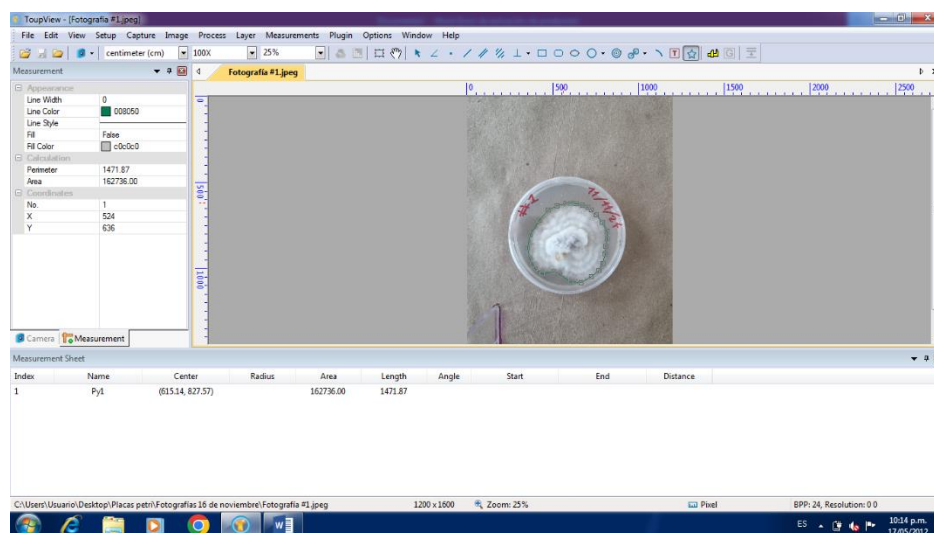


Figura 2.6. Extracción de datos en pixeles cuadrados

2.4.2. Análisis de datos y conversión de unidades

Para el cálculo de conversión entre pixeles cuadrados a centímetros cuadrados se tomó la medición del diámetro en centímetros de una placa Petri, una vez hecho esto, se tomó la medida de diámetro de la misma placa dentro del software ToupView. Estas mediciones arrojaron que 9 centímetros equivalen a 665 pixeles en las evidencias fotográficas.

Se tomó la equivalencia de un centímetro a pixeles dividiendo 665 entre 9. Esto arrojó que un centímetro es equivalente a 73.8 pixeles. Para conocer el valor de un centímetro cuadrado se elevó el valor de 73.8 al cuadrado. De esta manera se obtuvo la relación un centímetro cuadrado equivale a 5446.44 pixeles cuadrados.

Para conocer el área total de la placa Petri tanto en centímetros cuadrados como en pixeles cuadrados se aplicó la formula del área de un círculo: $A = \pi r^2$.

Una vez aplicada la formula se obtuvo que una placa Petri cuenta con 63.62 centímetros cuadrados y 347,323.52 pixeles cuadrados de área.

Cada 30 evidencias, equivalentes a un día, se promedió el área de crecimiento tanto en centímetros como pixeles cuadrados.

2.4.3. Generación de gráficas en Minitab y Excel

Una vez recolectados los datos se realizó el tratamiento de los mismos. Se utilizaron los softwares Minitab¹⁵ y Excel para realizar tablas y gráficas en relación con el crecimiento del micelio del hongo *P. ostreatus* como se observa en la figura 2.7.

Día posterior a la inoculaciónn	Número de placa	Área de crecimiento en cm²
0	1	2.5529
0	2	3.2164
0	3	3.8144
0	4	2.3215
0	5	4.3458
0	6	2.4175
0	7	2.5327
0	8	3.3225
0	9	4.4473
0	10	3.1876
*	*	*
9	13	62.3352
9	14	51.2089
9	16	58.4250
9	17	63.0002
9	19	41.5479
9	21	47.3307
9	22	63.4927
9	24	61.7418
9	25	40.9568
9	28	38.9396
9	30	61.5808

Figura 2.7. Tabla de crecimiento del micelio en Minitab15

Una vez ordenados todos los datos, se generó una gráfica de intervalos de área de crecimiento en centímetros cuadrados con el eje de las abscisas como los días posteriores a la inoculación y el eje de las ordenadas como el área de crecimiento en centímetros cuadrados. Todo esto en el software Minitab 15. El procedimiento se describe a continuación.

Dentro del menú “Estadísticas”, se seleccionó la opción “ANOVA”, en la cual se generó la gráfica de intervalos. La gráfica de intervalos contaba solamente con un eje de las abscisas con grupos. La variable de gráficas fue la columna de “Área de crecimiento en cm²”, mientras que, dentro de las variables categóricas para agrupación, solamente se seleccionó el “Día posterior a la inoculación”. Una vez finalizada la selección, el programa arrojó la gráfica señalada en la figura 2.8.

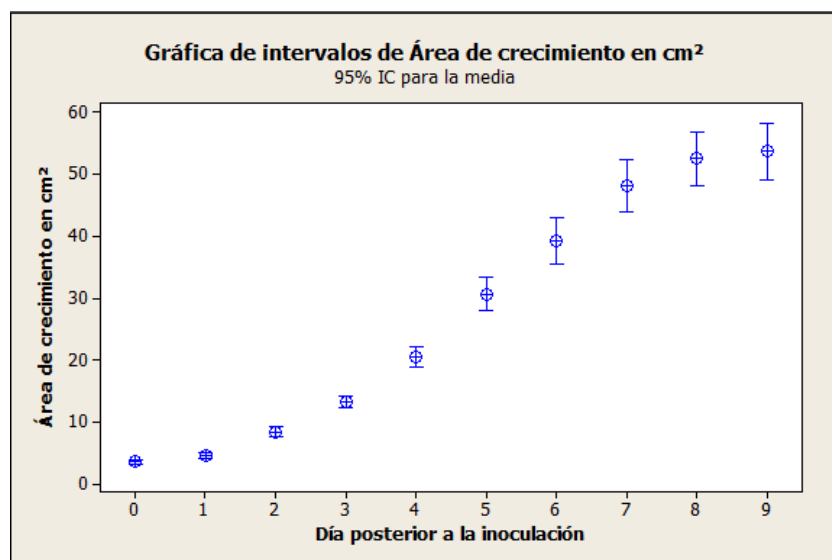


Figura 2.8. Gráfica de intervalos de área de crecimiento en centímetros cuadrados

Posteriormente se generaron nuevas gráficas en Excel para determinar el orden de reacción. Para realizar esto se diseñaron cuatro tablas, plasmadas en la Tabla 1.3.

Una vez diseñadas las tablas, se generaron tres gráficas de las diversas líneas de tendencia del crecimiento del hongo *P. ostreatus*. Para dichas gráficas se seleccionó la opción “Gráfica de dispersión” como se puede observar en la figura 2.9.

Habiendo generado la tabla, se agregó la línea de tendencia, para dicho agregado se seleccionó la opción con el símbolo “más” al costado de la gráfica y se dio click en el elemento de gráfica “Línea de tendencia” como se observa en la figura 2.10.

Tabla 1.3. Tablas de orden de crecimiento para identificar el orden de reacción del hongo *P. ostreatus*

Día	Área	Día	n=0	Día	n=1	Día	n=2
0	3.574	0	3.574	0	1.27368542	0	0.27979855
1	4.473	1	4.473	1	1.49805932	1	0.2235636
2	8.223	2	8.223	2	2.10693511	2	0.12161012
3	13.161	3	13.161	3	2.57725791	3	0.07598207
4	20.439	4	20.439	4	3.01744484	4	0.04892607
5	30.662	5	30.662	5	3.4230241	5	0.03261366
6	39.25	6	39.25	6	3.66995144	6	0.02547771
7	48.086	7	48.086	7	3.87299107	7	0.02079607
8	51.521	8	51.521	8	3.94198949	8	0.01940956
9	53.028	9	53.028	9	3.97082008	9	0.01885796

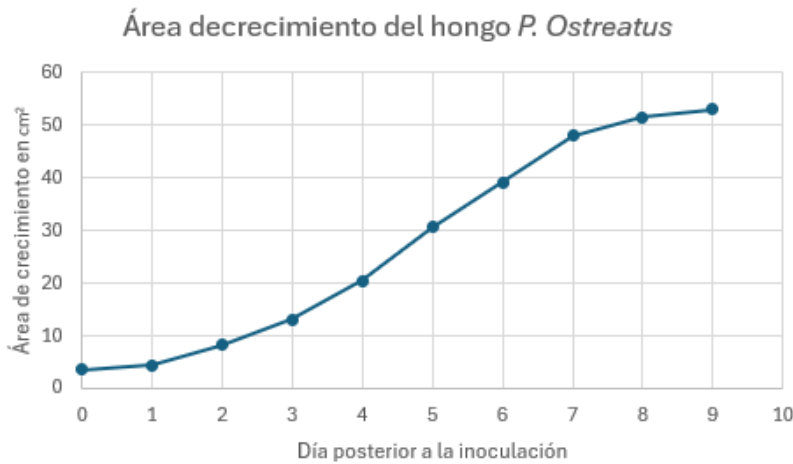


Figura 2.9. Área de crecimiento del hongo *P. ostreatus*

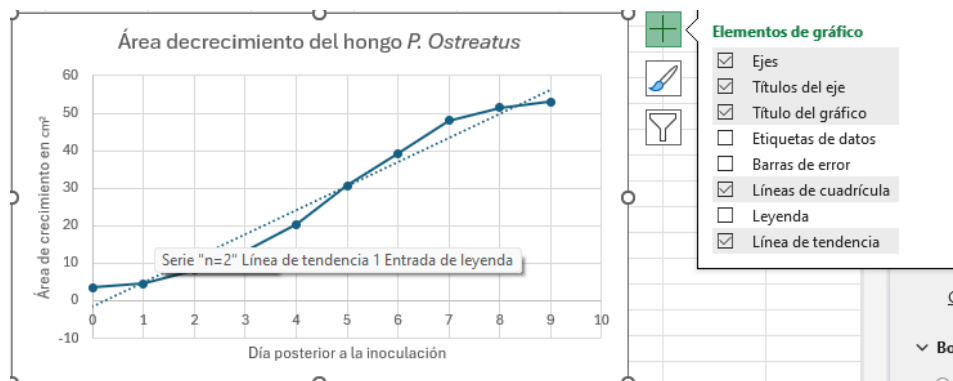


Figura 2.10. Línea de tendencia del crecimiento del hongo *P. ostreatus*

Dentro de la opción en línea de tendencia, se agregó la opción de “Presentar ecuación en la gráfica” y “Presentar el valor de R cuadrado en la gráfica” como se muestra en la figura 2.11. Esto se repitió en cada una de las tablas para determinar cuál línea de tendencia presentaba el mejor ajuste de correlación. Posteriormente, todos los resultados fueron linealizados para proceder a la comparación de mejor ajuste. Se escalaron los valores de las tablas utilizando una serie de reglas de correspondencia lineal a una serie de valores en común con el fin de agregar las tres líneas en una sola gráfica.

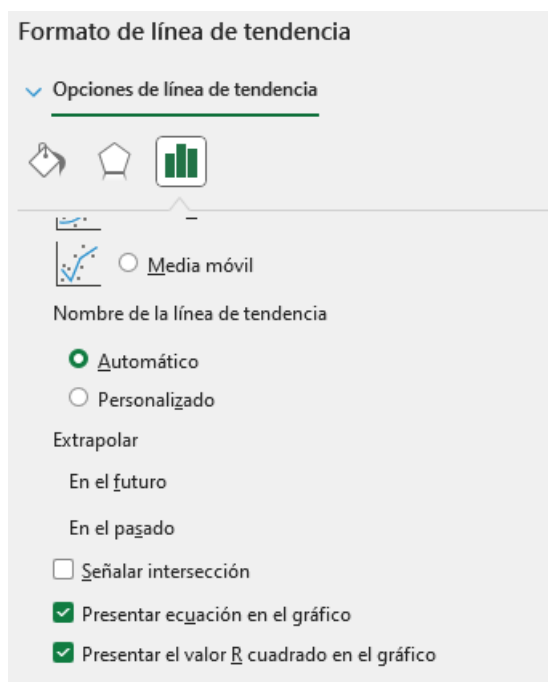


Figura 2.11. Ecuaciones y coeficientes de correlación obtenidos al graficar mediante los diferentes ordenes de reacción. Pasar a resultados

2.5. Inoculación del micelio en soca

Como etapa preliminar, se esterilizaron aproximadamente 60 gramos de soca. Para ello, se utilizó una autoclave de flama marca All American, modelo No. 50X.

Una vez la soca fue esterilizada, se inoculó con el micelio del hongo *P. ostreatus*. La inoculación se realizó dentro de una campana de flujo laminar, cuya zona de trabajo fue esterilizada con calor seco. Se tomó la soca esterilizada y se colocó en cuatro recipientes de plástico, para los cuales en dos se colocaron un disco de agar inoculado con el micelio en el centro de la soca. A los otros dos recipientes sólo se les introdujo la soca.

Antes de cerrar los recipientes con micelio y con ayuda de un aspersor manual, se roció agua hasta llegar a una humedad relativa de $\pm 75\%$.

Siguiendo lo recomendado por Gloria Cetz (2000), los recipientes se etiquetaron y se almacenaron en un contenedor oscuro a temperatura ambiente por un periodo de tiempo de 45 días.



Figura 2.12. Inoculación de micelio de *P. ostreatus* en soca.

2.6. Análisis de nutrientes

Una vez pasado un periodo de tres semanas, la soca fue colonizada en su totalidad por el micelio del hongo *P. ostreatus* tal como se muestra en la figura 2.13. En dicha figura, se observa como el micelio cubrió completamente la superficie de la soca, lo cual es directamente proporcional a la asimilación del sustrato (Fricker, 2007) .



Figura 2.13. Soca colonizada por el micelio de *P. ostreatus*

La muestra se trasladó a charolas de aluminio, las cuales se introdujeron al horno marca Yamato, modelo DX402C a una temperatura constante recomendada por Daniel Hernández (2003) de 105°C durante 18 horas como se muestra en la figura 2.14. Esto con el fin de retirar el micelio de la muestra de soca.



Figura 2.14. Eliminado del micelio del hongo *P. ostreatus* en soca

Posteriormente, la soca se retiró del horno para su trituración mediante un molino eléctrico modelo M150B hasta alcanzar una consistencia fina. Posteriormente, se tamizó la soca por un tamiz de 2 milímetros de ancho de poro como se observa en la figura 2.15. para evitar contaminación entre muestras de soca, el material se limpió a profundidad entre cada muestra.

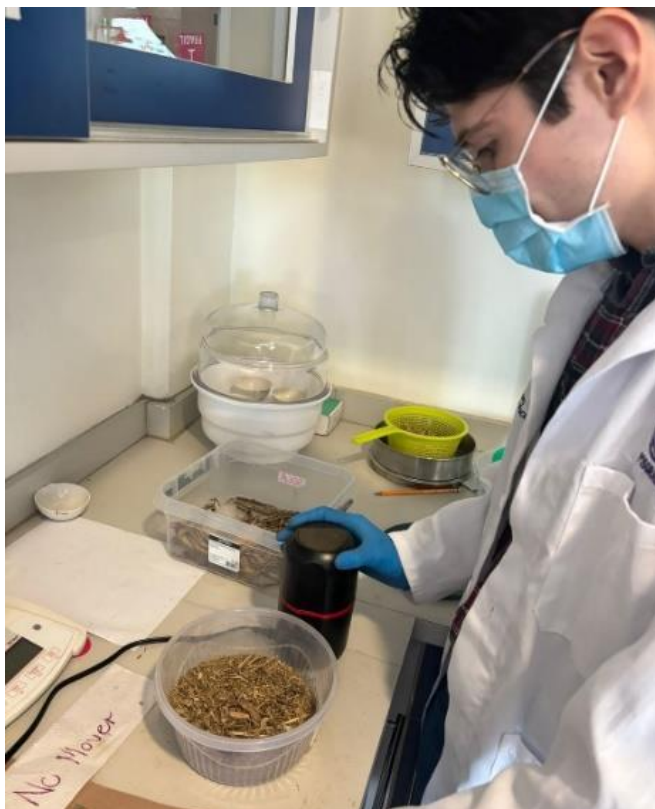


Figura 2.15. Triturado de soca mediante molino eléctrico modelo M150B

Una vez finalizado el tratamiento de soca, las muestras fueron almacenadas y etiquetadas en un par de recipientes de plástico esterilizados con alcohol de 70 grados. Figura 2.16.



Figura 2.16. Almacenamiento de muestras de soca.

Para la obtención del analito de interés se siguió la técnica del departamento de geografía de la universidad de Cambridge “Nitrate extraction from soil” basada en el método 52 en MAFF (1986) “The analysis of agricultural materials”.

Como solución extractante se realizó una solución de sulfato de calcio mezclando 7 gramos de sulfato de calcio con 2 litros de agua a 20 grados centígrados por 2 horas en el agitador magnético.

Una vez obtenido el analito de interés, se analizaron los niveles de nitrógeno presentes en estos mediante el método de sulfato de brucina descrito en la NMX-AA-079-SCFI-2001 “Análisis de aguas – determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas – método de prueba”.

Al haberse enfriado las muestras, se leyeron los patrones en el espectrofotómetro a 410 nm.

Una vez realizada la lectura, se aplicó la formula arrojada por la curva de calibración de los nitratos, la cual indica: $[\text{No}3 = (Abs - 0.0502)/1.3861$.

Finalmente se utilizó la técnica de ácido ascórbico para la determinación de fosfatos 4500-P E. basada en el principio de que el molibdato de amonio y el tartrato de potasio y antimonio reaccionan en medio ácido con ortofosfato para formar un ácido heteropólico, el ácido fosfomolibdico, que se reduce a azul de molibdeno de color tenso por ácido ascórbico.

Con base a lo anterior, se realizó la extracción del analito de interés siguiendo la técnica descrita en la técnica de determinación de fósforo por el método Olsen.

2.7. Diseño experimental y Análisis estadístico

Para evaluar el efecto de la inoculación del hongo *P. ostreatus* sobre la soca, se montaron dos experimentos en paralelos con los análisis descritos en las secciones 2.5. y 2.6. En uno de ellos se contenía únicamente soca y en el otro la soca inoculada con el micelio de *P. ostreatus*. En cada uno de los tratamientos se cuantificaron, como variables de salida, los nitratos y los fosfatos. En la tabla 1.4. se observa el diseño experimental que corresponde a bloques aleatorios simples para su posterior evaluación estadística mediante una prueba t de Student. En el caso de que los residuos siguieran alguna tendencia o no fueran heterogéneos, se aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon. Las corridas experimentales fueron realizadas por duplicado. Para todo lo anterior se utilizó el software Minitab 17.

Al no existir cambios significativos dentro en la concentración de nitratos en ambas muestras demuestra una biodisponibilidad de nitrógeno en las muestras. Esta biodisponibilidad se ve reflejada en que el organismo *P. ostreatus* se alimenta prioritariamente de lignina y secundariamente de nitrógeno, la disminución de nitratos demuestra una acción enzimática en el sustrato. Cabe recalcar que, a pesar de una concentración menor de nitratos, estos nutrientes se encuentren biodisponibles dado la ausencia de la lignina.

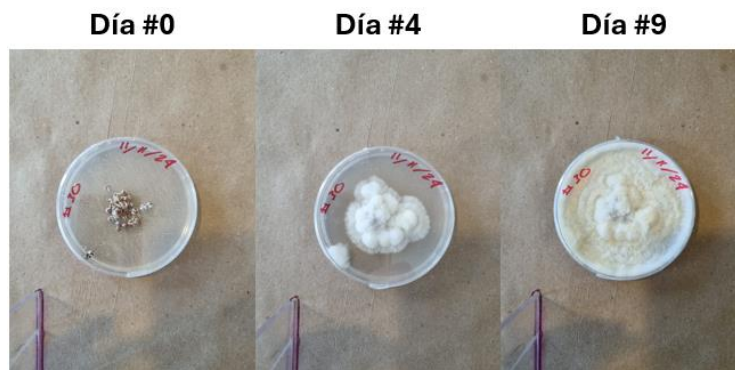
Tabla 1.4. Diseño experimental correspondiente a bloques aleatorios simples para su posterior evaluación estadística mediante una prueba t de Student.

Variable de salida sometida a análisis estadístico	Repeticiones en muestra de soca sin inóculo del hongo <i>P. ostreatus</i>	Repeticiones en muestra de soca con el inóculo del hongo <i>P. ostreatus</i>
Nitratos	2	2
Fosfatos	1	1

3. Resultados y discusión

3.1. Cinética de crecimiento del hongo *P. ostreatus*

En la figura 3.1 se observa el crecimiento del micelio del hongo *P. ostreatus* durante el periodo de tiempo de nueve días.



Figuro 3.1. Crecimiento del micelio del hongo *P. ostreatus*

En las figuras 3.2. y 3.3. se muestra la curva de crecimiento del hongo *P. ostreatus* generada mediante los datos de evidencias fotográficas. En la figura 3.3 se observan los datos tratados mediante las ecuaciones de los tres diferentes órdenes de reacción. Se denota que el ajuste a los órdenes de reacción $n = 0$ y $n = 1$ son prácticamente iguales, con 0.97 de ajuste para ambos. Si bien es conocido que los organismos vivos pasan por cuatro fases en su periodo de vida que corresponden al orden de reacción $n = 1$, el estudio cinético también indica que se ajusta al orden cero. Este último orden de reacción se caracteriza por un consumo de reactivos (sustrato o nutrientes) ilimitado y el crecimiento es proporcional, linealmente, a las cantidades de los reactivos suministrados (Laidler, 2014). En la presente investigación, el crecimiento del hongo *P. ostreatus* se realizó en cajas Petri de 90 mm y, cuando el crecimiento fue el máximo, el micelio abarcó toda el área. Por su puesto en condiciones abiertas (sin frontera termodinámica física) la fase asintótica, (característica de orden $n = 1$) hubiera sido más evidente. Por ende, el ajuste de orden $n = 1$ sería superior al de orden $n = 0$.

En la figura 3.2. se muestra una línea de tendencia del crecimiento de *P. ostreatus* de orden cero. Tanto para este orden como para orden $n = 1$. Se destaca que, a pesar de ser un tratamiento biológico, el contar con un crecimiento exponencial a partir del tercer día demuestra un grado de competitividad frente a procesos fisicoquímicos de tratamiento de residuos agroindustriales. Por ejemplo, la quema de soca (con sus múltiples impactos negativos) tarda aproximadamente tres días en consumir el residuo, el mismo tiempo que el micelio del hongo *P. ostreatus* alcanza su máximo crecimiento (equivalente en promedio al 40% de soca transformada en biomasa).

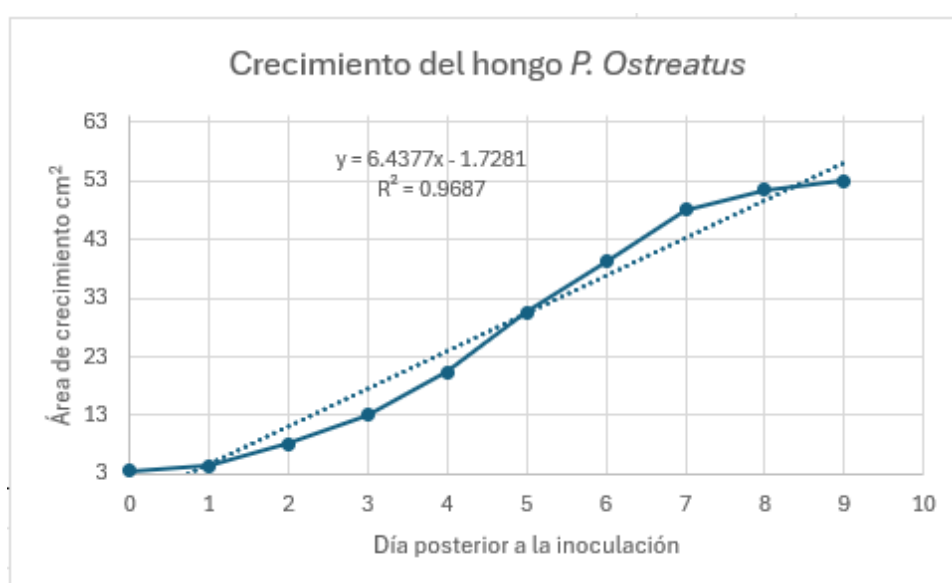


Figura 3.2. Crecimiento del hongo *P. ostreatus*

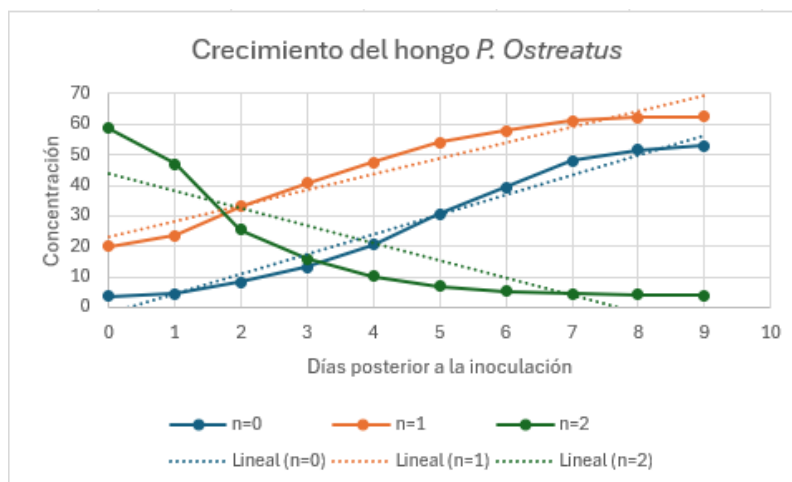


Figura 3.3. Comparación del crecimiento del hongo *P. ostreatus* evaluado mediante diferentes órdenes de reacción. $n = 0$ ($-R^2 = 0.97$); $n = 1$ ($R^2 = 0.94$); $n = 2$ ($R^2 = 0.76$)

3.2. Análisis de nutrientes

3.2.1. Análisis de nitratos

Al obtener las muestras, se leyeron los patrones en el espectrofotómetro. Los resultados arrojados por el equipo se muestran en la tabla 1.5. Subsecuentemente, las concentraciones reportadas tras aplicar la curva de calibración se exponen en la tabla 1.6. donde se muestra que las concentraciones de nitratos no cuentan con una diferencia significativa entre los dos tratamientos ($F = 25.09$; $-P = 0.140$). Esto refleja cómo el organismo no asimila una cantidad significativa de los nutrientes en forma de nitratos debido a que su principal fuente de recursos es la lignina. Deslignificando el sustrato y dejando sus nutrientes casi intactos (Lina Marcela Gil, 2012).

Aunado a esto, se obtuvieron valores de volumen distintos tras tamizar las muestras trituradas de soca inoculada y sin inocular. Esta diferencia se muestra en la figura 3.4. De lado izquierdo se observa la muestra de soca triturada inoculada con el hongo *P. ostreatus*, mientras que del lado derecho la muestra de soca sin inocular. La diferencia de volumen entre la soca inoculada con *P. ostreatus* y la soca sin inocular demuestra una deslignificación del sustrato (Sang Kyu Shin, 2019). Un sustrato como la soca sin presencia de lignina cuenta con mayor biodisponibilidad

en sus nutrientes debido a la acción de un organismo saprófito como lo es el hongo *P. ostreatus* (Zhifa Sun, 2018).

Tabla 1.5. Resultados arrojados tras el análisis espectrofotométrico

Muestra	Abs
Blanco	0.0
Muestra con hongo 1	0.104
Muestra con hongo 2	0.118
Muestra sin hongo 1	0.171
Muestra sin hongo 2	0.189

Tabla 1.6. Análisis ANOVA unidireccional de los nitratos presentes en las muestras de soca inoculadas con el hongo *P. ostreatus* y las muestras de soca sin inocular

Muestra	Concentración de NO₃ en mg/kg	RESID1
Muestra con inóculo 1	1.41 mg/kg	-0.00505
Muestra con inóculo 2	1.78 mg/kg	0.00505
Muestra sin inóculo 1	3.18 mg/kg	0.00000
Muestra sin inóculo 2	3.65 mg/kg	0.00000



Figura 3.4. Volumen de la soca inoculada frente a la soca sin inocular

3.2.2. Análisis de fosfatos

Tras el análisis de fosfatos, los resultados obtenidos al aplicar la curva de calibración se exponen en la tabla 1.7.

Tabla 1.7. Concentraciones de PO_4 encontradas en muestras de soca inoculadas y sin inocular en mg/kg

Muestra	Concentración de PO_4 , mg/kg
Muestra con hongo	52.22 mg/kg
Muestra sin hongo	42.36 mg/kg

Estos resultados muestran una concentración de fosfatos mayor en la soca inoculada con el hongo *P. ostreatus* que en la soca sin inocular. Además de esto, como ya se expresó en el análisis de nitratos, la muestra de soca inoculada con el hongo *P. ostreatus* cuenta con una ausencia de lignina la cual genera una biodisponibilidad de fosfatos en la soca.

En la figura 4.3 se muestra un contraste entre las concentraciones de fosfatos y nitratos de ambas muestras. En dicha gráfica se observa de manera clara las

distintas concentraciones de los nutrientes encontrados en las muestras de soca. Contrastando los datos de las muestras de soca inoculadas con el hongo *P. ostreatus*, se observa un incremento en el nivel de fosfatos, mientras que los niveles de nitratos descendieron.

Es importante mencionar que, debido a la lignina presente en la soca sin inocular, los nutrientes presentados en la gráfica no se encuentran biodisponibles para su aprovechamiento, sin importar su concentración.

Este conjunto de evidencias demuestra una biotransformación de la soca en un biomejorador de suelos dado a la actividad enzimática que el organismo tuvo sobre el sustrato inoculado.

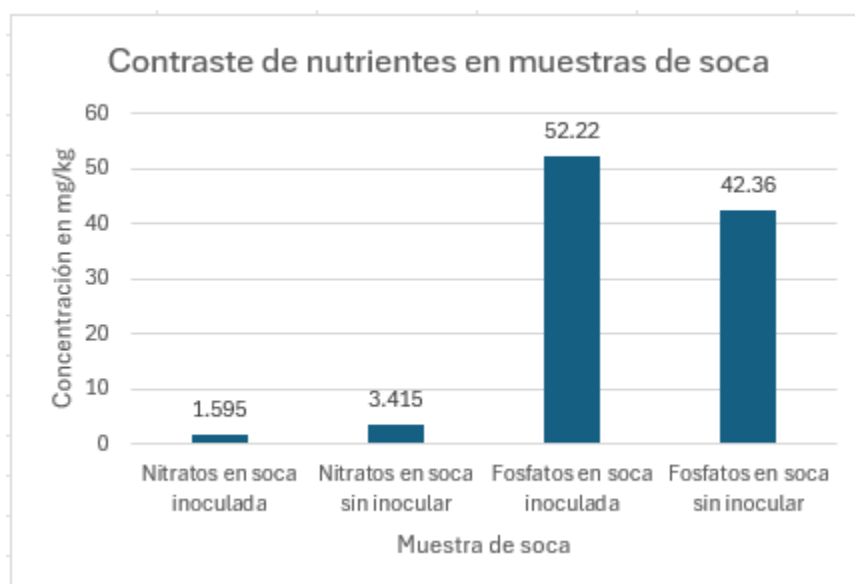


Figura 3.5. Concentración de nutrientes en soca

4. Conclusiones y recomendaciones

La implementación de un organismo saprófito como es el hongo *Pleurotus ostreatus* es una opción viable al momento de tratar un residuo vegetal de lenta degradación como es la soca.

La soca inoculada con el hongo *Pleurotus ostreatus* mostró una pérdida de lignina por la acción enzimática del organismo. Esto se observó a través de las diferencias de volumen entre muestras posterior a su trituración. Además, la textura de la muestra inoculada se presenta más suave y menos fibrosa.

La diferencia entre el volumen de masa de la muestra triturada de soca inoculada con el hongo *P. ostreatus* y la muestra de soca sin inóculo fue mayor al 50%, contando con un mayor volumen la muestra de soca inoculada. En un panorama a gran escala, esto se vería reflejado en una reducción de más del 50% de la soca quemada *in situ* en las tierras de cultivo si se implementa el hongo *P. ostreatus* como método de gestión de residuos.

Aunado a esto, la soca inoculada cuenta con niveles de nitratos y fosfatos del 0.04338 y 1.428 mg/kg respectivamente. Estas concentraciones de nutrientes convierten a la soca inoculada en un mejorador de suelos orgánico.

Debido a degradación de la lignina, los nutrientes presentes en la soca se encuentran biodisponibles para el aprovechamiento de plantas y/o microorganismos a la hora de ser incorporados en los suelos.

En conclusión, la soca sufrió una biotransformación por acción de las enzimas lignocelulíticas del hongo *Pleurotus ostreatus* que la convierten en un biomejorador de suelos con presencia de nutrientes en forma de fosfatos y nitratos.

5. Fuentes de información

- agropecuaria, l. n. (14 de agosto de 2023). *Argentina.gob.ar*. Obtenido de Los microorganismos son vitales para los ecosistemas: <https://www.argentina.gob.ar/noticias/los-microorganismos-del-suelo-son-vitales-para-los-ecosistemas#:~:text=Los%20microorganismos%20del%20suelo%20%E2%80%93 bacterias,de%20las%20funciones%20del%20ecosistema.>
- Agustín Maceada, M. S.-H. (22 de diciembre de 2021). *Madera y bosques*. Obtenido de Lignina: composición, síntesis, evolución: <https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/2137/2337#:~:text=La%20lignina%20es%20una%20de,patrones%20de%20evoluci%C3%B3n%20de%20esta.>
- Biomar. (15 de 04 de 2019). *Biomar. Microbial technologies*. Obtenido de Micorremediación. ¿Pueden los hongos ayudar a salvar el mundo?: <https://biomarmt.com/micorremediacion-pueden-los-hongos-ayudar-a-salvar-el-mundo/>
- CIEGSIN. (2021). *Agricultura indicadores por tema*. Obtenido de <https://estadisticas.sinaloa.gob.mx/eBooks/Temas/AGRICULTURA.pdf>
- CIEGSIN. (2023). *Centro de Información Estadística y Geográfica del Estado de Sinaloa*. Obtenido de Sinaloa es primero: https://estadisticas.sinaloa.gob.mx/EE_Sinaloav2.aspx#
- CONAHCYT. (29 de 11 de 2016). *Soca del maíz: fuente potencial de antioxidantes*. Obtenido de <https://www.ciad.mx/soca-del-maiz-fuente-potencial-de-antioxidantes/#:~:text=Como%20consecuencia%20del%20cultivo%20del,les%20lisma%20soca%20de%20ma%C3%ADz>
- Culiacán, A. d. (15 de Junio de 2023). *Ayuntamiento de Culiacán*. Obtenido de Instalan el comité contra quema de soca: <https://www.culiacan.gob.mx/prensa/instalan-el-comite-contra-quema-de-soca>
- Daniel Hernández, J. E. (2003). A simple procedure for preparing substrate for *Pleurotus ostreatus* cultivation. *Bioresource technology*.
- desarrollo, S. d. (13 de Julio de 2022). *Gobierno de México*. Obtenido de El fuego ya no es una alternativa: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-fuego-ya-no-es-una-alternativa#:~:text=El%20fuego%20en%20la%20agricultura,como%20la%20ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar.>
- Elvira Aguirre Acosta, M. U. (2014). Biodiversidad de hongos en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 6.
- Escandon, V. L. (08 de 11 de 2022). *Universidad del bosque*. Obtenido de Evaluación in-vitro de la biodegradación del glifosato en el suelo utilizando *Pleurotus Ostreatus*: <file:///D:/Usuario/OneDrive/Escritorio/Cin%C3%A9tica%20de%20crecimiento%20de%20P.%20Ostreatus/Antecedentes/Antecedentes%20%232/Evaluaci%C3%B3n%20in->

vitro%20de%20la%20biodegradaci%C3%B3n%20del%20glifosato%20en%20suelo%20utilizando%20Pleurotus%20ostreatus.p

Fricker, M. B. (2007). Biology of the fungal cell. *Springer*, 309-330.

Gabriela Vázquez Olivo, B. H. (29 de noviembre de 2016). CONAHCYT. Obtenido de Soca del maíz: Fuente potencial de antioxidantes: <https://www.ciad.mx/soca-del-maiz-fuente-potencial-de-antioxidantes/#:~:text=La%20soca%20de%20ma%C3%ADz%20se,sea%20aprovechado%20en%20forma%20correcta.>

Galván, S. C. (s.f.). *Los hongos comestibles y su cultivo. Historia, desarrollo actual y perspectivas en México y el mundo*. Obtenido de <https://sistemas.fciencias.unam.mx/~germoplasma/files/s6/Sierra%20Galvan.pdf>

García, E. (18 de Junio de 2024). *LUZ NOTICIAS*. Obtenido de Quema de soca en Sinaloa afecta el clima e inhibe la lluvia, según especialistas: <https://www.luznoticias.mx/2024-06-18/agro/quema-de-soca-en-sinaloa-afecta-el-clima-e-inhibe-la-lluvia-segun-especialistas/208706>

Garcilazo, F. M. (20 de Marzo de 2023). *CIMMYT*. Obtenido de ¿Qué es la microbiota de las plantas y por qué es importante estudiarlas?: <https://www.cimmyt.org/es/noticias/que-es-la-microbiota-de-las-plantas-y-por-que-es-importante-estudiarla/>

Hassan El-Ramady, N. A. (2022). Green biotechnology of oyster mushroom (*Pleurotus Ostreatus* L.): A sustainable strategy for myco.remediation and bio-fermentation. *MDPI*, 1-21.

INEGI. (2023). *Resultados definitivos del censo agropecuario 2022*. INEGI.

Jakubas Daunoras, A. K. (2024). Role of soil microbiota enzymes in soil health and activity changes depending on climate change and the type of soil ecosystem. *MDPI*.

Karl Ritz, I. M. (2004). Interactions between soil structure and fungi. *Mycologist*, 52-59.

Keith Paustian, N. R. (2006). *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Obtenido de Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero volumen 4 agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html>

Laidler, K. J. (2014). *Chemical Kinetics*. Ottawa: Pearson.

Lina Marcela Gil, K. M.-P. (2012). Influencia de la adición de una fuente de nitrógeno en la producción de ligninasas. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 173 - 181.

Main, D. (23 de 01 de 2020). *National geographic*. Obtenido de <https://www.nationalgeographic.es/ciencia/2020/01/descubren-fosil-hongo-mas-antiguo-del-mundo>

Montoya, I. A. (2006). *Reglamento de protección al ambiente del municipio de Salvador Alvarado*.

- OMS. (29 de noviembre de 2023). *Organización mundial de la salud*. Obtenido de Dioxinas: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/dioxins-and-their-effects-on-human-health>
- Rachele Malesani, A. P. (2021). Compost heat recovery systems: an alternative to produce renewable heat and promoting ecosystem services. *Environmental Challenges*.
- Ramírez, C. (23 de febrero de 2023). *Diario del sur*. Obtenido de Quema de basura y su daño en el medio ambiente: <https://www.diariodelsur.com.mx/doble-via/ecologia/quema-de-basura-y-su-dano-en-el-medio-ambiente-9664196.html>
- rural, S. d. (28 de 08 de 2016). *Los hongos y setas, tradición de buena alimentación*. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/los-hongos-y-setas-tradicion-de-buena-alimentacion#:~:text=En%20M%C3%A9xico%20se%20cultivan%20cinco,al%20ser%20cultivados%20en%20invernaderos>.
- Sang Kyu Shin, Y. J. (2019). Studies of advanced lignin valorization based on various types of lignolytic enzymes and microbes. *Bioresource Technology*.
- SC Chun, M. M. (2019). Mycoremediation of PCBs by *Pleurotus Ostreatus*: Possibilities and prospects. *Applied sciences*, 9.
- SIEGSIN. (2023). *SIEGSIN*. Obtenido de Estadísticas estatales: https://estadisticas.sinaloa.gob.mx/EE_Sinaloav2.aspx#
- Sinaloa, C. d. (15 de Agosto de 2020). *Congreso de Sinaloa*. Obtenido de Entrar en vigor reformas que penaliza quema de soca y eleva sanción a delitos ambientales: <https://www.congresosinaloa.gob.mx/comunicados/entran-en-vigor-reformas-que-penaliza-quema-de-socas-y-eleva-sancion-a-delitos-ambientales/>
- Sinaloa, U. A. (29 de 05 de 2019). *Quema de soca daña al medio ambiente y reduce la calidad de los suelos*. Obtenido de <https://dcs.uas.edu.mx/noticias/1604/quema-de-soca-dana-al-medio-ambiente-y-reduce-la-calidad-de-los-suelos>
- Springer. (2017). *Mycoremediation and environmental sustainability*. Springer.
- Tarakanov, V. (23 de 04 de 2024). *¿Qué es la erosión del suelo? ¿Cómo se puede estudiar y mitigar con técnicas nucleares?* Obtenido de Organismo Internacional de Energía Atómica: <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-erosion-del-suelo>
- Villegas, L. (14 de Junio de 2024). *Debate Sinaloa*. Obtenido de Sinaloa supera el récord de incendios forestales con 43 siniestros: <https://www.debate.com.mx/sinaloa/culiacan/Sinaloa-supera-el-record-de-incendios-forestales-con-43-siniestros-20240614-0069.html>
- Yanrong Zhang, D. W. (2020). Healthy function and high valued utilization of edible fungi. *Food science and human wellness*, 13.
- Zhifa Sun, J. B. (2018). Lipases for biofuel production. *Elsevier*.

6. Anexos

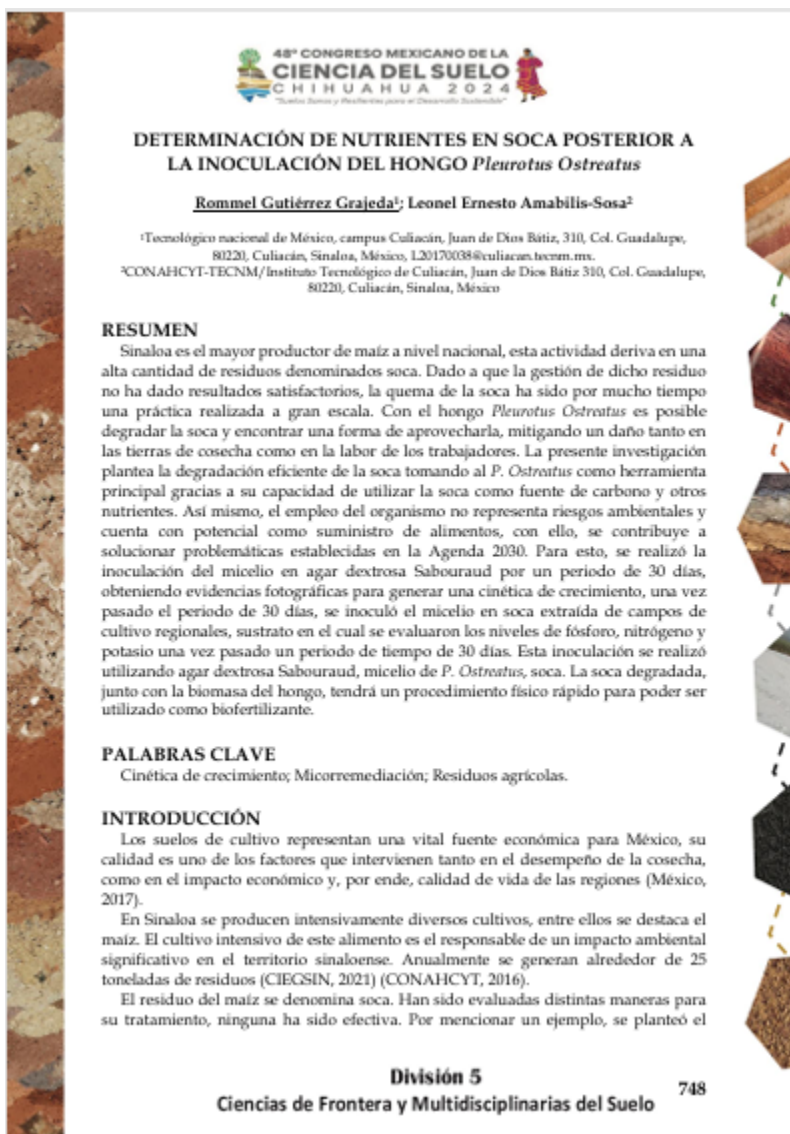
6.1. Análisis ANOVA unidireccional de Nitratos en el software Minitab

07/05 8:50:56						
Bienvenido a Minitab, presione F1 para obtener ayuda.						
ANOVA unidireccional: NO3 mg/kg vs. Tratamiento						
Fuente	GL	SC	MC	F	P	
Tratamiento	2	0.0025596	0.0012798	25.09	0.140	
Error	1	0.0000510	0.0000510			
Total	3	0.0026106				
Hoja de trabajo 1 ***						
↓	C1	C2	C3-T	C4	C5	C6
			Tratamiento	NO3 mg/kg	RESID1	
1			Con inóculo	0.0388	-0.00505	
2			Con inóculo	0.0489	0.00505	
3			Sin inóculo	0.0871	0.00000	
4			Sin inóculo	0.1001	0.00000	
5						
6						
7						

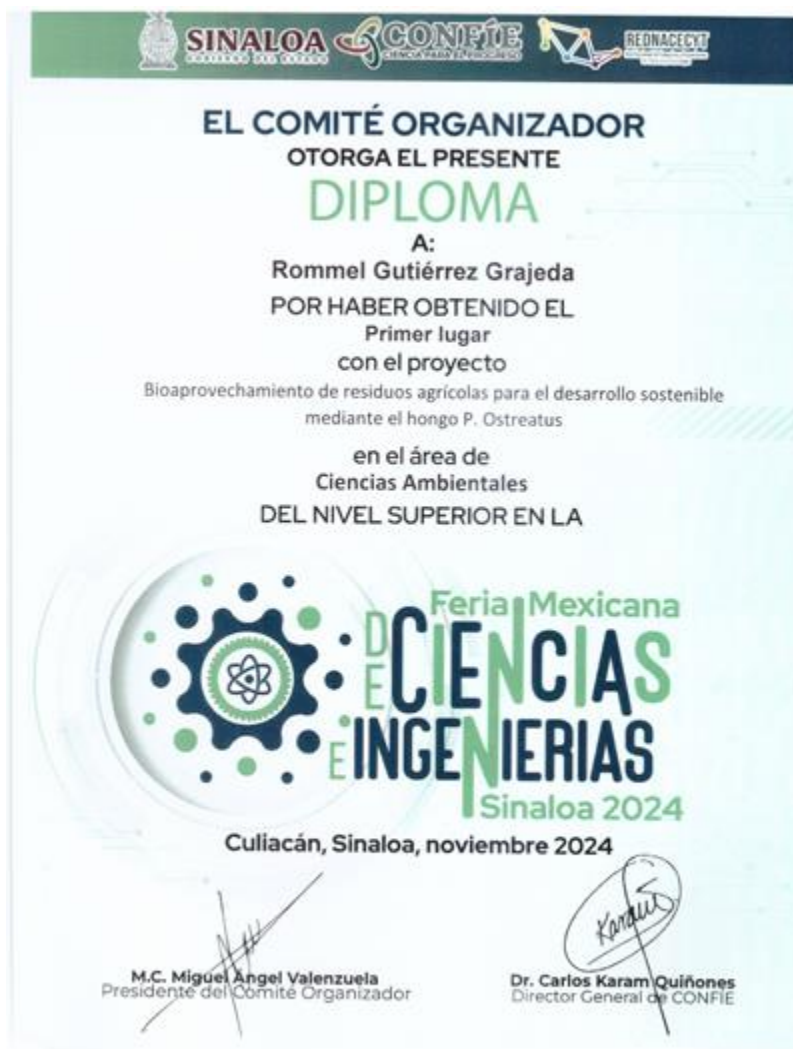
6.2. Reconocimiento por divulgación científica en la semana estatal del conocimiento Sinaloa 2024 “La ciencia en tiempos de crisis hídrica” otorgado por CECyTE



6.3. Publicación en memorias del congreso Ciencias del suelo Chihuahua 2024



6.4. Participación y obtención de primer lugar en la Feria Mexicana de Ciencias e Ingenierías 2024 etapa regional



6.5. participación en la Feria Mexicana de Ciencias e Ingenierías etapa nacional

