UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE BIOLOGÍA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

HONGOS COMO POTENCIALES BIORREMEDIADORES, UN ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL GÉNERO *ASPERGILLUS Y TRICHODERMA* PARA EL TRATAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS.

AUTOR(ES):

Jennifer Maribel Avila Quiroga

Jeimy Marimar Bermeo Espin

DOCENTE - TUTOR:

PhD. Elizabeth Del Carmen Ramírez Iglesias

Puyo - Pastaza - Ecuador

2023

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE BIOLOGÍA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

HONGOS COMO POTENCIALES BIORREMEDIADORES, UN ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL GÉNERO *ASPERGILLUS Y TRICHODERMA* PARA EL TRATAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS.

AUTOR(ES):

Jennifer Maribel Avila Quiroga

Jeimy Marimar Bermeo Espin

DOCENTE - TUTOR:

PhD. Elizabeth Del Carmen Ramírez Iglesias

Puyo - Pastaza - Ecuador

2023

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	Sin comentario
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	4.2/5	Cumple parcialmente, faltan detalles de la metodología.
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	18/20	Faltó profundizar en la relevancia del tema. Hay falencias en la estructuras de las ideas y los párrafos.
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	Sin comentarios
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	14/15	Falta profundizar en algunos detalles de la metodología

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	23/25	Faltó profundizar en la discusión de los resultados. Organización en las ideas y estructuras de los párrafos.
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Sin comentario
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Sin comentarios
VALORACIÓN TOTAL	94.2/100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	94.2/100

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
REINIER ABREU NARANJO

Reinier Abreu Naranjo

Dado en la ciudad de Puyo, a los 11 días del mes de marzo de 2023.

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO: Hongos como potenciales biorremediadores, un análisis comparativo entre el género *Aspergillus y Trichoderma* para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos.		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	Es apropiado
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	3.5/5	Hay debilidades en la traducción
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	Cumple con la descripción inicial del argumento
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	Está bien desarrollado
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	Cumple con los argumentos para el desarrollo de la metodología

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	25/25	El trabajo está muy bien estructurado
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	9/10	En redacción técnica es conveniente ser concretos
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Se han solventado las sugerencias
VALORACIÓN TOTAL	97.5/100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	**97.5/100**

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
SANDRA LUISA SORIA RE

Sandra Luisa Soria Re
docente PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los 10 días del mes de marzo de 2023

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA FACULTAD DECIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE BIOLOGIA

Puyo, 03 de febrero de 2023

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Jeimy Marimar Bermeo Espin, con C.I. 1500979552, con el Tema: "Hongos como potenciales biorremediadores, un análisis comparativo entre el género *Aspergillus y Trichoderma* para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos", de la carrera de Biología, Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 10%, Informe generado con fecha 03 de febrero del 2023 por parte del director, conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentesAtentamente,

ELIZABETH DEL CARMEN RAMIREZ IGLESIAS

Firmado digitalmente por ELIZABETH DEL CARMEN RAMIREZ IGLESIAS
Fecha: 2023.03.03 12:21:05 -05'00'

Dra. Ramírez-Iglesias Elizabeth., PhD

Docente-Tutor

Document Information

Analyzed document	Hongos como potenciales biorremediadores, un análisis comparativo entre el género Aspergillus y Trichoderma para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos. Final.docx (D159994723)
Submitted	2023-03-03 13:46:00
Submitted by	
Submitter email	jm.bermeoe@uea.edu.ec
Similarity	10%
Analysis address	ec.ramirezi.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-38962022000100178 Fetched: 2022-12-01 01:23:45	6
SA	**Grupo 1_Compuestos xenobióticos.pdf** Document Grupo 1_Compuestos xenobióticos.pdf (D157697372)	3
W	URL: http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/2267/1/2020KarenStefannyBecerraCorrea.pdf Fetched: 2021-11-24 05:29:38	3
W	URL: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172021000200155&script=sci_arttext&tlng=enCepero Fetched: 2023 03-03 13:46:00	1
SA	**d0834901301483040a4db18c312096dc87047cd1.docx** Document d0834901301483040a4db18c312096dc87047cd1.docx (D70508383)	4
W	URL: https://repositorio.utec.edu.pe/bitstream/20.500.12815/141/1/Arias%20Aguilar_TI.pdf Fetched: 2023 03-03 13:46:00	2
W	URL: https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/1350/BC-TES-TMP-183.pdf?sequenc... Fetched: 2023 03-03 13:46:00	1
W	URL: https://www.redunia.org/revista/index.php/redunia/article/view/40Fern Fetched: 2023-03-03 13:47:00	1
W	URL: https://revistas.uamerica.edu.co/index.php/rinv/article/view/227/222 Fetched: 2023 03-03 13:47:00	2
W	URL: http://www.riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/437/PEGHZD07T.pdf?sequence=1&isAll... Fetched: 2023 03-03 13:47:00	1
SA	**submission.pdf** Document submission.pdf (D110508920)	1
SA	**Trabajo Autónomo - Primer Parcial.pdf** Document Trabajo Autónomo – Primer Parcial.pdf (D152123540)	1
SA	**KAREN SOSA DEBER 1.docx** Document KAREN SOSA DEBER 1.docx (D54251853)	1

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA FACULTAD DECIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE BIOLOGIA

Puyo, 03 de febrero de 2023

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Jennifer Maribel Avila Quiroga, con C.I. 0106267172, con el Tema: "Hongos como potenciales biorremediadores, un análisis comparativo entre el género *Aspergillus y Trichoderma* para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos", de la carrera de Biología, Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 10%, Informe generado con fecha 03 de febrero del 2023 por parte del director, conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentesAtentamente,

ELIZABETH DEL CARMEN RAMIREZ IGLESIAS

Firmado digitalmente por ELIZABETH DEL CARMEN RAMIREZ IGLESIAS
Fecha: 2023.03.03 12:23:25 -05'00'

Dra. Ramírez-Iglesias Elizabeth., PhD

Docente-Tutor

Document Information

Analyzed document	Hongos como potenciales biorremediadores, un análisis comparativo entre el género Aspergillus y Trichoderma para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos. Final.docx (D159994723)
Submitted	2023-03-03 13:46:00
Submitted by	
Submitter email	jm.bermeoe@uea.edu.ec
Similarity	10%
Analysis address	ec.ramirezi.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-38962022000100178 Fetched: 2022-12-01 01:23:45	6
SA	**Grupo 1_Compuestos xenobióticos.pdf** Document Grupo 1_Compuestos xenobióticos.pdf (D157697372)	3
W	URL: http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/2267/1/2020KarenStefannyBecerraCorrea.pdf Fetched: 2021-11-24 05:29:38	3
W	URL: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172021000200155&script=sci_arttext&tlng=enCepero Fetched: 2023 03-03 13:46:00	1
SA	**d0834901301483040a4db18c312096dc87047cd1.docx** Document d0834901301483040a4db18c312096dc87047cd1.docx (D70508383)	4
W	URL: https://repositorio.utec.edu.pe/bitstream/20.500.12815/141/1/Arias%20Aguilar_TI.pdf Fetched: 2023 03-03 13:46:00	2
W	URL: https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/1350/BC-TES-TMP-183.pdf?sequenc... Fetched: 2023 03-03 13:46:00	1
W	URL: https://www.redunia.org/revista/index.php/redunia/article/view/40Fern Fetched: 2023-03-03 13:47:00	1
W	URL: https://revistas.uamerica.edu.co/index.php/rinv/article/view/227/222 Fetched: 2023 03-03 13:47:00	2
W	URL: http://www.riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/437/PEGHZD07T.pdf?sequence=1&isAll... Fetched: 2023 03-03 13:47:00	1
SA	**submission.pdf** Document submission.pdf (D110508920)	1
SA	**Trabajo Autónomo - Primer Parcial.pdf** Document Trabajo Autónomo – Primer Parcial.pdf (D152123540)	1
SA	**KAREN SOSA DEBER 1.docx** Document KAREN SOSA DEBER 1.docx (D54251853)	1

Hongos como potenciales biorremediadores, un análisis comparativo entre el género *Aspergillus y Trichoderma* para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos.

Jennifer Maribel Avila Quiroga[1]
jm.avilag@uea.edu.ec

Jeimy Marimar Bermeo Espin[1]

jm.bermeoe.uea.edu.ec

Ramírez-Iglesias E., PhD[2]

ec.ramirezi@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida,

Carrera de Biología

Resumen

La contaminación del suelo por derrames de petróleo perjudica los ecosistemas, afectando directamente a la salud humana y el ambiente. Estos suelos contienen una mezcla de hidrocarburos aromáticos policíclicos, muy comunes en el petróleo y son considerados potencialmente cancerígenos por su alta bioacumulación en los organismos vivos. Una alternativa para mitigar este problema es la biorremediación mediante el uso de hongos, ya que estos se consideran óptimos para degradar y descomponer los contaminantes del suelo. El objetivo del presente trabajo es comparar dos géneros de hongos *Aspergillus* y *Trichoderma* para la determinación del grado de efectividad en la degradación de hidrocarburos en suelos contaminados. Para ello, el método de investigación fue deductivo, junto con una revisión documental de información de fuentes bibliográficas relacionadas con el tema principal. Los resultados según el criterio de los autores destacaron que tanto *Trichoderma* como *Aspergillus* son capaces de degradar hidrocarburos, ya que poseen la capacidad de adaptarse a condiciones desfavorables, sin

embargo, el género A*spergillus* fue más eficiente al momento de degradar, crecer y de desarrollarse en ambientes tóxicos, debido a que utiliza estos contaminantes como única fuente de carbono. Parámetros ambientales como la temperatura, el pH, la disponibilidad de oxígeno y la humedad juegan un papel importante en el proceso de degradación de contaminantes, ya que garantizan una mayor eficiencia en el proceso. El uso de esta alternativa como método para degradar hidrocarburos garantiza la eficiencia, además es de bajo costo y amigable con el medio ambiente en relación con otras tecnologías.

Palabras claves: *Trichoderma*, *Aspergillus*, biorremediación, parámetros, hidrocarburos.

Abstract

Soil contamination from oil spills damages ecosystems, directly affecting human health and the environment. These soils contain a mixture of polycyclic aromatic hydrocarbons, which are very common in oil and are considered potentially carcinogenic due to their high bioaccumulation in living organisms. An alternative to mitigate this problem is bioremediation through the use of fungi, since these are considered optimal for degrading and decomposing soil contaminants. The objective of the present work is to compare two genera of *Aspergillus* and *Trichoderma* fungi to determine the degree of effectiveness in the degradation of hydrocarbons in contaminated soils. For this purpose, the research method was deductive, along with a documentary review of information from bibliographic sources related to the main topic. The results according to the authors' criteria highlighted that both *Trichoderma* and *Aspergillus* are capable of degrading hydrocarbons, since they have the capacity to adapt to unfavorable conditions, however, the genus *Aspergillus* was more efficient at the moment of degrading, growing and developing in toxic environments, due to the fact that it uses these pollutants as the only carbon source. Environmental parameters such as temperature, pH, oxygen availability and humidity play an important role in the pollutant degradation process, as they ensure greater efficiency in the process. The use of this alternative as a method to degrade hydrocarbons guarantees efficiency, in addition to being low cost and environmentally friendly in relation to other technologies.

Keywords: *Trichoderma*, *Aspergillus*, bioremediation, parameters, hydrocarbons.

1. INTRODUCCIÓN

La explotación de recursos naturales es un grave problema que afecta drásticamente a los ecosistemas, una de las principales amenazas es la extracción de petróleo lo que puede ocasionar derrames del mismo provocando la contaminación del suelo, agua y el aire. En Ecuador, la industria petrolera es la principal fuente de ingresos del país, es considerado uno de los principales países exportadores de petróleo de América Latina, pero también ha provocado grandes desastres en el medio ambiente, tales como la fragmentación de la estructura del suelo, pérdida de nutrientes y ausencia de materia orgánica. Las poblaciones cercanas a los pozos petroleros también se han visto afectadas por causa de los derrames y el mal tratamiento de sus derivados. Este problema se ve reflejado en la Amazonía ecuatoriana ya que allí se encuentran las principales refinerías petroleras (Jiménez, 2020).

Los derrames de hidrocarburos son considerados como un daño deliberado al ambiente perjudicando directamente a la vida, ya que no solo representa un peligro para la salud humana sino para el medio. Los suelos contaminados por el petróleo poseen una mezcla de hidrocarburos aromáticos policíclicos, estos son muy comunes del petróleo, por la cual se han considerado potencialmente cancerígenos para los animales y humanos debido a su alta bioacumulación en el organismo vivo (Rodríguez et al., 2022).

Una alternativa a este problema es emplear la biorremediación para mitigar el daño causado por lo derrames mediante la utilización de hongos, ya que éstos son considerados óptimos para degradar y descomponer los contaminantes, inactivarlos o atenuar su efecto en el suelo (Villaveces, 2019). Los hongos cumplen varias funciones dentro de los ecosistemas, pueden ser usados para monitorear el estado de conservación del ambiente, indicar el grado de disturbio y a su vez detectar la presencia de contaminantes en el suelo, ya que posee la capacidad de bioacumular elementos radiactivos, lo cual favorece su uso en la biorremediación (Zaragozano y Moreno, 2021).

Además, los hongos se caracterizan por poseer una gran variedad de componentes para remover metales pesados, en el caso del hongo *Trichoderma* puede absorber cadmio (Cd), estas especies se encuentran comúnmente en todos los tipos de suelos. El género *Aspergillus* también posee características óptimas para adaptarse a medios contaminados y es tolerante a altas concentraciones de metales (Cayotopa et al., 2021).

El objetivo del presente trabajo es comparar dos géneros de hongos *Aspergillus* y *Trichoderma* para la determinación del grado de efectividad en la degradación de hidrocarburos en suelos contaminados.

2. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de Investigación

El tipo de estudio del trabajo se considera descriptivo analítico, en la medida que permite interpretar los reportes científicos consultados, para la generación de una investigación de carácter teórico, del cual se acopló a la elección y compilación de información a través de lectura crítica de documentos y materiales de carácter científico con relación a los hongos como biorremediadores, en un análisis entre el género *Aspergillus* y *Trichoderma* para la determinación del grado de efectividad en la degradación de hidrocarburos en suelos contaminados (Rodríguez & Pérez, 2017).

2.2 Métodos De Investigación

Los métodos que se aplicaron en la investigación fueron método deductivo, con el fin de conocer el grado de eficacia tanto del género *Aspergillus* como de *Trichoderma* para degradar hidrocarburos en suelos contaminados. Así mismo, se empleó una revisión documental, a fin de recopilar la información divulgada en los últimos años en las diferentes fuentes bibliográficas (Rodríguez & Pérez, 2017).

2.3 Procedimiento Para La Obtención De Información

De acuerdo a la metodología de revisión sistemática propuesta por Rodríguez y Pérez (2017) la revisión del estado del arte sobre los hongos como potenciales biorremediadores para el tratamiento de suelos contaminados por hidrocarburos a través de un análisis comparativo del género *Aspergillus y Trichoderma,* inició con la consulta de diversos artículos desde el año 2009 al 2022, así como también trabajos de varios autores con alto valor científico, con la finalidad de informar acerca de los resultados más relevantes al respecto. Se realizó una búsqueda exhaustiva en diferentes bases de datos bibliográficos tales como: Refseek, Google Scholar, Redalyc y SciELO. El presente artículo de revisión sintetizó información recopilada de 40 fuentes de diversas referencias entre proyectos, artículos, libros y tesis, entre los estudios que arrojaron las búsquedas se seleccionó 27 artículos científicos del cual 23 artículos son en español y 4 en inglés, 11

tesis de grado y posgrado, y 2 libros ajustados por poseer información encaminada al tema principal.

El método empleado para facilitar el cumplimiento del objetivo planteado fue mediante revisión bibliográfica tomando en cuenta la metodología formulada por Rodríguez y Pérez (2017). Se procedió con la exploración de información científica especializada en el tema de hongos como potenciales biorremediadores enfocado en el grado de efectividad de los géneros para degradar hidrocarburos en suelos contaminados, a través del cual se realizó lectura de los artículos científicos publicados en revistas científicas especializadas de reconocimiento, aquella información tomada por las bases de datos vía internet, tales como: SciELO, Redunia, Química viva y Redilat. Se empleó Google Académico como buscador bibliográfico para determinar información en base a las visitas recolectadas en las páginas, y por poseer suscripciones a numerosas revistas a las que tiene acceso directo (Rodríguez y Pérez, 2017).

En función de las revisiones realizadas, los resultados son analizados bajo tres parámetros: Se inicio con "Principales impactos causados por los hidrocarburos en el medio ambiente y en el ser humano" haciendo énfasis en los daños causados por los contaminantes en los diferentes campos, seguido de "Biodiversidad fúngica que participa en la biorremediación de hidrocarburos" que analiza los porcentajes de degradación de los compuestos tóxicos por las distintas especies de los géneros propuestos, y finalmente con "Factores que influencian en la biodegradación de contaminantes" que da a conocer la importancia de que tienen los distintos parámetros en la participación de microorganismos en el proceso de degradación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica en función de los géneros propuestos se dio a conocer las enzimas degradadoras que actúan en los suelos contaminados con hidrocarburos para facilitar el proceso de biorremediación (Tabla 1). Como lo mencionan Hidalgo et al., (2020) los microorganismos correspondientes a phyla de Bacteria y Archaea, así como también Eucarya con el Reino Fungi y la división Ascomycota en la que se incluyen géneros fúngicos que son capaces de degradar aeróbica y/o anaeróbicamente muchos hidrocarburos.

Tabla 1

Enzimas degradadoras presentes en el género Trichoderma y Aspergillus

Género	Enzimas
Trichoderma	Lacasa, catalasa**,** manganeso peroxidasa
Aspergillus	Ligninolíticas (lignina peroxidasa, manganeso peroxidasa, lacasa)

3.1 PRINCIPALES IMPACTOS CAUSADOS POR LOS HIDROCARBUROS EN EL MEDIO AMBIENTE Y EN EL SER HUMANO

Los impactos negativos que tiene los hidrocarburos en el medio ambiente y en la salud en gran medida son irreversibles, por eso es muy importante conocer sus propiedades y cuáles son los riesgos para la salud (Tabla 2), así mismo la clasificación en la IARC (Agencia Internacional de Investigación sobre Cáncer) en la que se le clasifica en tres grupos. Grupo 1: incluye a aquellos agentes que son considerados cancerígenos para el ser humano. Grupo 2A: incluye a aquellos que probablemente lo sean. Grupo 2B: aquellos posibles cancerígenos para el ser humano. Autores como Hidalgo et al., (2020), Argumedo et al., (2009) han escrito sobre lo complejo que es la mezcla de hidrocarburos, por eso han sido clasificados según su solubilidad en solventes orgánicos y agua. Según Fernández (2020) en su tesis reporta los cuatro grupos en los que se dividen los hidrocarburos, tales como hidrocarburos saturados y aromáticos, resinas y asfaltenos. Por otro lado, Maddela et al, (2015) hacen énfasis en los daños causados al medio ambiente que va desde la infertilidad de los suelos hasta contaminación de riachuelos y cultivos, estas afecciones dejan a ecosistemas completos inhabilitados por contaminantes tóxicos lo que ocasiona un declive en las cadenas tróficas ya que estos contaminantes tardan mucho tiempo en degradarse por completo siempre y cuando se le aplique un plan de biorremediación de lo contrario estos ecosistemas quedan destruidos y abandonados.

Tabla 2

Principales riesgos para la salud y medio ambiente causados por los hidrocarburos

Hidrocarburo	Clasificación IARC	Riesgos para la salud y medio ambiente
Benceno	1	Cancerígeno, si se inhala del aire o de alimentos y bebidas contaminadas depositándose en el sistema gastrointestinal, también contamina el suelo por medio vertederos de residuos sólidos.
Naftaleno	2A	Dolor de cabeza, náuseas, vómitos e irritación en la piel, tóxico para la vida acuática y el suelo.
Fenantreno	-	Dañino cuando se ingiere y tóxico para la vida acuática.
Antraceno	2B	La inhalación causa tos, falta de respiración, dolor de garganta. Bioacumulación en organismos acuáticos y plantas.
Pireno	2B	Tóxico e irritante para los riñones y el hígado.
Fluoranteno	1	Vía oral toxicidad aguda e irritación ocular, además provoca efectos tóxicos agudos en los animales acuáticos.
Benzo-pireno	1	Cáncer de pulmón, vejiga, labio, boca, laringe, melanoma y sistema linfático.
Ace-naftileno	2A	Cáncer, toxicidad aguda en contacto con la piel, irritación en la piel y los ojos.

Adaptado de Rodríguez et al., (2022)

3.2 BIODIVERSIDAD FÚNGICA QUE PARTICIPA EN LA BIORREMEDIACIÓN DE HIDROCARBUROS

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos de Salazar (2017), Jiménez (2020), Becerra (2020), Argumedo et al., (2009), Cruz y Lincango (2021) quienes mencionan en sus trabajos de investigación que el género T*richoderma* es considerado apto para el proceso de biorremediación de hidrocarburos ya que algunas especies del mismo tienen la capacidad de degradar contaminantes hasta un 89%. Concluyen que el potencial para degradar contaminantes se debe a que T*richoderma* es capaz de adaptarse

a condiciones ambientales desfavorables y a distintos sustratos, gracias a su actividad enzimática y resistencia a inhibidores microbianos.

Tabla 3

Especies representativas del género Trichoderma para determinar la capacidad de degradación de hidrocarburos

Contaminantes	**Hongo Biorremediador**	**Capacidad de degradación de hidrocarburos**
Benceno	*Trichoderma harzianum*	Salazar (2017) argumenta en su proyecto de investigación que *Trichoderma harzianum* no solo es utilizada en la degradación de hidrocarburos como es el benceno con el 60% de degradación, sino también es utilizada en la agricultura por su alta tolerancia a contaminantes.
Naftaleno	*Trichoderma spp*	Becerra (2020) alega en su investigación que *Trichoderma spp* es apta para la eliminación de contaminantes en el suelo, así como el naftaleno con un 81% de degradación, por su alta tolerancia a este contaminante.
Fenantreno	*Trichoderma asperellum T. longibrachiatum*	Becerra (2020) resalta en su estudio que *Trichoderma asperellum* tiene la capacidad de eliminar grandes cantidades de contaminantes por su actividad enzimática, así como el fenantreno ya que puede degradar hasta un 76%.
Antraceno	*Trichoderma Longibrachiatum*	En su investigación Becerra (2020) argumenta que *Trichoderma* l*ongibrachiatum* es considera una de las especies de *Trichoderma* más aptas para la degradación de contaminantes. El

		antraceno tiene un valor de degradación del 89%.
Pireno	*Trichoderma viride* *T. harzianum* *T. asperellum*	Becerra (2020) destaca en su artículo que *Trichoderma harzianum y T. asperellum* son especies altamente utilizadas para la biorremediación por su alta tolerancia a contaminantes y por inducir la producción de enzimas en el proceso de degradación. Tienen la capacidad de degradar hasta el 80% de pireno.
Fluoranteno	*Trichoderma reesei* *T. Longibrachiatum*	Becerra (2020) manifiesta en su investigación que *Trichoderma* l*ongibrachiatum* posee una alta actividad enzimática por la cual puede degradar contaminantes del suelo como es el fluoranteno con un valor de 88%, mientras que *T. reesei* llega a degradar hasta un 58%.
Benzo-pireno	*Trichoderma viride* *T. reesei*	Becerra (2020) menciona en su investigación que *Trichioderma reesei* tiene una alta eficacia en la degradación del benzo-pireno con un 54%. Mientras que Argumedo et al., (2009) argumentan en su artículo que *T. viride* presenta una degradación del 50% de benzo-pireno.
Ace-naftileno	*Trichoderma spp*	Cruz y Lincango (2021) dan a conocer en su trabajo de grado que T*richoderma spp* con el 76% se considera apta para descomponer altas concentraciones de contaminantes en el suelo.

En la tabla 4 se muestra resultados obtenidos de Araujo et al., (2016), Pernía et al., (2012), Guzmán (2019) y Petit et al., (2013) quienes en sus trabajos de investigación

reportan que el género *Aspergillus* es uno de los más representativos del reino fungi para la biorremediación, ya que algunos contaminantes tales como naftaleno, fenantreno, fluoranteno y pireno tiene la capacidad de degradar hasta el 99% en un período determinado. Dichos autores concluyen que los valores obtenidos con relación a su eficacia son gracias a que el género posee la capacidad de crecer y desarrollarse en ambientes salinos y utiliza estos contaminantes como única fuente de carbono.

Tabla 4

Especies representativas del género Aspergillus para determinar la capacidad de degradación de hidrocarburos

Contaminantes	Hongo Biorremediador	Capacidad de degradación de hidrocarburos
Benceno	*Aspergillus niger*	Araujo et al., (2016) mencionan en su artículo que *Aspergillus niger* puede degradar con gran facilidad hidrocarburos esto se debe a que posee una gran capacidad enzimática ya que logró degradar hasta un 68% en un período de 30 – 90 días y en un período de 90 -180 días puede llegar a un porcentaje mayor al 90%.
Naftaleno	*Aspergillus niger* *A. versicolor*	Pernía et al., (2012) manifiestan en sus reportes que *Aspergillus niger y A. versicolor* posee la capacidad de degradar naftaleano en casi el 99% y en un período de 7 días, el naftaleno posee la mayor cantidad de especies con potencial para biodegradarlo.
Fenantreno	*Aspergillus sydowii*	Guzmán (2019) alega en su tesis que *Aspergillus sydowii* es un candidato prometedor para emplearlo en estudios de biorremediación puesto que en las investigaciones realizadas en dicho trabajo

		fue capaz de degradar hasta un 73% fenantreno en un período de 10 días.
Antraceno	*Aspergillus versicolor*	Petit et al., (2013) argumentan en su investigación que *Aspergillus versicolor* tiene la habilidad para colonizar un medio distinto al autóctono, en su estudio muestra las tasas de degradación las cuales en 60 días de incubación resultaron en un 5% y 25% para degradar antraceno, además menciona que estos niveles llegan a ser bajos comparado con estudios empleados en cultivos líquidos contaminados con hidrocarburos.
Pireno	*Aspergillus versicolor*	Petit et al., (2013) en su artículo resaltan la capacidad de *Aspergillus versicolor* para crecer en medios contaminados con hidrocarburos por lo que en sus resultados en los que tiene un mayor crecimiento y por ende mayor degradación de pireno es hasta de un 20% dado que posee una alta producción de enzimas tales como la lignina peroxidasas y lacasa.
Fluoranteno	*Aspergillus versicolor*	Petit et al., (2013) destacan en sus resultados la capacidad de degradación de *Aspergillus versicolor* hasta en un 10,6% de fluoranteno en un período de incubación de 60 días.
Benzo-pireno	*Aspergillus sydowii*	Guzmán (2019) enfatiza en su tesis que *Aspergillus sydowii* es capaz de sobrevivir y crecer en medios contaminados con hidrocarburos puesto que utiliza el medio como fuente de carbono por lo que logra

		degradar hasta un 58% en un período de 4 días.
Ace-naftileno	*Aspergillus japonicus*	Guzmán (2019) se refiere a *Aspergillus japonicus* como una de las especies más efectivas del género *Aspergillus* para degradar hidrocarburos puesto que en su estudio reporta que dicho hongo es capaz de degradar hasta un 80% los contaminantes en 14 días.

3.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA BIODEGRADACIÓN DE CONTAMINANTES

En la tabla 5 se muestra los parámetros ambientales que influyen en el proceso de biodegradación de contaminantes, mostrando las condiciones óptimas para el desarrollo y crecimiento de los hongos que llevan a cabo el proceso de biodegradación de hidrocarburos. Autores como Villaveces (2019) y Pinto (2018) resaltan la importancia de los parámetros como temperatura, pH, disponibilidad de oxígeno y humedad.

Tabla 5

Parámetros ambientales que influyen en el proceso de biodegradación de contaminantes.

Parámetros	Criterios
pH	Según Villaveces (2019) en su investigación reporta que el pH es un factor importante para el desarrollo de hongos, debe estar en un rango de 3.5 a 6.8 unidades, aunque el rango optimo e idóneo esta entre valores de 4.5 a 5.5 para que los dos géneros de la división Ascomycota puedan desarrollarse y aumentar su eficacia en el proceso de degradación.
Temperatura	Hernández et al., (2019) en su documento resaltan que la temperatura es uno de los parámetros esenciales para el metabolismo de los microorganismos degradadores, *Aspergillus* y *Trichoderma* al ser organismos mesófilos su temperatura ideal oscila entre los 25-30ºC, pero también son capaces de crecer en un ambiente frio de hasta 10°C, así como resistir una alta temperatura de 45ºC.

Humedad	Villaveces (2019) en su trabajo de investigación menciona que la humedad cumple un rol importante en el desarrollo de los hongos, ya que si esta es escasa el desarrollo del hongo será afectado como consecuencia existirá un decrecimiento en la población del mismo. Estrada & Ramírez (2019), resaltan en su trabajo que la mayoría de los hongos requieren abundante humedad ya que esta puede llegar a ser un factor limitante en su crecimiento si sus valores no son mayores al 70%.
Disponibilidad de Oxígeno	Según Villaveces (2019) el oxígeno cumple uno de los roles más importantes en la capacidad de biodegradación, los géneros de hongos presentados al ser aerobios requieren de oxígeno, la ausencia de este puede causar un impacto negativo por lo que se ve afectado su crecimiento y por ende el desarrollo de su metabolismo. Los microorganismos tales como hongos y bacterias tienen la capacidad de oxidar compuestos orgánicos o inorgánicos, obteniendo así la energía necesaria para su crecimiento.

Maddela et al., (2016) enfatizan que la contaminación causada por hidrocarburos es una problemática que afecta al suelo, los ríos, arroyos, y las aguas subterráneas por lo que comunidades cercanas a estos ecosistemas se ven expuestos a estos compuestos que producen agentes cancerígenos, por lo cual argumenta que la utilización de microorganismos como hongos y bacterias es una de las mejores alternativas para el proceso de biorremediación, ya que este método además de ser de bajo costo posee gran efectividad.

Araujo et al., (2016) realizaron un estudio de investigación utilizando el género A*spergillus,* en el cual de acuerdo con el tiempo establecido presentaron diversos porcentajes de degradación, en los primeros días del 8-15 el porcentaje fue superior al 10%, y en los últimos 180-360 días la remoción y conversión total de hidrocarburos fue exitosa. Algunos estudios similares a este trabajo han presentado porcentajes de degradación de hidrocarburos del 72-95% hasta un 99%, concluyendo que *Aspergillus* tiene la capacidad de degradar hidrocarburos.

Argumedo et al., (2009) elaboraron un estudio en el que hacen énfasis la relación de los compuestos orgánicos con el género *Trichoderma*, resaltan la capacidad enzimática de ciertas especies del género que contribuyen a la degradación de hidrocarburos, poseen la capacidad de transformar estos contaminantes en compuestos que presentan una toxicidad menor o incluso mayor al compuesto original. Especies como *Trichoderma harzianum,* lograron degradar compuestos contaminantes tales como pireno entre el 35% y 65%.

4. CONCLUSIONES

Se encontró que, en las diversas investigaciones realizadas por los distintos autores, *Aspergillus y Trichoderma* poseen una gran capacidad para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, esto debido a que toleran ambientes tóxicos y se adaptan a ellos, por lo que crecen y se desarrollan utilizando estos contaminantes como única fuente de carbono, las distintas especies de los géneros mencionados son eficaces a la hora de remover los compuestos derivados del petróleo, ya que producen enzimas degradadoras demostrando así su capacidad biorremediadora como una alternativa amigable y limpia con el medio ambiente.

Del análisis realizado se concluyó con base a los resultados obtenidos que el género con mayor grado de efectividad es *Aspergillus* degradando hasta en un 99% los compuestos contaminantes en períodos determinados, *Trichoderma* es eficaz a la hora de degradar, sin embargo, *Aspergillus* es superior en sus porcentajes, esto no desmerece su capacidad de remoción sino el tiempo empleado para la descomposición de hidrocarburos.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araujo, J., Yegres, F., Barreto, G., Antequera, A. A., Depool, B., & Rojas, Y. (2016). Biocatalizadores fúngicos hidrocarbonoclásticos del género *Aspergillus* para la descontaminación de agua con Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPAs). *Revista Cubana de Química*, *28*(2), 703-735. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212016000200013

Argumedo-Delira, R., Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., & Peña-Cabriales, J. J. (2009). El género fúngico *Trichoderma* y su relación con los contaminantes orgánicos e inorgánicos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, *25*(4), 257-269. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992009000400006&script=sci_arttext

Arias Aguilar, A. A. (2020). Obtención de benceno, tolueno y xilenos a partir de metanol: tecnologías y análisis preliminar de la situación del mercado. (Tesis de Grado, Universidad de Ingeniería y Tecnología). Recuperado de https://repositorio.utec.edu.pe/bitstream/20.500.12815/141/1/Arias%20Aguilar_TI.pdf

Ávalos Lázaro, A. A., Rosique Gil, J. E., Cappello García, S & Villaruel Ordaz, J. L. (2018). Ascomicetes (Fungi: Ascomycota) del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco, México. Acta Botánica Mexicana 122: 141-154. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/pdf/abm/n122/2448-7589-abm-122-00141.pdf

Becerra, K. (2020). Análisis cualitativo de literatura sobre las técnicas de biorremediación de suelos por hidrocarburos y contaminantes orgánicos persistentes empleando el hongo *Trichoderma sp.* Recuperado de http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/2267/1/2020KarenStefannyBecerraCorrea.pdf

Carrasquero-Durán, A., & Suárez, A. G. (2012). Determinación de naftaleno, fenantreno, antraceno y pireno en polvo de la calle de la ciudad de Maracay, Venezuela. *CIENCIA*, *20*, 33-42. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/265728785_Determinacion_de_naftaleno_fenantreno_antraceno_y_pireno_en_polvo_de_la_calle_de_la_ciudad_de_Maracay_Venezuela

Cayotopa-Torres, J., Arévalo-López, L., Pichis-García, R., Olivera-Cayotopa, D., Rimachi-Valle, M., & Márquez-Dávila, K. (2021). Nuevos agentes de biorremediación de cadmio: Especies de *Trichoderma* nativas de la rizósfera de árboles de cacao. *Scientia Agropecuaria*, *12*(2), 155-160. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172021000200155&script=sci_arttext&tlng=en

Cepero de García, M. C., Restrepo, S., Franco-Molano, A., Cardenas, M., Vasgas, N. (2012). *Biología de hongos*. Ediciones Uniandes-Universidad de los Andes. Recuperado https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=pS2RDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=

PA48&dq=Biologia+de+los+hongos+&ots=SVyV-LUXK-&sig=AS2kj6t_bhiAplP6DkWShmD7tGU

Chávez, G., Estrada, N., Gómez, J., Choque, R., Crespo, C., & Alvarez, M. T. (2013). Potencial de cepas fúngicas aisladas en el área de Biotecnología Fúngica. Primera parte: Uso de hongos en biorremediación. *Revista Con-Ciencia*, *1*(1), 85-91. Recuperado de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2310-02652013000100010&script=sci_arttext

Contreras Mogollón, H. J. (2017). Eficiencia de la biodegradación de hidrocarburos de petróleo por hongos filamentosos aislados de suelo contaminado. (Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo). Recuperado de https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/1350/BC-TES-TMP-183.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20hip%C3%B3tesis%20planteada%20fue%3A%20Los,de%20petr%C3%B3leo%20mayor%20de%2050%25.&text=de%20derrames%20recientes%20y%20cr%C3%B3nicos,800%20mg%20kg%2D1).

Coello Paredes, J. M. (2012). Aplicación del hongo *Pleurotus ostreatus* como alternativa para la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados (Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral). Recuperado de https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/21150/1/D-92862%20Coello%20Paredes.pdf

Cota-Ruiz, K., Nuñez-Gastelúm, J. A., Delgado-Rios, M., & Martinez-Martinez, A. (2018). Biorremediación: actualidad de conceptos y aplicaciones. *Biotecnia*, *21*(1), 37–44. Recuperado de https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/811/298

Cruz Apunte, J. D., & Lincango Tuquerres, J. R. (2021). Evaluación del proceso de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos totales de petróleo utilizando *trichoderma sp* y *bacillus pumilus*, mediante el sistema de biopilas a escala de laboratorio. Recuperado de https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19882/1/UPS%20-%20TTS283.pdf

Estrada Salazar, G. I., & Ramírez Galeano, M. C. (2019). Micología general. Recuperado de https://repositorio.ucm.edu.co/handle/10839/2654

Farinango, E., Jácome, C., Llanos, F., Lasso, A., & Ramos, J. (2021). Usos de la enzima catalasa en la reducción del peróxido de hidrógeno y sus aplicaciones industriales. Artículo de revisión. Recuperado de https://www.redunia.org/revista/index.php/redunia/article/view/40

Fernández Salgado, Y. (2020). Caracterización De Las Fracciones Sara De Crudos Provenientes De Hidrodesintegración (Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional). Recuperado de https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/23248/Tesis%20Caracterizaci%C3%B3n%20de%20las%20fracciones%20sara%20de%20crudos%20provenientes%20de%20hidrodesintegraci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Fonseca, Morales. D., & Velásquez Lozano, M. E. (2019). Efecto de la fuente de nitrógeno en la producción de la enzima manganeso peroxidasa producida por *Pleurotus ostreatus* y determinación de sus constantes cinéticas. *Revista De Investigación*, *12*(1), 9-18. Recuperado de https://revistas.uamerica.edu.co/index.php/rinv/article/view/227/222

Guzmán, H. P. (2019). Análisis comparativo del transcriptoma del hongo halófilo *Aspergillus sydowii-like*, crecido en benzo [a] pireno y fenantreno en condiciones hipersalinas. (Tesis de grado, Universidad Autónoma Del Estado De Morelos). Recuperado de http://www.riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/437/PEGHZD07T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Hernández-Melchor, D. J., Ferrera-Cerrato, R., & Alarcón, A. (2019). Trichoderma: importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, *35*(1), 98-112. Recuperado de https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0719-38902019005000205&script=sci_arttext

Hidalgo, K. J., Sierra-Garcia, I. N., Dellagnezze, B. M., & De Oliveira, V. M. (2020). Metagenomic insights into the mechanisms for biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the oil supply chain. *Frontiers* in 11, 561506. Recuperado de https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2020.561506/full

Jiménez, V. (2020). Evaluación de bacterias y hongos potencialmente utilizables para la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. (Tesis de grado, Universidad Agraria Del Ecuador Facultad De Ciencias Agrarias). Recuperado de https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/JIMENEZ%20VELEZ%20VILMA%20CECIBEL.pdf

Maddela, N. R., Burgos, R., Kadiyala, V., Carrion, A. R., & Bangeppagari, M. (2016). Removal of petroleum hydrocarbons from crude oil in solid and slurry phase by mixed soil microorganisms isolated from Ecuadorian oil fields. *International Biodeterioration & Biodegradation*, *108*, 85-90. Recuperado de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964830515301669#prevReciew-section-cited-by

Maddela, N. R., Masabanda, M., & Leiva-Mora, M. (2015). Novel diesel-oil-degrading bacteria and fungi from the Ecuadorian Amazon rainforest. Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research, 71(10), 1554–1561. Recuperado de https://doi.org/10.2166/wst.2015.142

Maddela, N. R., Scalvenzi, L., Pérez, M., Montero, C., & Gooty, J. M. (2015). Efficiency of Indigenous Filamentous Fungi for Biodegradation of Petroleum Hydrocarbons in Medium and Soil: Laboratory Study from Ecuador. Bulletin of environmental contamination and toxicology, 95(3), 385–394. Recuperado de https://doi.org/10.1007/s00128-015-1605-6

Morales Fonseca, D. M. y Velásquez-Lozano, M. E. (2019). Efecto de la fuente de nitrógeno en la producción de la enzima manganeso peroxidasa producida por

Pleurotus ostreatus y determinación de sus constantes cinéticas. Revista De Investigación, 12(1), 9-18. Recuperado de https://revistas.uamerica.edu.co/index.php/rinv/article/view/227/222

Muñoz Cuaical, S. D. (2016). Evaluación de la eficacia de *Trichoderma sp y Pseudomona sp* para biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos (Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana). Recuperado de https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13228/1/UPS-QT10474.pdf

Ortega, L. C. (2015). Aplicación de lacasas producidas por hongos para degradación de colorantes microbiológicos (orceína y cristal violeta). Revista Jóvenes en la Ciencia Vol. 1 no. 2, Verano de la Investigación Científica, 2015. Recuperado de http://repositorio.ugto.mx/bitstream/20.500.12059/2541/1/Aplicaci%c3%b3n%20de%20lacasas%20producidas%20por%20hongos%20para%20degradaci%c3%b3n%20de%20colorantes%20microbiol%c3%b3gicos%20%28orce%c3%adna%20y%20cristal%20violeta%29.pdf

Pérez-Armendáriz, B., Castañeda-Antonio, D., Castellanos, G., Jiménez-Salgado, T., Tapia-Hernández, A., & Martínez-Carrera, D. (2011). Efecto del antraceno en la estimulación del crecimiento en maíz y frijol. Terra Latinoamericana, 29(1), 95-102. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000100095

Pernía, B., Demey, J. R., Inojosa, Y., & Naranjo, L. (2012). Biodiversidad y potencial hidrocarbonoclástico de hongos aislados de crudo y sus derivados: Un metaanálisis. *Rev. Latinoam. Biotecnol. Amb. Algal*, *3*(1), 1-40. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Beatriz-Pernia/publication/232242627_Biodiversity_and_hydrocarbonoclastic_potencial_of_fungi_isolated_from_crude_and_petroleum_derivates_a_meta-analysis/links/0912f507c36e2137b9000000/Biodiversity-and-hydrocarbonoclastic-potencial-of-fungi-isolated-from-crude-and-petroleum-derivates-a-meta-analysis.pdf

Petit, K., Colina, J., Yegres, F., Moran, H., & Richard-Yegres, N. (2013). Biodegradación de hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA) por hongos aislados de aguas contaminadas con petróleo, podredumbre blanca, y acíbar de Aloe vera. *Química Viva*, *12*(3), 288-304. Recuperado de https://www.redalyc.org/pdf/863/86329278009.pdf

Pinto Varón, D. L., & Sánchez Vargas, V. D. (2018). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante la utilización de diferentes cepas bacterianas a escala de laboratorio. (Tesis de grado, Universidad Libre). Recuperado de https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/15451/Proyecto%20de%20investigaci%c3%b3n%20Biorremediaci%c3%b3n%20de%20suelos%20contaminados%20por%20hidrocarburos%20mediante%20la%20ut.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez, A. & Pérez, A. O. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento Revista EAN, 82, pp.179-200. https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647

Rodríguez-Gonzales A., Zárate-Villarroel S., Bastida-Codina A. (2022). Biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para realizar biorremediación. Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci), Vol 56(1): 178-208. Recuperado de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-38962022000100178&script=sci_arttext

Salazar, M. (2017). Efecto del t*richoderma harzianum*. En el agua de regadío y la microbiología del suelo. (Tesis de Grado, Universidad Técnica De Ambato) Recuperado de https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27126/1/Tesis-186%20%20Ingenier%c3%ada%20Agron%c3%b3mica%20-CD%20554.pdf

Surian Cruz, E. M. (2027) Caracterización molecular y enzimática de enzimas ligninolíticas producidas por *oxyporus latemarginatus* en fermentación sumergida. (Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional) Recuperado de https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/27325/EDY%20MANUEL%20SURIAN%20CRUZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Treviño-Reséndez, J. D. J., Mijaylova Nacheva, P., & García-Espinoza, J. D. (2020). Influencia de los parámetros de operación en la degradación de naftaleno y fenantreno mediante electrooxidación. *Revista internacional de contaminación ambiental*, *36*(1), 21-32. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s0188-49992020000100021&script=sci_arttext

Vázquez-Gómez, G., Rubio-Lightbourn, J., & Espinosa-Aguirre, J. J. (2016). Mecanismos de acción del receptor de hidrocarburos de arilos en el metabolismo del benzo [a] pireno y el desarrollo de tumores. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, *19*(1), 54-67. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-888X2016000100054&script=sci_arttext

Villaveces, C. D. (2019). Biorremediación usando el hongo *Aspergillus niger* en el tratamiento de aguas residuales. (Tesis de Grado, Universidad Militar Nueva Granada). Recuperado de https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/32776/VillavecesPalacioCarlosDaniel2019.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Zaragozano, C. & G. Moreno (2021). Los hongos y la radioactividad. Bol. Soc. Micol. Madrid 45: 115–129. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Gabriel-Moreno-12/publication/354969313_LOS_HONGOS_Y_LA_RADIOACTIVIDAD/links/615633f661a8f466708fc0f0/LOS-HONGOS-Y-LA-RADIOACTIVIDAD.pdf

Zambrano, M., Casanova, R., Prada, J., Arencibia, G., Vidal, A., & Capetillo, N. (2012). Bioacumulación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) (Arcoida: Arcidae). *Gayana (*Concepción*)*, *76*(1), 1-9. Recuperado de https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-65382012000200001&script=sci_arttext

6. ANEXOS

6.1 MARCO TEÓRICO

6.1.1 Antecedentes

Las perforaciones de petróleo provocan graves riesgos medio ambientales en los países más biodiversos del mundo como es el caso de Ecuador poniendo en peligro los ecosistemas más sensibles y únicos, provocando grandes desastres ecológicos tales como la contaminación de suelo, agua, deforestación y sobre todo epidemias de enfermedades cancerígenas causadas por los compuestos contaminantes derivados del crudo (Maddela et al., 2015).

La Amazonia Ecuatoriana sufrió uno de los mayores desastres medio ambientales por parte de empresas irresponsables, por lo que ecosistemas completos fueron afectados por más de 17 millones de galones de crudo y más de 19 millones de galones de residuos tóxicos derramados en casi 2.5 millones de hectáreas, lo que afectó directamente a los pueblos indígenas de la zona y ni hablar de los miles de especies de flora y fauna que murieron ante tal hecho (Jiménez, 2020).

Por ello, es necesario buscar alternativas innovadoras y de bajo costo para contrarrestar el daño causado por los derrames de crudo, en la actualidad existen diversos métodos para el tratamiento de suelos contaminados, es por eso que la biorremediación se considera una tecnología de fácil acceso por su bajo costo, ya que por medio de esta se pueden utilizar microorganismos para la restauración de áreas afectadas por hidrocarburos, un claro ejemplo de esta alternativa es la utilización de hongos ya que estos se adaptan a medios hostiles y utilizan estos compuestos tóxicos a su favor para la obtención de energía y su crecimiento (Muñoz, 2016).

6.1.2 Marco conceptual

6.1.2.1 Biorremediación mediante el uso de hongos

El uso de hongos para la biorremediación es una tecnología que está siendo estudiada hoy en día debido a que sus resultados son muy prometedores, sus estudios se enfocan en la capacidad de degradar compuestos derivados de petróleo, principalmente los de la división Ascomycota donde se encuentra el género *Aspergillus* y *Trichoderma.*

Lo ideal es que mediante este tratamiento se elimine la mayor cantidad de contaminantes sin alterar su química y sin crear productos intermedios (Coello, 2012).

El trabajo realizado por Chávez et al., (2013) titulado "Potencial de cepas fúngicas aisladas en el área de Biotecnología Fúngica. Primera parte: Uso de hongos en biorremediación" donde resaltan que las cepas fúngicas que fueron encontradas son altamente eficientes en el proceso de biorremediación ya que son capaces de producir enzimas como la lacasa y enzimas lignilolíticas llegando a degradar compuestos como benzopireno y fenantreno en un 79 y 73%.

Por otra parte, el estudio realizado por Contreras (2017) con el título "Eficiencia de la biodegradación de hidrocarburos de petróleo por hongos filamentosos aislados de suelo contaminado" concluyó que el 98% de hongos filamentosos son considerados hidrocarbonoclásticos porque utilizaron el petróleo como fuente de carbono, además se determinó que *Aspergillus spp* es el más eficiente en la degradación de hidrocarburos con un porcentaje de degradación del 73%, concluyendo que son aptos para la remoción de contaminantes en el suelo.

6.1.2.2 Metabolismo del hongo

El metabolismo de los hongos es heterótrofo, ya que estos degradan sustratos orgánicos como fuente alterna de carbono, la mayor parte de estos crecen solo con fuentes de carbono orgánico e iones de nitrato como fuente de nitrógeno, el metabolismo en general del hongo posee dos grandes funciones, anabolismo que básicamente se encarga de la conversión del alimento en biomasa fúngica pero depende estrictamente del catabolismo ya que es el encargado de la obtención de energía de diversos sustratos para promover procesos como el ATP (Cepero de García et al., 2012).

6.1.2.3 Ascomycota

La división ascomycota a nivel mundial se considera el grupo de hongos más megadiversos y grandes del reino fungi, abarcan el 72% de los géneros y el 60% de especies, son importantes por participar en las interacciones ecológicas para el funcionamiento de ecosistemas, por ello son ecológicamente significativos. Los ascomycetos son cosmopolitas, su distribución es extensa se encuentran tanto en hábitats

marinos como terrestres y su reproducción se divide en dos fases durante toda su vida una asexual y otra sexual (Ávalos et al., 2018).

6.1.2.4 Biorremediación

Es una tecnología que se basa en utilizar organismos vivos como son: las plantas, hongos, bacterias y algas, con el fin de degradar, transformar y retirar compuestos tóxicos presentes en el medio. Esta técnica es utilizada como una alternativa para restaurar ecosistemas contaminados, minorizando el impacto de los mismos. La incorporación de microorganismos o plantas en lugares contaminados se la llama biorremediación, en si es la eliminación y descomposición de contaminantes en el suelo (Cota et al., 2018).

6.1.3 Conceptos de términos

6.1.3.1 Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)

Son compuestos que se obtienen principalmente de la combustión incompleta de materia orgánica, como el carbón, petróleo o gasolina. Se le considera contaminantes prioritarios, debido a su peligro intrínseco, ya que presentan una toxicidad aguda al ser teratogénicos, mutagénicos, cancerígenos y recalcitrantes (Rodríguez et al., 2022).

6.1.3.2 Manganeso peroxidasa

Manganeso peroxidasa es una enzima que posee un alto potencial de uso en aplicaciones biotecnológicas como es la biorremediación, es una de las peroxidasas más importantes en la modificación de lignina y en el tratamiento de contaminantes, es producida por la gran mayoría de los hongos asociados a la carencia de lignina. Esta enzima se puede activar en un rango de temperatura entre 5 y 70 °C, aunque puede variar dependiendo del microorganismo que la produce (Morales & Velásquez, 2019).

6.1.3.3 Catalasa

La catalasa es una enzima presente en la mayoría de los microorganismos aerobios, ayuda a proteger la célula de sustancias tóxicas como es el peróxido de hidrógeno. Esta enzima descompone el peróxido de hidrogeno convirtiéndolo en oxígeno y agua, este compuesto es un residuo resultante de las reacciones metabólicas y debido a su toxicidad debe ser destruido para que no afecte a la célula (Farinango et al., 2021).

6.1.3.4 Lacasas

Las lacasas son enzimas fenoxidasas sintetizadas tanto por las plantas superiores como por los hongos y bacterias. Su función varía según su procedencia en los hongos, estas pueden efectuar reacciones catalizadas como por ejemplo la oxidación de compuestos aromáticos, así como también la polimerización de monómeros y la degradación de polímeros. Los hongos que tienen la capacidad de producir estas enzimas logran crecer en medios con fuentes de lignina, es un enzima muy importante ya que sus usos están desde la industria de papel para obtener celulosa hasta para tratar derrames de petróleo degradando contaminantes (Ortega, 2015).

6.1.3.5 Lignina peroxidasa

La Lignina peroxidasa es una hemo peroxidasa extracelular glicosilada con peso molecular de 38 a 46 kDa, Se caracteriza por la capacidad de oxidar compuestos aromáticos no fenólicos que constituyen hasta el 90% de la lignina, además de una variedad de compuestos fenólicos de alto potencial redox (Surian, 2017).

6.1.3.6 Benceno

El benceno es un hidrocarburo aromático, dañino e inflamable, es un compuesto importante en la industria petroquímica debido a su reactividad, lo cual le convierte en una de las materias primas base para la obtención de varios productos. Además, tiene un impacto directo en la salud humana (Arias, 2020).

6.1.3.7 Naftaleno

El naftaleno está presente en el ambiente, es un compuesto aromático policíclico derivado del petróleo formado por dos anillos bencénicos. Este compuesto provoca efectos tóxicos cuando se libera en el aire, esto se debe a la quema de carbón y aceite afectando la salud humana y el medio ambiente (Treviño et al., 2020).

6.1.3.8 Fenantreno

Fenantreno es un compuesto aromático policíclico, a diferencia de naftaleno este compuesto está formado por tres anillos bencénicos y se encuentra típicamente en el ambiente, es decir, tiene mayor proporción en el ambiente. La EPA (Environmental Protection Agency) lo ha clasificado como un contaminante prioritario para la salud, para el ambiente y para la vida acuática (Treviño et al., 2020).

6.1.3.9 Antraceno

Es un compuesto aromático policíclico procedente de la actividad petrolera, está presente en el suelo debido a los derrames accidentales del petróleo o diésel, poseen alta complejidad estructural, baja hidrofobicidad y solubilidad, también es altamente perjudicial para la salud (Pérez et al., 2011).

6.1.3.10 Pireno

El pireno es un hidrocarburo aromático policíclico que se origina porque ciertas sustancias no se queman por completo, por lo general se encuentra en el escape de los vehículos, combustión de madera y todos los derivados del petróleo y gas entre otros, este compuesto está formado por cuatro anillos de benceno unidos (Carrasquero & Suárez, 2012).

6.1.3.11 Fluoranteno

Es un componente de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) que se encuentran en el medio ambiente, a menudo como resultado de la combustión incompleta o pirólisis de materiales orgánicos, especialmente los combustibles fósiles y el tabaco (Zambrano et al., 2012).

6.1.3.12 Benzo-pireno

El benzo-pireno se considera un hidrocarburo que pertenece al grupo de los aromáticos policíclicos por lo que es considerado cancerígeno ya que afecta directamente a los pulmones, es un compuesto desarrollado por cinco anillos de benceno cohesionados, su punto de fusión es de 179°C y de ebullición de 495°C, es soluble con compuestos orgánicos lipofílicos y altamente volátil (Vázquez-Gómez et al., 2016).

6.1.3.13 Ace-naftileno

El ace-naftileno es un hidrocarburo aromático policíclico, se forma a partir de la deshidrogenación del naftileno. Se clasifica como cancerígeno para los seres humanos y toxico al contacto con la piel (Rodríguez et al., 2022).