



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BÁSICAS



**BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS ARENOSOS
POR DERRAMES DE HIDROCARBUROS A
PARTIR DE UN SUSTRATO DE CASCARILLA
DE SEMILLA DE CACAO Y DE UN CULTIVO
SIMBIÓTICO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**LICENCIADO EN QUÍMICO FARMACÉUTICO
BIÓLOGO**

PRESENTA

JUAN MANUEL CONTRERAS LÓPEZ

DIRECTOR

DR. JOSÉ ARNOLD GONZÁLEZ GARRIDO

CODIRECTOR

DR. CARLOS MARIO MORALES BAUTISTA

CUNDUACÁN, TAB.

MARZO 2025



UJAT
UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



División
Académica
de Ciencias
Básicas



DIRECCIÓN

Cunduacán, Tabasco; a 10 de febrero de 2025.

**C. JUAN MANUEL CONTRERAS LÓPEZ
PASANTE DE LA LICENCIATURA EN QUÍMICO
FARMACÉUTICO BIÓLOGO
PRESENTE**

Por medio del presente, me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que proceda a la impresión del trabajo titulado **“BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS ARENOSOS POR DERRAMES DE HIDROCARBUROS A PARTIR DE UN SUSTRATO DE CASCARILLA DE SEMILLA DE CACAO Y DE UN CULTIVO SIMBIÓTICO”**, dirigido por el Dr. José Arnold González Garrido con la codirección del Dr. Carlos Mario Morales Bautista, bajo la modalidad de titulación por **TESIS**. La comisión de revisión conformada por el Dr. Carlos Javier López Victorio, Dr. José Arnold González Garrido y Dr. Roberto Hernández Córdova, liberó el documento en virtud de que reúne los requisitos para el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente.

Sin otro particular, reciba usted un cordial saludo.

ATENTAMENTE



DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS BÁSICAS

**DRA. HERMICENDA PÉREZ VIDAL
DIRECTORA**

C.c.p. Archivo.

DIR'DRA.HPV/kfvg

Km.1 Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, A.P. 24, C.P. 86690, Cunduacán, Tab., México.
Tel/Fax: (993) 3581500 Ext. 6702,6701 E-Mail: direccion.dacb@ujat.mx

www.ujat.mx

Carta de Cesión de Derechos

Villahermosa, Tabasco a 6 de marzo del 2025.

Por medio de la presente manifestamos haber colaborado como AUTOR(A) y/o AUTORES(RAS) en la producción, creación y/o realización de la obra denominada **“BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS ARENOSOS POR DERRAMES DE HIDROCARBUROS A PARTIR DE UN SUSTRATO DE CASCARILLA DE SEMILLA DE CACAO Y DE UN CULTIVO SIMBIÓTICO”**.

Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que, la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un período de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

COLABORADORES



Juan Manuel Contreras López



Dr. José Arnold González Garrido



Dr. Carlos Mario Morales Bautista

TESTIGOS



Q.F.B. Sebastián Cervera Pereyra



M. en C. Blanca Estela Trejo Sánchez

Declaración de Autoría y Originalidad

En la Ciudad de Cunduacán, el día 6 del mes marzo del año 2025, el que suscribe Juan Manuel Contreras López alumna(o) del Programa de Lic. en Químico Farmacéutico Biólogo número de matrícula 192A20048, adscrito a la División Académica de Ciencias Básicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autor(a) (es) de la Tesis presentada para la obtención del Licenciado en Químico Farmacéutico Biólogo y titulada **“BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS ARENOSOS POR DERRAMES DE HIDROCARBUROS A PARTIR DE UN SUSTRATO DE CASCARILLA DE SEMILLA DE CACAO Y DE UN CULTIVO SIMBIÓTICO”** dirigida por el Dr. José Arnold Gonzales Garrido.

DECLARO QUE:

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido de la Tesis presentada de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente Villahermosa, Tabasco a 6 de marzo del 2025.



Juan Manuel Contreras López

Tesis - BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS ARENOSOS POR DERRAMES DE HIDROCARBUROS A PARTIR DE UN SUSTRATO DE CASCARILLA DE SEMILLA DE CACAO Y DE UN CULTIVO SIMBIÓTICO - JUAN MANUEL CONTRERAS LOPEZ v2

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	gacetajuchiman.ujat.mx Internet	319 palabras — 4%
2	www.fao.org Internet	315 palabras — 4%
3	www.593dp.com Internet	196 palabras — 2%
4	www.elsevier.es Internet	153 palabras — 2%
5	riaa.uaem.mx:8080 Internet	140 palabras — 2%
6	docplayer.es Internet	136 palabras — 2%
7	idoc.pub Internet	90 palabras — 1%
8	www.aporrea.org Internet	81 palabras — 1%



DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS BÁSICAS
ESTUDIOS
TERMINALES

Agradecimientos:

En primer lugar, quisiera agradecer profundamente a mi asesor de tesis por su constante orientación, paciencia y valiosos consejos durante todo el proceso. Su orientación fue esencial para completar este trabajo.

También nos gustaría agradecer a los profesores y amigos de esta institución que contribuyeron con su conocimiento y experiencia al desarrollo de esta investigación. Su apoyo académico y personal fue muy importante.

A mi familia por su amor, comprensión y apoyo incondicional en cada paso de mi vida. Gracias por creer en mí y darme las herramientas que necesito para alcanzar mis objetivos.

A todos ustedes, muchas gracias.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Tabla de contenido

ÍNDICE DE TABLAS	1
ÍNDICE DE FIGURAS	2
TITULO:	3
RESUMEN:	4
PALABRAS CLAVE:	4
ABSTRACT:.....	5
KEYWORDS:	5
INTRODUCCION.....	6
MARCO TEORICO	8
1. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	8
1.1. Contaminación de suelos	8
1.2. Tipos de contaminación de suelos	10
1.2.1. Contaminación puntual.....	10
1.2.2. Contaminación difusa	11
2. PETRÓLEO	12
2.1. Composición	12
2.2. Componentes	13
2.2.1. Hidrocarburos policíclicos aromáticos.....	15
3. BIORREMEDIACIÓN	16
3.1. Tipos de biorremediación	16
3.1.1. Bioestimulación	16
3.1.2. Bioaumentación	17
4. SUSTRATOS	18
4.1. Cacao	18
4.1.1 Composición botánica	18
4.1.2. Composición química	19
4.2. Bagazo de caña.....	19
4.2.1. Caña	19
4.2.2. Composición química	20
5. METABOLISMO	21
5.1. Levaduras con actividad.....	21
5.2. Bacterias con actividad.....	22

JUSTIFICACIÓN	22
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	22
HIPOTESIS	23
OBJETIVOS	23
Objetivo general	23
Objetivos específicos	23
METODOLOGIA	23
RESULTADOS	26
DISCUSIÓN	28
CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	31
REFERENCIAS CITADAS	32

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diseño experimental de biorremediación de los suelos contaminados.....	25
Tabla 2. Caracterización de suelos contaminados.	26

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Triangulo de textura de suelos	9
Figura 2. Fuentes de contaminación difusa y puntual.....	10
Figura 3. Clases de petróleos crudos en diferentes campos de extracción	14
Figura 4. Los HAP's mas comunes.....	15
Figura 5. Esquema de fruto y semilla de cacao	18
Figura 6. Distribución mundial de la producción de azúcar en 2016	20
Figura 7. Biorremediación de fracciones medianas	27
Figura 8. Biorremediación de fracciones pesadas	28

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

**BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS ARENOSOS POR DERRAMES DE
HIDROCARBUROS A PARTIR DE UN SUSTRATO DE CASCARILLA DE
SEMILLA DE CACAO Y DE UN CULTIVO SIMBIÓTICO.**

RESUMEN

La contaminación por hidrocarburos procedente de actividades antropogénicas sigue siendo un problema en las zonas productoras de petróleo. Actualmente se buscan estrategias para combatir esta contaminación, entre ellas la biorremediación. Recientemente, el uso de microorganismos y sustratos se ha descrito como un método prometedor para abordar este problema. En Tabasco, el cultivo de cacao es una de las principales actividades agrícolas, y se ha reportado que los residuos de cacao pueden ser una fuente importante de sustratos para la aplicación de la biorremediación. El presente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de la biorremediación utilizando cascarilla de cacao como enmienda orgánica y un consorcio de bacterias y levaduras en suelos contaminados con fracciones pesadas y medianas de hidrocarburos. Se llevó a cabo un diseño experimental en el que los suelos se contaminaron con hidrocarburos medios y pesados. Posteriormente, se aplicaron tratamientos de biorremediación utilizando cascarilla de cacao y un consorcio de bacterias y levaduras durante 15 y 45 días. Tras este periodo, se determinó la concentración de hidrocarburos totales. Los resultados obtenidos muestran una disminución favorable de la concentración de hidrocarburos totales en ambas fracciones. Se observaron mejores rendimientos en las fracciones medias con la enmienda orgánica y el consorcio de microorganismos. En las fracciones pesadas, el consorcio mostró un mayor rendimiento. En conclusión, se observó que el sustrato de cascarilla de cacao y el consorcio de microorganismos favorecieron el proceso de biorremediación.

PALABRAS CLAVE

Biorremediación, suelo, consorcio microbiano, hidrocarburo, enmienda orgánica.

ABSTRACT

Hydrocarbon pollution from anthropogenic activities continues to be a problem in oil-producing areas. Strategies to combat this contamination are currently being sought, including bioremediation. Recently, the use of microorganisms and substrates has been described as a promising method to address this problem. In Tabasco, cocoa cultivation is one of the main agricultural activities, and it has been reported that cocoa residues can be an important source of substrates for the application of bioremediation. The present study aimed to determine the effect of bioremediation using cocoa husks as an organic amendment and a consortium of bacteria and yeasts in soils contaminated with heavy and medium hydrocarbon fractions. An experimental design was carried out in which soils were contaminated with medium and heavy hydrocarbons. Subsequently, bioremediation treatments were applied using cocoa husks and a consortium of bacteria and yeasts for 15 and 45 days. After this period, the concentration of total hydrocarbons was determined. The results obtained show a favorable decrease in the concentration of total hydrocarbons in both fractions. Better yields were observed in the middle fractions with the organic amendment and the consortium of microorganisms. In the heavy fractions, the consortium showed a higher yield. In conclusion, it was observed that the cocoa husk substrate and the consortium of microorganisms favored the bioremediation process.

KEYWORDS

Bioremediation, soil, microbial consortium, hydrocarbon, organic amendment.

INTRODUCCIÓN

Un problema grave que enfrenta el mundo es la contaminación ambiental, que pone en peligro el medio ambiente, altera el equilibrio biológico y perjudica la salud de las personas, causando enfermedades cada vez más comunes. La contaminación atmosférica o ambiental se produce cuando un agente (físico, químico o biológico) o una mezcla de agentes se introduce en el aire en cantidades o formas que pueden dañar la salud, la seguridad y el bienestar de las personas, o que pueden afectar negativamente a los seres vivos en general. La contaminación ambiental consiste en la introducción de elementos sólidos, líquidos o gaseosos en el medio natural que alteran su equilibrio y perjudican la salud, la higiene y el bienestar de las personas.

La contaminación ambiental se puede clasificar según el medio que afecta: agua, aire y suelo. Este último es uno de los más importantes, pues tiene repercusiones directas sobre el suelo y los mantos acuíferos, que son fuentes vitales de agua para el consumo humano. La contaminación ambiental por causas humanas es un problema global que afecta a los suelos, el agua y el aire. Una de las principales actividades que contribuye a este problema es la explotación de recursos naturales, especialmente de hidrocarburos, generando deterioro y grandes cambios en el ecosistema.

Los hidrocarburos son fuentes de energía que se originan por la transformación de la materia orgánica a lo largo de millones de años. Su uso es muy extendido en el mundo, ya que son esenciales para diversas actividades humanas y económicas. En México, la producción de hidrocarburo es un factor clave para el desarrollo del país. Según la CNH (Comisión Nacional de Hidrocarburos), en mayo de 2023 se produjeron 639 mil barriles diarios (Mbd) de líquidos asociados a estos proyectos, lo que significa un aumento de 208 Mbd en comparación con mayo de 2022 (431 Mbd). No obstante, este crecimiento también tiene un impacto negativo en el medio ambiente, pues los derrames son una causa importante de contaminación del suelo.

Los procesos de producción, comercialización, transporte y almacenamiento de crudo implican el riesgo de derrames de hidrocarburos, que son una fuente

importante de contaminación ambiental a nivel global. Las zonas costeras son las más vulnerables a estos derrames, debido a que muchos yacimientos de hidrocarburos se ubican en mares de diversas regiones. Los suelos arenosos, que forman la mayor parte de las playas y ríos, se caracterizan por tener partículas de gran tamaño y propiedades que los convierten en recursos económicos y ambientales de gran valor. Muchos animales exclusivos de estos ecosistemas dependen de ellos para su supervivencia.

Según el INEGI, los suelos arenosos abarcan el 16.5% del territorio nacional, y se localizan principalmente en zonas costeras e interfluviales. Por eso, es necesario buscar soluciones para frenar el deterioro que sufren por el aumento de la presión humana sobre el medio ambiente provocando el deterioro de los recursos naturales, como el suelo y el agua. Para revertir esta situación, se puede recurrir a la biorremediación, una técnica biotecnológica que utiliza microorganismos capaces de degradar hidrocarburos y utilizarlos como fuente de energía. De esta manera, se logra restaurar los ecosistemas afectados por la contaminación.

La biorremediación es una solución biotecnológica al problema ambiental de la contaminación. Consiste en utilizar microorganismos naturales que pueden degradar o transformar sustancias contaminantes en otras más benignas o inocuas para el medio ambiente. La biorremediación es una tecnología emergente capaz de aprovechar la capacidad de diferentes organismos vivos (como plantas, algas, hongos y bacterias) para absorber, degradar o modificar los contaminantes y eliminarlos, inactivarlos o reducir su impacto en el medioambiente.

Para lograr que un microorganismo sea capaz de degradar hidrocarburos, es necesario contar con la presencia de un sustrato, mismo que funcionara como fuente de carbono y energía durante un cierto periodo antes de utilizar los hidrocarburos como su fuente principal. Por ello, es importante analizar adecuadamente este "iniciador de la biorremediación", con el fin de que este sea eficiente y así los microorganismos de interés cumplan su función.

Desde hace algunos años se ha mostrado el interés por el cacao en diversas industrias siendo la principal la alimentaria seguida de las cosmética y farmacéutica.

Sin embargo, se destacan las aplicaciones ambientales que involucran el desarrollo de productos a partir de cáscaras de cacao para la biorremediación de suelos por lo cual, el uso como sustrato para la aplicación de la biorremediación va en aumento.

MARCO TEÓRICO

1. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

El crecimiento económico y la globalización han generado claros beneficios, sin embargo, también han dado lugar a la aparición de riesgos adicionales. La contaminación se define como la existencia en el ambiente, agua o tierra de elementos o tipos de energía no deseados en niveles que puedan perjudicar la comodidad, salud y felicidad de los individuos, así como el aprovechamiento y disfrute de lo que ha sido contaminado. Un medio o vector ambiental (ya sea aire, agua o suelo) estará contaminado si contiene algún tipo de material o energía que cause impactos adversos en él.

Los elementos de contaminación son los desechos de las acciones llevadas a cabo por el ser humano en sociedad. El aumento de la contaminación no solo se debe al incremento de la población y la reducción del espacio disponible por persona, sino también al aumento constante de las demandas individuales, lo que resulta en un incremento anual de los desechos producidos por cada uno. Conforme las personas se aglomeran en pueblos y ciudades cada vez más pobladas, no existe ninguna posibilidad de "escapar". "El recipiente usado para desechar residuos de un individuo es el hábitat esencial de otra persona" (Odum, 1985).

1.1. Contaminación de suelos

El suelo es la porción externa de la capa terrestre y tiene una estrecha conexión con la existencia y con las labores humanas; es una zona intermedia esencial entre la atmósfera y la hidrosfera. Los elementos geológicos del subsuelo, junto con el aporte de los vientos, las aguas y los residuos de la actividad de la vida orgánica, son factores que intervienen en la composición química del suelo. En dicho lugar, se llevan a cabo procedimientos que lo mantienen en constante cambio. El suelo está compuesto por diferentes cantidades de arena, arcilla, limo y materia orgánica

niveles de concentración se vuelven tóxicas para los diferentes organismos que habitan el suelo. Por tanto, se trata de una degradación química causada por los contaminantes que conduce a la pérdida parcial o total de las propiedades del suelo.

1.2. Tipos de contaminación de suelos

Distinguimos entre dos fuentes principales de contaminación del suelo, la contaminación causada por fuentes bien definidas, a la que llamamos contaminación local o puntual y la causada por fuentes difusas (Martínez Sánchez et al., 2005).

FIGURA 2.

Fuentes de contaminación difusa y puntual



Nota: Diferentes fuentes de contaminación de aguas y suelos

1.2.1. Contaminación puntual

La contaminación del suelo puede ser causada por un evento específico o una serie de eventos en un área determinada durante los cuales se liberan contaminantes al suelo y la fuente y la identidad de la contaminación se identifican fácilmente. Este tipo de contaminación se llama contaminación puntual. Las actividades antropogénicas causadas por la actividad humana representan de las principales fuentes de contaminación puntual.

Los ejemplos incluyen antiguos sitios de fábricas, disposición inadecuada de desechos y aguas residuales, vertimientos incontrolados, aplicación excesiva de agroquímicos, derrames de muchos tipos, entre otros. Diferentes actividades como la minería y fundiciones, que son llevadas a cabo con normativas medioambientales deficientes, también son una fuente importante de contaminación por metales pesados en diferentes partes del mundo (Lu et al., 2015; Mackay et al., 2013; Podolský et al., 2015; Strzebońska, Jarosz-Krzemińska y Adamiec, 2017).

Otros ejemplos de contaminación puntual son los hidrocarburos aromáticos y los metales tóxicos asociados con los productos derivados del petróleo. Los sitios afectados van desde fugas en instalaciones de almacenamiento como en Groenlandia, que resultaron en niveles de hidrocarburos aromáticos y metales tóxicos que excedieron los criterios de calidad ambiental daneses (Fritt-Rasmussen et al., 2012), hasta fugas accidentales en tanques de almacenamiento en la refinería de petróleo de Teherán (Bayat et al., 2016).

La contaminación de fuentes puntuales es muy común en las zonas urbanas. El suelo cerca de carreteras contiene niveles altos de contaminantes como lo son metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos y otros contaminantes (Kim et al., 2017; Venuti, Alfonsi y Cavallo, 2016; Kumar y Kothiyal, 2016; Zhang et al., 2015).

Los vertederos antiguos o ilegales, donde los desechos no se tratan adecuadamente o en proporción a su toxicidad (por ejemplo, baterías o desechos radiactivos), así como la eliminación de lodos y aguas residuales, también pueden ser una fuente importante de contaminación (Baderna et al., 2011; Bauman Kaszubska y Sikorski, 2009; Swati et al., 2014). Por último, la contaminación puntual procedente de actividades industriales puede suponer un riesgo para la salud humana.

1.2.2. Contaminación difusa

Los contaminantes difusos se conocen como contaminantes que se extienden sobre áreas muy grandes, suelen acumularse en el suelo y no tienen una fuente única o no se identifican fácilmente.

La contaminación difusa ocurre cuando los contaminantes se liberan, transforman y diluyen en otros ambientes antes de llegar al suelo (FAO y GTIS. 2015).

La contaminación difusa implica el transporte de contaminantes a través del sistema aire-tierra-agua. Por lo tanto, para evaluar adecuadamente este tipo de contaminante se requiere de un análisis integral que incluya estas tres partes (Geissen et al., 2015). Por esta razón, los contaminantes difusos son difíciles de analizar y de monitorear y determinar su extensión espacial. Muchos contaminantes de fuente puntual pueden asociarse con contaminación difusa porque no se comprende completamente su destino en el medio ambiente (Grathwohl y Ham 2013).

Hay muchos ejemplos de contaminantes difusos y pueden incluir energía y armas nucleares; eliminación incontrolada de desechos y aguas residuales contaminados en la zona de captación o cerca de ella; inyectar lodos de depuradora en el suelo; El uso de pesticidas y fertilizantes en la agricultura también añade metales pesados, contaminantes orgánicos persistentes, exceso de nutrientes y productos químicos agrícolas que son transportados río abajo mediante la escorrentía; inundación; transporte atmosférico y deposición y/o erosión del suelo.

2. PETRÓLEO

2.1. Composición

El petróleo es un líquido viscoso de color verde, amarillo, marrón o negro y está formado por muchos hidrocarburos diferentes, que son compuestos formados por átomos de carbono e hidrógeno en cantidades variables. Nunca se han descubierto dos yacimientos de petróleo con la misma composición porque, además de los hidrocarburos, a menudo hay otros compuestos que contienen oxígeno, nitrógeno y otros compuestos orgánicos con elementos como azufre, níquel y vanadio.

El oro negro, como se llama metafóricamente al petróleo crudo, se crea a partir de la descomposición de pequeños organismos acuáticos que vivieron en los antiguos mares de la Tierra hace millones de años, antes de que aparecieran los humanos.

En aquella época, la superficie del planeta no tenía las características que tiene hoy. Pangea es el nombre de la única gran placa terrestre existente, en la que se concentran todos los continentes. A medida que estos microorganismos animales y vegetales mueren y se hunden en el fondo de grandes masas de agua, sucesivas capas de sedimentos inorgánicos (arena y arcilla) se depositan encima, enterrándolos cada vez más profundamente. Las capas de suelo de alta presión, alta temperatura y actividad bacteriana en ausencia de oxígeno -es decir, en un ambiente libre de oxígeno- transformaron gradualmente los residuos orgánicos en lo que hoy conocemos como petróleo crudo. Este proceso de descomposición de la materia orgánica y formación de petróleo tarda aproximadamente entre 10 y 100 millones de años.

2.2. Componentes

Las refinerías de todo el mundo procesan cientos de tipos diferentes de petróleo crudo (normalmente definidos por su origen geográfico) en cantidades mayores o menores.

Cada petróleo crudo presenta una mezcla compleja de miles de componentes lo cual lo hace único. La mayoría de los componentes del petróleo son hidrocarburos (componentes orgánicos formados por átomos de hidrógeno y carbono). De manera similar, no sólo se pueden detectar carbono e hidrógeno, sino también pequeñas (pero significativas) cantidades de otros elementos ("heterogéneos"), especialmente azufre, nitrógeno y algunos metales (por ejemplo, níquel, vanadio, etc.). El petróleo crudo abarca desde las moléculas de hidrocarburos más pequeñas y simples, CH₄ (metano), hasta las moléculas más grandes y complejas que contienen 50 o más átomos de carbono (excepto hidrógeno y heteroelementos).

Las diferentes propiedades tanto físicas como químicas de cualquier hidrocarburo o molécula no sólo dependen del número de átomos de carbono que haya en la molécula sino también en la naturaleza de los enlaces químicos que hay entre ellos. Los átomos de carbono se combinan fácilmente entre sí (así como con hidrógeno y otros átomos) de diversas formas (enlaces simples, dobles y triples), creando muchos tipos diferentes de hidrocarburos.

Las parafinas, los aromáticos y los naftenos se encuentran presentes como componentes naturales del petróleo crudo además de forman como resultado de las diversas operaciones de refinación. Las olefinas no siempre se encuentran en el petróleo crudo. Se producen en refinerías específicas destinadas principalmente a producir gasolina. Los compuestos aromáticos tienen una mayor proporción de carbono a hidrógeno (C/H) que los naftenos, que a su vez tienen una mayor proporción de C/H que las parafinas. Cuanto más pesado (más espeso) es el petróleo crudo, mayor es su relación C/H. Debido al refinado químico, cuanto mayor es la relación C/H en el petróleo crudo, más complejo y costoso es el proceso de refinado para producir una cantidad específica de gasolina y combustible destilado. Por tanto, la composición química del petróleo crudo y su separación en fracciones con diferentes puntos de ebullición constituyen dos aspectos importantes del coste total de refinación con respecto a las necesidades de capital y el consumo de energía de la refinería.

FIGURA 3.

Clases de petróleos crudos en diferentes campos de extracción



Nota: Adaptado de Yacimientos y Criaderos, (p. 220), por Dr. Phil. Walter E. Petrascheck y Carlos Castells, 1965, Ediciones Omega, S.A. de C.V.

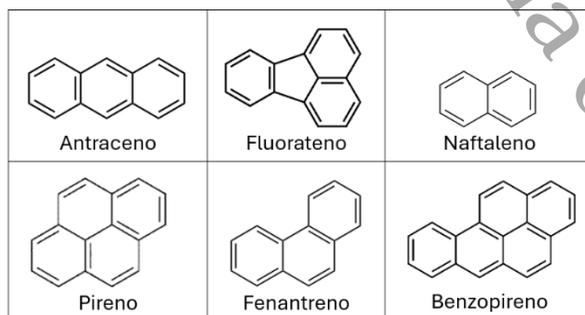
2.2.1. Hidrocarburos policíclicos aromáticos

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) son un amplio grupo de contaminantes orgánicos duraderos y semivolátiles.

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos son un amplio grupo de moléculas fisicoquímicamente distintas que constan de dos o más anillos de benceno no sustituidos fusionados cuando comparten un par de átomos de carbono. Los HAP's más comunes incluyen antraceno, fluorateno, naftaleno, pireno, fenantreno y benzopireno (Lerda, 2011). La poca solubilidad de los HAP's en agua y la lenta tasa de transferencia de masa con la fase sólida limitan la disponibilidad para los microorganismos, evitando así la inhibición natural. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos se acumulan en el suelo debido a su estabilidad e hidrofobicidad, tendiendo a persistir en el suelo durante largos períodos de tiempo. Por esta razón, la mayoría de los HAP's son componentes COP dispersos en el aire, el agua, el suelo y los sedimentos (Lin et al., 2013). Los HAP's de bajo peso molecular contienen dos o tres anillos volátiles, encontrándose principalmente en la atmósfera, mientras que los HAP's de peso molecular medio y alto se dividen entre la atmósfera y las partículas, esto dependiendo de la temperatura (Srogi, 2007).

FIGURA 4.

Los HAP's más comunes



Nota: HAP's más comunes en la contaminación de suelo y agua.

Combustión incompleta de carbón, gas, petróleo y residuos; pirólisis de materiales orgánicos en la industria, agricultura y transporte; procesos de transformación diagenética en materia orgánica natural (MO); riego a largo plazo con aguas

residuales; el reciclaje de lodos de residuales y el uso de fertilizantes en la producción agrícola provocan altas concentraciones de HAP en los suelos agrícolas (Conte et al., 2001).

3. BIORREMEDIACIÓN

Se conoce a la biorremediación como una tecnología que implica la biodegradación o transformación de contaminantes para eliminarlos o convertirlos en otros productos que sean menos peligrosos para el medio ambiente y el bienestar humano. Se convierten principalmente en CO₂, agua, sales inorgánicas y/o biomasa, pero a menudo algunos contaminantes pueden acumularse como productos de conversión parcial (Vidali, 2001).

Esta tecnología implica el uso de productos biológicos como enzimas, estimulantes del crecimiento, bacterias, hongos, levaduras, arqueas, plantas y otros organismos para descomponer, transformar, condensar, establecer o movilizar contaminantes orgánicos, inorgánicos o metálicos en el agua, el aire o el suelo (Karigar y Rao, 2011).

Durante el tratamiento biológico (microorganismo-contaminante), puede resultar en:

- Mineralización: Si el contaminante se ha descompuesto por completo.
- Transformación biológica: Algunas sustancias no se descomponen, sino que se metabolizan; en el proceso, pueden ser más dañinos que en su forma original.
- Sustancias persistentes: Son sustancias que no se descomponen y pueden persistir por mucho tiempo en el ambiente debido a su estabilidad fisicoquímica, por ejemplo, a la radiación ultravioleta o la oxidación.

3.1. Tipos de biorremediación

Existen varios tipos de biorremediación, sin embargo, hay dos tipos principales: la bioestimulación y la bioaumentación.

3.1.1. Bioestimulación

Esta estrategia implica la adición de diferentes soluciones acuosas que contienen una variedad de nutrientes como nitrógeno y fósforo, mejorando la biodegradación

de contaminantes orgánicos o inmovilizar contaminantes inorgánicos dependiendo de su naturaleza. Se ha utilizado en suelos contaminados con pesticidas y ha mostrado buenos resultados en desechos de municiones. Los nutrientes, los macroelementos (C, N, P, K) y una pequeña cantidad de microelementos son necesarios para el desarrollo y crecimiento de los microorganismos. Esto puede ocurrir en condiciones con presencia (aeróbicas) como en ausencia (anaeróbicas) de oxígeno:

- Biodegradación aerobia: Con suficiente oxígeno y otros nutrientes básicos, los diferentes microorganismos presentes descomponen los contaminantes orgánicos en diferentes residuos como dióxido de carbono, agua y nueva biomasa celular. Dependiendo del terreno, elevación, clima y otras condiciones del sitio afectado, se podrán utilizar materiales del área para mejorar las condiciones de descomposición.
- Biodegradación anaerobia: En esta técnica, los microorganismos anaeróbicos metabolizan los contaminantes y producen metano, dióxido de carbono e hidrógeno molecular. Normalmente, esta tecnología puede producir intermediarios más tóxicos que pueden requerir bioestimulación aeróbica.

3.1.2. Bioaugmentación

Otras áreas de investigación han llevado a la introducción en el medio ambiente de microorganismos domesticados e incluso de microorganismos genéticamente modificados para mejorar la biodegradación. La tecnología funciona en condiciones de laboratorio o biorreactor, pero su implementación en el ambiente externo (suelo o agua) depende de varios factores.

La tecnología funciona en condiciones de laboratorio o biorreactor, pero su implementación en el ambiente externo (suelo o agua) depende de varios factores. (Alexander, 1994):

- Condiciones ambientales, presencia de toxinas y nutrientes, la distribución de microorganismos y la presencia abundante de materia orgánica. •

- Los microorganismos introducidos deben sobrevivir a los ataques de los depredadores y competir exitosamente con las poblaciones nativas antes de ocupar nichos ecológicos potenciales.
- El uso de ambientes y comunidades microbianas más selectivas favorece el bioaumentación.

4. SUSTRATOS

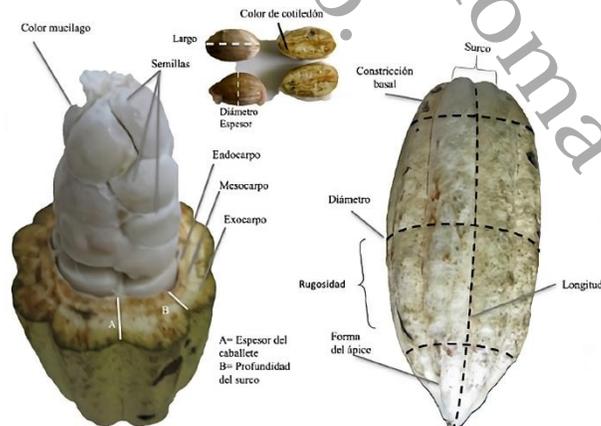
4.1. Cacao

4.1.1. Composición botánica

Árbol perenne, de hasta 6-12 m de altura, con corteza parda, hojas coriáceas oval-lanceoladas, con margen entero, tallos cortos, dispuestos alternativamente, de color verde pálido. Las flores crecen directamente del tallo o de ramas viejas de yemas axilares. Las flores son muy pequeñas de coloración blanca o rojiza, hermafroditas, actinomorfas y pentámeras. Crece bien en zonas con una altitud de 30 a 300 metros, temperatura moderada (18-32°C), humedad suficiente y precipitación anual de 1 a 5 litros/metro cuadrado.

Figura 5.

Esquema de fruto y semilla de cacao



Nota: Descripción morfológica de la semilla y fruta del cacao. Adaptado de Variación morfológica de fruta y semilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) de plantaciones en Tabasco, México. (pp. 117-125), por M. Ramírez, 2018, Revista Fitotecnia Mexicana, 41(2).

Este árbol es originario de los bosques tropicales de Centroamérica, especialmente de México, y de los bosques ecuatoriales de Sudamérica. Actualmente se cultiva

principalmente en la parte occidental del continente africano (produciendo el 70% de la producción mundial), a ambos lados del ecuador, principalmente en Costa de Marfil y Ghana, así como en Brasil y el Sudeste Asiático (Indonesia y Malasia), en lugares que reúnan las condiciones ideales de humedad y temperatura. La altura de las variedades no suele superar los 6 m.

Se cultiva por sus semillas, que están contenidas en frutos grandes y resistentes (de 15 a 20 cm de largo), llamados mazorcas, que tienen una capa coriácea de color amarillo a rojizo con surcos en forma de verrugas dispuestos longitudinalmente.

4.1.2. Composición química

Las almendras contienen alrededor del 50% de lípidos llamados manteca de cacao. La mayoría de ellos corresponden a triglicéridos simétricos con ácido oleico en la posición 2. Se compone principalmente de ácido esteárico (35%) y ácido palmítico (25%) y ácido oleico (35%), cuyas características, aunque ligeramente diferentes, dependen del origen geográfico. También contiene esteroides y una pequeña cantidad de vitamina D₂. Además, contiene fenoles (5-10%), a los que se atribuyen la mayoría de sus propiedades medicinales, como la antioxidante. Se trata de flavan-3-oles, principalmente (-)-catequina y (-)-epicatequina, disponibles en formas monoméricas y oligoméricas: las proantocianidinas, cuya oxidación confiere a este producto su característico color marrón. En la estructura oligomérica, la unidad central corresponde principalmente a (-)-epicatequina, que es diferente de la unidad central en el té, que corresponde a (-)-epicatequina. La mayoría de los dímeros son proantocianidinas B₂ a B₆ con varios estereoisómeros posibles, lo que dificulta bastante su identificación y separación. Finalmente, cabe destacar la presencia de bases purínicas, principalmente teobromina (3,7-dimetilxantina) 1-3% y cafeína en menor proporción (0,05-0,3%). Durante la fermentación, la teobromina se transfiere a la cubierta de la semilla.

4.2. Bagazo de caña

4.2.1. Caña

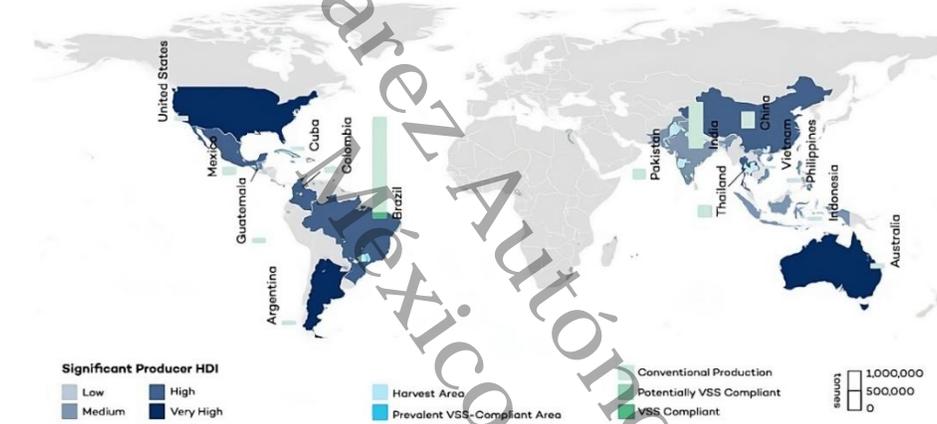
La caña de azúcar pertenece a la familia Poaceae y es la variedad más plantada en los países tropicales. Tiene alto contenido de azúcar y jugo espeso. Los residuos

de trituración de tallos de caña de azúcar se pueden utilizar para diversos fines, como la producción de papel, la producción de vapor combustible para calderas y la producción de etanol de segunda generación (De la torre et al., 2021).

Por interés del mercado, la caña de azúcar se produce a nivel mundial, con una producción de 1.869.715.086 toneladas en 2020. La producción se concentra principalmente en América, que representa el 54%, Asia, el 39,2%, África, el 5% y Oceanía, el 1,7%. El top 10 incluye a Brasil, India, China, Pakistán, Tailandia, México, Estados Unidos, Australia, Indonesia y Guatemala (FAOSTAT, 2020).

Figura 6.

Distribución mundial de la producción de azúcar en 2016.



Nota: Mapa de los principales productores de azúcar en el mundo durante 2016. Adaptado de Global Market Report Sugar [Fotografía], por International Institute for Sustainable Development, 2019, IISD (<https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/ssi-global-market-report-sugar.pdf>).

4.2.2. Composición química

El bagazo es un producto de desecho, resultado de la producción de azúcar y alcohol. Aunque tradicionalmente se consideraba un residuo, ahora se está reconociendo su potencial como fuente valiosa de materias primas para diversas aplicaciones agrícolas. De acuerdo con Lagos & Castro (2019), la composición nutricional de la caña de azúcar demuestra que contiene materia seca (MS) 26,2%, cenizas 6,2 a 6,4%, extracto etéreo (EE) 1,9%, extracto libre de nitrógeno (ELN) 56,4%. fibra (FB) 27,9%, fibra detergente neutro (NDF) 69%, fibra detergente ácido (FDA) 40,1%, calcio (Ca) 0,2-0,5%, fósforo (P) 0,09-0,14%.

Por otro lado, Selim et al. (2022) indicaron que el contenido de nutrientes del bagazo de caña de azúcar contenía materia seca (MS) $89,90\% \pm 4,6$ y contenido de nutrientes (MS%) $3,81 \pm 0,07$, fibra cruda (FB) $37,89 \pm 3,6$, detergente neutro; fibra (FND) $75,6 \pm 3,7$, fibra detergente ácido (FDA) $58,8 \pm 4,9$, extracto etéreo (EE) $0,50 \pm 0,1$, ceniza $4,87 \pm 0,07$.

Las fibras gruesas y los detergentes neutros y ácidos son los principales componentes del bagazo. Estas fibras son importantes porque pueden utilizarse como fuente de energía en la alimentación animal, principalmente para ganado vacuno, ovino y caprino. Además, su alto contenido en fibra los hace aptos para su uso como lecho para aves y cerdos. La proteína que contiene el bagazo de caña de azúcar como residuo, se puede utilizar como fuente rica en proteína para la alimentación de diferentes animales domésticos. De acuerdo los estudios de Selim et al. (2022), demuestran que la caña de azúcar se puede utilizar como alimento para animales y su inclusión en la dieta puede aumentar la producción de leche y carne.

5. METABOLISMO

5.1. Levaduras con actividad

Las levaduras son capaces de habitar y multiplicarse en ambientes con condiciones extremas de temperatura, salinidad, pH, presión, oxígeno, agua, disponibilidad de nutrientes y presencia de sustancias tóxicas, por lo que se han convertido en un objetivo importante para estudiar interacciones con cuerpos extraños. Un buen modelo de mecanismos fisiológicos y moleculares porque son mejores biosorbentes y degradan estos compuestos de manera más eficiente que las bacterias, hongos y microalgas en las aguas residuales.

Los modelos utilizados en el estudio fueron levaduras de los géneros *Candida*, *Cryptococcus*, *Pichia*, *Rhodosporium*, *Rhodotorula* y *Saccharomyces*, las cuales se consideran degradadoras de contaminantes orgánicos nocivos como compuestos alifáticos y HAP's (Boz et al. 2015; Hesham et al. 2012).

5.2. Bacterias con actividad

Diferentes bacterias se han adaptado a diferentes climas y microambientes de la Tierra. Los microorganismos halófilos crecen en charcos de salmuera, los microorganismos termófilos crecen en pilas de carbón humeante o en aguas termales volcánicas, y los microorganismos barófilos viven en la intensa presión de las profundidades del océano (Glazer y Nikaido 2007; Haritash y Kaushik 2009).

Las bacterias de los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus* son modelos de degradación de HAP's, esto debido a su alta tolerancia a su exposición, con tasas de liberación de hasta el 95% para compuestos individuales y en combinación de su estos (Rabodonirina et al. 2019).

JUSTIFICACIÓN

La contaminación ambiental por hidrocarburos es un grave problema que afecta al equilibrio ecológico y a la salud humana. Los métodos convencionales para tratar esta contaminación son costosos e ineficientes en áreas extensas. Por ello, se requieren alternativas sustentables que cumplan con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU y los convenios internacionales de la Organización Marítima Internacional (OMI). Una de estas alternativas es la biorremediación, que consiste en el uso de microorganismos capaces de degradar los hidrocarburos y restaurar el ambiente. Para mejorar el rendimiento de la biorremediación, se puede utilizar la cascarilla de cacao como sustrato, aprovechando así un residuo agroindustrial que tiene valor añadido. El objetivo de este proyecto es validar el uso de la cascarilla de cacao como sustrato en la biorremediación de áreas contaminadas por hidrocarburos, contribuyendo a la protección ambiental y al desarrollo sostenible.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿El consorcio de bacterias y levaduras con el sustrato de cascarilla de la semilla de cacao podrá reducir la concentración de hidrocarburos totales presentes en los suelos contaminados?

HIPOTESIS

El consorcio de bacterias y levaduras con el sustrato de cascarilla de la semilla de cacao reduce la concentración de hidrocarburos totales presentes en los suelos contaminados.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la biorremediación de un consorcio de bacterias y levaduras utilizando como sustrato cascarilla de la semilla de cacao en un suelo arenoso contaminado con hidrocarburos de dos fracciones diferentes.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Contaminar e intemperizar con hidrocarburos de fracción media y pesada los suelos de la región.
- Determinar de hidrocarburos totales por método HTP.
- Preparar del consorcio de bacterias y levaduras.
- Elaborar un diseño experimental de biorremediación del consorcio de bacterias y levaduras en suelos arenosos contaminados con hidrocarburos de fracción media y pesada.
- Determinar la biorremediación del consorcio en los suelos contaminados con hidrocarburos pesados y medianos.

METODOLOGIA

- **Contaminación e intemperización con hidrocarburos de fracción media y pesada los suelos de la región.** Los suelos fueron obtenidos del municipio de Paraíso, posteriormente en el laboratorio se contaminaron con hidrocarburos pesados y medianos en concentraciones de 17000 ppm respectivamente. Durante seis meses fueron sometidos a condiciones ambientales. Transcurrido el periodo de tiempo los suelos fueron molidos y tamizados (Mont Inox no. 35.).

- **Determinación de hidrocarburos totales por método de HTP.**

Se colocaron 5 gramos suelo y se realizaron extracciones con 60mL de diclorometano (JT Bakers) en el equipo Soxhlet a 60 °C durante 8hrs. El extracto obtenido se dejó evaporar por 24hrs, se determinó la concentración de HTP del petróleo por diferencia de peso (Ecker et al., 1993). Los resultados son expresados en Partes Por Millón (PPM).

- **Preparación de consorcio de bacterias y levaduras.**

Se preparo una infusión fermentada de acuerdo con lo reportado por Villarreal-Soto et al., (2018) con la siguiente modificación: la sustitución del té negro por la cascarilla de cacao y se utilizó el cultivo simbiótico de bacterias y levaduras (SCOBY por sus siglas en ingles) de la marca Mandolín®. Transcurrido el tiempo se colocó el peso correspondiente de acuerdo con el diseño de los tratamientos de biorremediación.

- **Diseño experimental de biorremediación del consorcio de bacterias y levaduras en suelos arenosos contaminados con hidrocarburos de fracción media y pesada.**

Se realizo el diseño experimental de diferentes tratamientos de biorremediación en los suelos contaminados con hidrocarburos de fracción media y pesada, tomando en cuenta la evaluación hecha por Adams et al., (2014), los cuales proponen 4% de enmienda orgánica como el máximo para la aplicación en sitios contaminados. En este estudio se utilizó como enmienda orgánica el cultivo simbiótico de la infusión de cascarilla de cacao en presencia o ausencia del sustrato cascarilla de cacao (ver Tabla 1). Posteriormente se procedió a determinar los hidrocarburos totales del petróleo por el método de HTP en los días 15 y 45.

Tabla 1.

Diseño experimental de biorremediación de los suelos contaminados.

Tratamiento	% del cultivo simbiótico de infusión de cascarilla de cacao	% de cascarilla de cacao	Peso de suelo contaminado
Control + Hidrocarburo pesado	-	-	25 gramos
Control + Hidrocarburo mediano	-	-	
Tratamiento 1 (T1)	4%	-	
Tratamiento 2 (T2)	3%	1%	
Tratamiento 3 (T3)	2%	2%	
Tratamiento 4 (T4)	1%	3%	
Tratamiento 5 (T5)	-	4%	

- **Biorremediación del consorcio en los suelos contaminados con hidrocarburos pesados y medianos.**

Después de los tratamientos se determinó el contenido total de hidrocarburos por el método HTP, el porcentaje de biorremediación se calculó de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ remocion} = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

Nota: C_i =Concentración inicial, C_f =Concentración final.

- **Análisis estadístico**

Los resultados se evaluarán mediante un análisis de varianza (ANOVA) y empleando la prueba de Tukey. Para el análisis se utilizó el programa Prism 5.0.

RESULTADOS

El análisis de biorremediación se realizó en suelos descritos conforme a los lineamientos de la *NOM-021-SEMARNAT-2000* (ver Tabla 2). El suelo presenta propiedades características de una textura arenosa, exceptuando por tres parámetros: el primero, es la baja conductividad eléctrica que presenta el suelo en ambos suelos contaminados teniendo efectos despreciables de salinidad: el segundo, es el cambio en la capacidad de campo, indicando uno muy bajo en el suelo intemperizado con fracción pesada y uno medio bajo en el suelo intemperizado con fracción mediana: el tercero, el porcentaje porosidad donde encontramos altos valores indicando que es muy amplio. Teniendo en cuenta todos estos parámetros, la composición del suelo utilizado en este trabajo fue arenosa.

Tabla 2.

Caracterización de suelos contaminados

SUELO INTEMPERIZADO FRACCION MEDIANA								
TEXTURA								
pH	CE	CC	DA	DR	%PO	%R	%L	%A
7.26	0.159	15.54	1.39	2.81	102.59	1.54	13.03	85.43
SUELO INTEMPERIZADO CON FRACCION PESADA								
TEXTURA								
pH	CE	CC	DA	DR	%PO	%R	%L	%A
6.638	0.158	4.858	1.474	2.714	84.171	1.01	0.77	98.22

Nota: La descripción de suelos se realizó conforme a la *NOM-021-SEMARNAT-2000*. pH= Potencial de hidrogeno, CE=Conductividad eléctrica, CC=Capacidad de campo, DA=Densidad aparente, DR=Densidad real, %PO= Porosidad, %R= Arcillas, %L=Limo, %A=Arena.

Para determinar las concentraciones de hidrocarburos en PPM en el suelo se utilizó el método de HTP por diferencia de peso para cada tratamiento. Los resultados encontrados en las determinaciones muestran que los suelos que fueron contaminados superan los límites permisibles descritos en la *NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012*, donde especifica que el uso de suelo en actividades

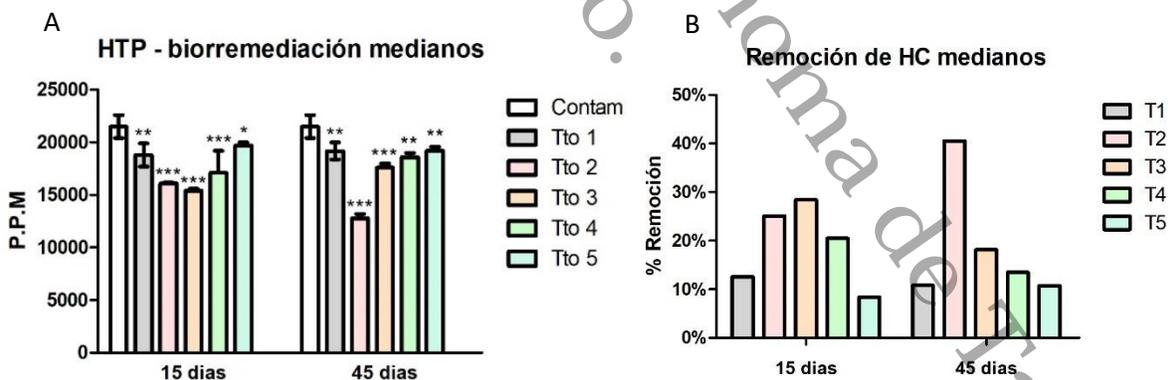
agrícolas, forestales, pecuario y de conservación no debe ser mayor a 1200 PPM en fracción mediana y 3000 PPM en fracción pesada. En nuestros resultados de los suelos contaminados encontramos valores de para fracción mediana 21497 PPM y para fracción pesada 21697 PPM de hidrocarburos (ver Figura 7 y Figura 8).

Se evaluó la biorremediación (ver Figura 7 y Figura 8) comparando los resultados obtenidos de los diferentes tratamientos, determinando las concentraciones a lo largo del tiempo y bajo las condiciones propuestas al inicio del experimento. Los tratamientos se agruparon según los días transcurridos, tanto para el suelo contaminado con fracciones de hidrocarburos medianos como con fracciones pesadas.

En los suelos con fracción mediana, se observó una disminución de 6101 PPM en el tratamiento 3 durante los primeros 15 días, lo que representa una reducción del 28% en su concentración. A los 45 días, el tratamiento 2 mostró una reducción de 8708 PPM en HTP, equivalente al 40% en comparación con el control (ver Figura 7).

Figura 7.

Biorremediación de fracciones medianas



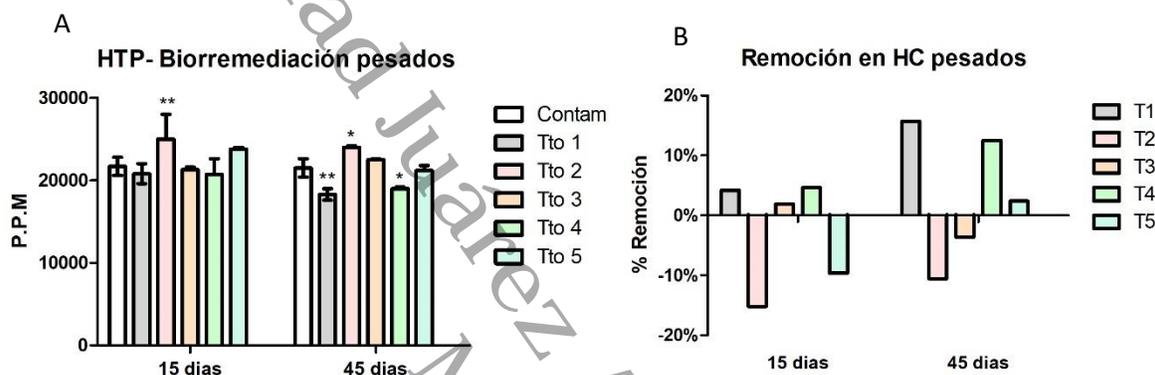
Nota: Concentración de hidrocarburos de fracción mediana en 15 y 45 días en diferentes tratamientos (A) y porcentaje de remoción (B). Anova post tukey control vs tratamientos. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

En los suelos con hidrocarburos pesados, se observó una reducción significativa en los tratamientos 1 y 4 durante los primeros 15 días, con disminuciones de 905 PPM

y 999 PPM respectivamente, lo que representa una reducción de poco más del 4% en ambos casos. A los 45 días, el tratamiento 1 mostró una mejora significativa, reduciendo 3403 PPM, lo que representa un 15% en comparación con el control (ver Figura 8).

Figura 8.

Biorremediación de fracciones pesadas



Nota: Concentración de hidrocarburos de fracción mediana en 15 y 45 días en diferentes tratamientos (A) y porcentaje de remoción (B). Anova post tukey control vs tratamientos. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

Como resultado del tratamiento de biorremediación, se encontró mejor actividad biológica del consorcio de microorganismos del tratamiento 2 en fracciones medianas y el tratamiento 1 en fracciones pesadas a los 45 días, observando que el porcentaje de contaminación en ambos tratamientos disminuye. Sin embargo, no se descartan los tratamientos donde se ve un aumento en la concentración, esto puede indicar alguna actividad parcial de degradación del consorcio microbiológico sobre los hidrocarburos.

DISCUSIÓN

En Tabasco, las propiedades físicas y químicas de los suelos se ven afectadas de manera significativa por la presencia de los hidrocarburos en el ambiente, siendo los derrames la principal causa que originan esta problemática. En este trabajo, la evaluación de los suelos contaminados con hidrocarburos muestra características

similares a las reportadas por Álvarez et. al., (2019). En la tabla 1, se muestra la caracterización de los suelos utilizados, identificando tres de los parámetros fuera de los rangos normales marcados por la *NOM-021-SEMARNAT-2000*. Los hidrocarburos no solo afectan las propiedades de los suelos, sino también afecta la flora, fauna y microorganismos propios (Martínez y López, 2001) además, estos hidrocarburos presentes interrumpen la interacción entre las partículas y el agua, alterando así la capacidad de retención de esta (Díaz et. al., 2023) generando el riesgo de filtración hacia aguas subterráneas e inclusive ser transportados por escorrentía provocando aún más daño al ambiente (Jiménez, 2006).

Los suelos contaminados expuestos a condiciones ambientales durante más de seis meses presentan retos significativos para la biorremediación. Esto se debe a que los procesos de evaporación y oxidación reducen las propiedades físicas y químicas del hidrocarburo, resultando en una mayor concentración de fracciones pesadas. Estas requieren más tiempo para ser biodegradadas en comparación con los derrames recientes de hidrocarburos, que contienen una mayor proporción de compuestos alifáticos y saturados, más accesibles para la degradación por microorganismos (Trindade et al., 2005). A pesar de que las técnicas de biorremediación como la bioaumentación y bioestimulación son hasta dos veces más eficientes en derrames recientes, la toxicidad potencial de estos compuestos para los microorganismos puede requerir un período de adaptación más largo o incluso inhibir la degradación (Oña et al., 2022). Por lo tanto, se prefiere el uso de suelos intemperizados para optimizar el aprovechamiento por parte del consorcio microbiano.

La biorremediación, se conoce como un proceso ecológico que utiliza diferentes microorganismos, hongos, plantas o inclusive enzimas derivadas de estos para retomar un ambiente contaminado a su condición natural mejorando sus propiedades (Rodríguez, 2009). Este proceso se puede llevar a cabo mediante dos estrategias principales: la bioaumentación y la bioestimulación. La bioaumentación implica la adición de cepas microbianas específicas que son eficientes en la degradación de contaminantes, mientras que la bioestimulación se enfoca en

estimular las poblaciones microbianas existentes en el sitio contaminado para que aumenten su actividad metabólica y, por ende, la degradación de contaminantes (Meyer et al., 2014; Pontes et al., 2013). Ambas estrategias son fundamentales para el éxito de la biorremediación y se aplican según las necesidades específicas del sitio afectado, en nuestro estudio se abordó las dos estrategias.

Dentro de la bioestimulación empleada en este trabajo se utilizó el sustrato cascarilla de cacao. Los sustratos presentan un apoyo a la degradación de los compuestos presentes en el suelo contaminado, Ordaz et. al., (2011) utilizó bagazo de caña como sustrato, consiguiendo un 30% de remoción de hidrocarburos, comparado con nuestro resultado del T5 (ver Figura 7), se observó una remoción del 10.7% a los 45 días en la fracción mediana.

Sin embargo, en nuestros resultados el mejor porcentaje de remoción de hidrocarburos fue la estrategia de biorremediación y bioestimulación (sustrato de la cascarilla de cacao y el consorcio microbiano). En la figura 7 el T3, presentó una remoción del 28.3% con suelo contaminados con hidrocarburos de fracciones medianas. García et al., (2011) utilizó diversos porcentajes de bagazo y cachaza de caña como sustrato y microorganismos heterótrofos en la remoción de hidrocarburos, logrando así una remoción de 60.1% utilizando el 2% de bagazo de caña y de 51.4% con cachaza de caña en un 4% como enmienda orgánica. Sin embargo, los resultados mostrados fueron obtenidos en condiciones de laboratorio para favorecer el crecimiento de los organismos como la humedad en un 80%, la temperatura a 28 °C y el flujo de aireación de 150 mL min⁻¹, condiciones que son difíciles de mantener para la aplicación.

Por otro lado, Rodríguez (2017) aumentó el porcentaje de enmienda orgánica tanto de bagazo como de cachaza hasta un 15% adicionando los mismos nutrientes logrando una remoción del 61%. Murillo et al., (2019) compararon los diversos tratamientos de remoción de hidrocarburos en suelos, obteniendo 57.35% con el uso de lombrices, 55.71% con la aplicación de cachaza y bagazo de caña y 40-60% con el uso de fertilizantes y bacterias degradantes.

Márquez et al., (2016) reportó la utilización de una cepa de hongo F (*Penicillium sp.*) y diversas cepas de hongos (*Aspergillus sp*) HBC7, HBC9, M1H5, HBG y HBC12 crecidos sobre 3% de bagazo de caña como enmienda orgánica y mezclados con suelos contaminados con HTP, además de la adición de medio salino compuesto de glucosa, KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, CaCl_2 y NH_4Cl . Se obtuvo, 38.6% de remoción de HTP en la cepa HBC7 y 36.3% en la cepa M1H5. Comparado con los resultados obtenidos, la adición de medios salinos y demás nutrientes pondrían a esta alternativa por encima de la usada en este trabajo, puesto que la cascarilla de cacao es un residuo extraído de la actividad industrial al trabaja con cacao.

En conclusión, el uso del consorcio microbiano tiene efectos positivos en la biorremediación de los suelos, teniendo en cuenta que la materia orgánica utilizada proviene de una fuente que usualmente es desechada, abre la oportunidad de ser una combinación que ayudaría en espacios con áreas de contaminación sin elevar costos en el uso de nutrientes adicionales que en gran medida podrían ser un impedimento para llevar a cabo esta técnica en la recuperación de suelos.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

- El consorcio microbiano presenta propiedades que reducen la concentración de hidrocarburos en diferentes fracciones que aumenta su rendimiento con respecto al tiempo.
- El sustrato de cascarilla de cacao no muestra una actividad mayor de biorremediación en ninguna de las fracciones a comparación del consorcio, sin embargo, si funciona de mejor manera en conjunto con el consorcio microbiano, como un iniciador en el metabolismo de los hidrocarburos.
- El tratamiento 4 que consistió en 2% de enmienda orgánica y 2% de consorcio de microorganismos presento un mejor rendimiento en fracciones medianas en 15 y 45 días.

- El consorcio de microorganismo (T1) presento un rendimiento en la biorremediación de suelos contaminados con fracciones presadas en 45 días.
- Además, las condiciones a las que fueron sometidos los tratamientos en esta investigación difieren en gran medida a las encontradas en la literatura siendo capaz de ser reproducible en zonas extendidas donde se puede encontrar un derrame y no solamente de forma experimental.
- ✓ No se evaluó la adición de nutrientes adicionales, sin embargo, no se debe de descartar su uso para mayor efectividad siendo una perspectiva de esta investigación.
- ✓ Se recomienda evaluar los tratamientos en mayor tiempo hasta los 60 días en los tratamientos que permitan conocer si el rendimiento se mantiene con respecto al tiempo e identificar los microorganismos asociados al efecto de biorremediación.

REFERENCIAS CITADAS

- Adams, R.H., Guzmán-Osorio, F.J. & Domínguez-Rodríguez, V.I. (2014). Field-scale evaluation of the chemical–biological stabilization process for the remediation of hydrocarbon-contaminated soil. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 11, 1343–1352. <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0321-1>
- Alexander, M. (1994). *Biodegradation and Bioremediation*. 2nd ed. Academic Press, London.
- Álvarez, J. M. F., Chávez, M. D. J. A., Bautista, C. M. M., Olán, C. M., & García, C. E. L. (2019). Evaluación del suelo contaminado con hidrocarburo e intemperizado en Cárdenas, Tabasco. *Journal of Basic Sciences*, 5(15).
- Baderna, D., Maggioni, S., Boriani, E., Gemma, S., Molteni, M., Lombardo, A., Colombo, A., Bordonali, S., Rotella, G., Lodi, M. & Benfenati, E. (2011). A combined approach to investigate the toxicity of an industrial landfill's leachate: Chemical analyses, risk assessment and in vitro assays.

- Environmental Research, 111(4): 603–613.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.01.015>
- Bahafid, W., Joutey, N. T., Asri, M., Sayel, H., Tirry, N., & Ghachtouli, N. E. (2017). Yeast Biomass: An Alternative for Bioremediation of Heavy Metals. In *Yeast - Industrial Applications*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70559>
- Bajgai, R., Nelly G., & Nevena L. (2012). 'Bioremediation of Chromium Ions with Filamentous Yeast *Trichosporon Cutaneum* R57'. *Journal of Biology and Earth Sciences* 2(2): 70–75.
- Bauman-Kaszubska, H. & Sikorski, M. (2009). Selected problems of waste water disposal and sludge handling in the Mazovian province. *Journal of Water and Land Development*. <https://doi.org/10.2478/v10025-010-0011-z>
- Bayat, J., Hashemi, H., Khoshbakht, K. & Deihimfard, R. (2016). Fingerprinting aliphatic hydrocarbon pollutants over agricultural lands surrounding Tehran oil refinery. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(11). <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5614-7>
- Boz, T., Hüsniye, Y., Cengiz, C., & Füsün, U. (2015). 'Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlari Parçalayan Mayaların Taranması ve Moleküler Karakterizasyonu'. *Turkish Journal of Biochemistry*. 40(2): 105–10.
- Castillo Rogel, Rosita T., More Calero, Francis J., Cornejo La Torre, Melitza, Fernández Ponce, Jaime N., & Mialhe Matonnier, Eric L. (2020). Aislamiento de bacterias con potencial biorremediador y análisis de comunidades bacterianas de zona impactada por derrame de petróleo en Condorcanqui - Amazonas - Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(3), 215-225.
- Centro Nacional de Información de Hidrocarburos. (2023). Sistema de información de hidrocarburos. Centro Nacional de Hidrocarburos. <https://hidrocarburos.gob.mx/estadisticas/an%C3%A1lisis-estad%C3%ADstico-y-temas-relevantes/>
- Conde Williams, A. D., (2013). Efectos nocivos de la contaminación ambiental sobre la embarazada. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 51(2), 226-238.
- Conte, P., Zena, A., Pilidis, G. & Piccolo, A. (2001). Increased retention of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils induced by soil treatment with humic substances. *Environmental Pollution*, 112(1): 27–31. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00101-](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00101-)

- Cuautle, A., Mendoza, L., Minto M., Gil, S., Anacleto, N., Vásquez, M., Ortiz, P., Cortes, E., Flores, P., Mendoza, J. & Pérez, G. (2021). Aplicaciones de la biorremediación. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*. 12(31), 62-75.
- De la torre, L., Tavera, M., & Mena, X. (2021). Desarrollo Sustentable y Aprovechamiento del Residuo de la Caña de Azúcar. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, 7(1), 12-26. <https://www.remai.ipn.mx/index.php/REMAI/article/view/79/75>
- de la Orden, E. H. A. (2007). Contaminación: Consideraciones generales. Facultad de ciencias agrarias. UNCA.
- Delgadillo-Ordoñez, N. C., Ruiz Posada-Suárez, L., Marcelo, E., Cepeda-Hernández, M. L., & Sánchez Nieves, J. (2017). Aislamiento e identificación de levaduras degradadoras de hidrocarburos aromáticos, presentes en tanques de gasolina de vehículos urbanos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, XIX (2), 141-151.
- Díaz, V. M. E., Zamora, C. S. A. & Santos, T. D. C. (2023) Características de un suelo contaminado por hidrocarburos y su posible uso como estabilizadores de suelo. *Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán*, 27(3), 18-26.
- Domínguez-Sánchez, S., Martínez-Montoya, H., Hernández-Jiménez, M. C., Torres-Rodríguez, H. F., & Rodríguez-Castillejos, G. (2018). Los microorganismos como una alternativa para la remediación de contaminación por hidrocarburos. *Mexican journal of biotechnology*, 3(4), 70–83.
- Encinas, M. (2011). Medio ambiente y contaminación. Principios básicos.
- FAO & GTIS. (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils.
- FAOSTAT. (2020). FAO. Cultivos y productos de. Cultivos y productos de ganadería. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
- Fritt-Rasmussen, J., Jensen, E., Christensen, B. & Dahllöf, I. (2012). Hydrocarbon and Toxic Metal Contamination from Tank Installations in a Northwest Greenlandic Village. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(7): 4407–4416. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1204-7>

- García, T., R., Ríos, L., E., Martínez, T., Á., Ramos, M., F. R., Cruz, S., J. S., & Cuevas, D., M. D. C. (2011). Uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelo contaminado. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(1), 31-39.
- Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., Nadal, M., van der Ploeg, M., van de Zee, M. & Ritsema, J. (2015). Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(1): 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.002>
- Glazer, N. & Hiroshi N. (2007). *Microbial Biotechnology Fundamentals of Applied Microbiology*.
- Grathwohl, P. & Halm, D. (2013). INTEGRATED SOIL AND WATER PROTECTION: RISKS FROM DIFFUSE POLLUTION. Cluster meeting; 2nd, Innovative management of groundwater resources in Europe - training and RTD coordination; Sustainable management of soil and groundwater resources in urban areas. Conference papers / Umweltbundesamt, Wien. Paper presented at, 2003, Wien.
- Haritash, A. K., and C. P. Kaushik. (2009). 'Biodegradation Aspects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): A Review'. *Journal of Hazardous Materials* 169(1–3): 1–15.
- Hesham, A. (2012). 'Biodegradation of High Molecular Weight PAHs Using Isolated Yeast Mixtures: Application of Meta-Genomic Methods for Community Structure Analyses'. *Environmental Science and Pollution Research*. 19(8): 3568–78.
- ICCT. (s.f.). Introducción a la refinación del petróleo y producción de gasolina y diésel con contenido ultra bajo de azufre. https://theicct.org/sites/default/files/ICCT_RefiningTutorial_Spanish.pdf
- Jiménez, D. L. (2006). Estudio de impacto ambiental generado por un derrame de hidrocarburos sobre una zona estuarina, aledaña al terminal de ecopetrol en Tumaco. (tesis de pregrado). Ingeniería Ambiental Sanitaria. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.
- Karigar, Chandrakant S., & Shwetha S. Rao. (2011). 'Role of Microbial Enzymes in the Bioremediation of Pollutants: A Review'. *Enzyme Research* 2011(1).
- Kim, S., Kim, R., Kim, I., Owens, G. & Kim, H. (2017). Influence of Road Proximity on the Concentrations of Heavy Metals in Korean Urban Agricultural Soils and

- Crops. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 72(2): 260–268. <https://doi.org/10.1007/s00244-016-0344>
- Kumar, A. & Maiti, K. (2015). Assessment of potentially toxic heavy metal contamination in agricultural fields, sediment, and water from an abandoned chromite-asbestos mine waste of Roro hill, Chaibasa, India. Environmental Earth Sciences, 74(3): 2617–2633. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4282>
- Lagos-Burbano, E., & Castro-Rincón, E. (2019). Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. Agronomía Mesoamericana, 30(3), 917-934. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.34668>
- Lerda, D. (2011). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Factsheet., p. 34. Belgium, Joint Research Centre, European Commission.
- Lin, C., Liu, J., Wang, R., Wang, Y., Huang, B. & Pan, X. (2013). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soils of Kunming, China: Concentrations, Distribution, Sources, and Potential Risk. Soil and Sediment Contamination: An International Journal, 22(7): 753–766. <https://doi.org/10.1080/15320383.2013.76820>
- Lu, Y., Song, S., Wang, R., Liu, Z., Meng, J., Sweetman, J., Jenkins, A., Ferrier, C., Li, H., Luo, W. & Wang, T. (2015). Impacts of soil and water pollution on food safety and health risks in China. Environment International, 77: 5–15. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.12.010>
- Mackay, K., Taylor, P., Munksgaard, C., Hudson-Edwards, A. & Burn-Nunes, L. (2013). Identification of environmental lead sources and pathways in a mining and smelting town: Mount Isa, Australia. Environmental Pollution, 180: 304–311. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.05.007>
- Márquez, B., A., Ávila, J., M., Cruz, C., M. D. R., Castañeda, B., M. T., Chávez, M., M., & Espinoza, C., M. (2016). Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos totales de petróleo (HTP' s).
- Martínez, J., Pérez, C., Tudela, L., Molina, J., Linares, P., Navarr, C. & Hernández, C. (2005). Desertificación: monitorización mediante indicadores de degradación química. Programa de iniciativa comunitaria INTERREG IIIB ESPACIO MEDOCC. Proyecto Desernet. Acción piloto Región de Murcia. Ed. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente.
- Martínez, V. E. & López, S. M. Y. (2001). Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso. Terra Latinoamericana, 19(1), 9-17.

- Meyer, D.D., Anderson, B.S., Bücker, F., Ruaro, P. M.do C., Guedes, F.A.P., Osti, J.F., Andrezza, R., de Oliveira, C.F.A., Bento, M.F., 2014. Bioremediation strategies for diesel and biodiesel in oxisol from southern Brazil. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 95: 356-363.
- Murillo, S. E. P., Nevárez, E. Z., Figueroa, J. B., Loor, Á. A., & Aldaz, K. S. (2019). Nuevos sistemas de tratamientos de suelo contaminado por hidrocarburos. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (E21), 226-236.
- ODUM, Eugene P. (1985): "Ecología" 3º Edición. Editorial Omega.
- Oña Rocha, T., & Gualoto Oñate, M. (2022). *Biorremediación ambiental: La Biodiversidad al Servicio del Ambiente*. Universidad Técnica del Norte. Recuperado de <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12831>.
- Ordaz, J. A., Martínez T., Á., Ramos M., F. R., Sánchez, D., L. F., Martínez, A. J., Tenorio, L., J. A., & Cuevas D., M. D. C. (2011). Biorremediación de un suelo contaminado con petróleo mediante el empleo de bagazo de caña con diferentes tamaños de partícula. *Multiciencias*, 11(2), 136-145.
- Ordoñez Burbano, D. E., Abella Medina, C. A., Echeverry Tamayo, A., Paz Lasprilla, L. M., & Benítez-Campo, N. (2019). Biodegradación de hidrocarburos alifáticos saturados por microorganismos aislados de suelo contaminado con derivados del petróleo. *Revista De Ciencias*, 22(2).
- Peñalosa Albarracín, D. F., Laiton Daza, L. J., Caballero Yáñez, D. F., Blanco Tirado T. S., Acevedo Argüello, C., & Cervantes Díaz, M. (2021). Estudio cuantitativo de tendencias en el aprovechamiento de los subproductos del cacao (*Theobroma cacao* L.). *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 10(27).
- Podolský, F., Ettlér, V., Šebek, O., Ježek, J., Mihaljevič, M., Kříbek, B., Sracek, O., Vaněk, A., Penížek, V., Majer, V., Mapani, B., Kamona, F. & Nyambe, I. (2015). Mercury in soil profiles from metal mining and smelting areas in Namibia and Zambia: distribution and potential sources. *Journal of Soils and Sediments*, 15(3): 648–658. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-1035-9>
- Ponce Contreras, D. S. (2014). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. [Tesis profesional, Universidad del Bio-Bio]. Repositorio institucional de la Universidad del Bio-Bio. <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/135/3/Ponce%20Contreras%2c%20Daniela.pdf>

- Pontes, J., Mucha, A.P., Santos, H., Reis, I., Bordalo, A., Basto, M.C. 2013. Potential of bioremediation for buried oil removal in beaches after an oil spill. *Marine Pollution Bulletin*, 76: 258-265.
- Rabodonirina, S, (2019). 'Degradation of Fluorene and Phenanthrene in PAHs-Contaminated Soil Using Pseudomonas and Bacillus Strains Isolated from Oil Spill Sites'. *Journal of Environmental Management* 232, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.005>
- Rakowska, J. ((2020). Remediation of diesel-contaminated soil enhanced with firefighting foam application. *Sci Rep*, 10, 8824.
- Repsol (s.f). El petróleo. El recorrido de la energía. Dirección General de Industria, Energía y Mina. <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2019/05/recorrido-de-la-energia-el-petroleo.pdf>
- Rodríguez, J. 2009. Mitigación y biorremediación de suelos contaminados por el derrame de combustible diésel 2 en la Quebrada del Toro, Camaná. *Ciencia y Desarrollo* 10 (3): 37-51.
- Rodríguez, M. G. E. (2017). Remoción de hidrocarburos totales en suelos contaminados con petróleo mediante residuos de cachaza y bagazo de caña de azúcar. *UCV-SCIENTIA*, 9(1), 59-66.
- Rodríguez-Gonzales, A., Zárate, S., & Bastida, A. (2022). Biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para realizar biorremediación. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 178-208. <https://dx.doi.org/10.15359/rca.56/1.9>
- Selim, A., Hasan, N., Rahman, A., Rahman, M., Islam, R., Bostami, R., Islam, S., & Tedeschi, L. (2022). Nutrient content and in vitro degradation study of some unconventional feed resources of Bangladesh. *Heliyon*, 8(5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09496>
- Simbaña Cazar, C. J. (2016). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de la Parroquia Taracai en Francisco de Orellana, mediante el hongo *Pleurotus ostreatus*. Ecuador [Tesis de ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4916>
- Soares, I., Santos, N., João, F., Lima, M., Freitas, L., Borges, J., & Silva, R. (2020). Analysis of physical-chemical parameters and centesimal composition of sugar cane bagasse flour (*Saccharum officinarum* L.

- Research, Society and Development, 9(7), 1-14.
<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4385>
- Srogi, K. (2007). Monitoring of environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 5(4): 169–195.
<https://doi.org/10.1007/s10311-007-0095-0>
- Strzebońska, M., Jarosz-Krzemińska, E. & Adamiec, E. (2017). Assessing Historical Mining and Smelting Effects on Heavy Metal Pollution of River Systems over Span of Two Decades. *Water, Air, & Soil Pollution*, 228(4).
<https://doi.org/10.1007/s11270-017-3327-3>
- Suarez Beltrán, M. R. (2013). Guía de métodos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos. Instituto de posgrados ingeniería: Especialización en gerencia ambiental. Bogotá, D.C. (20 de septiembre del 2023). Recuperado a partir de:
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10607/TRABAJO%20FINAL%20cd.pdf>
- Swati, Ghosh, P., Das, M.T. & Thakur, I.S. (2014). In vitro toxicity evaluation of organic extract of landfill soil and its detoxification by indigenous pyrene-degrading *Bacillus* sp. ISTPY1. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 90: 145–151. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.03.001>
- Trindade, P. V. O., Sobral, L. G., Rizzo, A. C. L., Leite, S. G. F., & Soriano, A. U. (2005). Bioremediation of a weathered and a recently oil-contaminated soils from Brazil: a comparison study. *Chemosphere*, 58(4), 515-522.
- Vargas, F. (2005). La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 117-127.
- Velásquez Arias, J. A. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 8(1), 151-167.
- Venuti, A., Alfonsi, L. & Cavallo, A. (2016). Anthropogenic pollutants on top soils along a section of the Salaria state road, central Italy. *Annals of Geophysics* (5). <https://doi.org/10.4401/ag-7021>
- Vidali, M. (2001). 'Bioremediation - An Overview'. *Journal of Industrial Pollution Control* 27(2): 161–68

Villarreal-Soto, S., Bouajila, J., Pace, M., Leech, J., Cotter, P., Souchard, J.-P., Taillandier, P. & Beaufort, S. (2020) Metabolome-microbiome signatures in the fermented beverage, Kombucha, *Int. J. Food Microbiol.* 333, 108778.

Zhang, H., Wang, Z., Zhang, Y., Ding, M. & Li, L. (2015). Identification of traffic-related metals and the effects of different environments on their enrichment in roadside soils along the Qinghai–Tibet highway. *Science of The Total Environment*, 521–522: 160–172. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.054>

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional	
Título de Tesis:	“Biorremediación de suelos arenosos por derrames de hidrocarburos a partir de un sustrato de cascarilla de semilla de cacao y de un cultivo simbiótico”
Autor(a) o autores(ras) de la Tesis:	Juan Manuel Contreras López
ORCID:	https://orcid.org/0009-0000-5348-7914
Resumen de la Tesis:	<p>La contaminación por hidrocarburos procedente de actividades antropogénicas sigue siendo un problema en las zonas productoras de petróleo. Actualmente se buscan estrategias para combatir esta contaminación, entre ellas la biorremediación. Recientemente, el uso de microorganismos y sustratos se ha descrito como un método prometedor para abordar este problema. En Tabasco, el cultivo de cacao es una de las principales actividades agrícolas, y se ha reportado que los residuos de cacao pueden ser una fuente importante de sustratos para la aplicación de la biorremediación. El presente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de la biorremediación utilizando cascarilla de cacao como enmienda orgánica y un consorcio de bacterias y levaduras en suelos contaminados con fracciones pesadas y medianas de hidrocarburos. Se llevó a cabo</p>

	<p>un diseño experimental en el que los suelos se contaminaron con hidrocarburos medios y pesados. Posteriormente, se aplicaron tratamientos de biorremediación utilizando cascarilla de cacao y un consorcio de bacterias y levaduras durante 15 y 45 días. Tras este periodo, se determinó la concentración de hidrocarburos totales. Los resultados obtenidos muestran una disminución favorable de la concentración de hidrocarburos totales en ambas fracciones. Se observaron mejores rendimientos en las fracciones medias con la enmienda orgánica y el consorcio de microorganismos. En las fracciones pesadas, el consorcio mostró un mayor rendimiento. En conclusión, se observó que el sustrato de cascarilla de cacao y el consorcio de microorganismos favorecieron el proceso de biorremediación.</p>
<p>Palabras claves de la Tesis:</p>	<p>Biorremediación, suelo, consorcio microbiano, hidrocarburo, enmienda orgánica.</p>
<p>Referencias citadas:</p>	<p>Adams, R.H., Guzmán-Osorio, F.J. & Domínguez-Rodríguez, V.I. (2014). Field-scale evaluation of the chemical-biological stabilization process for the remediation of hydrocarbon-contaminated soil. <i>Int. J. Environ. Sci. Technol.</i> 11, 1343-1352. https://doi.org/10.1007/s13762-013-0321-1</p>

<p>Universidad Juárez del Estado de Durango México</p>	<p>Alexander, M. (1994). Biodegradation and Bioremediation. 2nd ed. Academic Press, London.</p> <p>Álvarez, J. M. F., Chávez, M. D. J. A., Bautista, C. M. M., Olán, C. M., & García, C. E. L. (2019). Evaluación del suelo contaminado con hidrocarburo e intemperizado en Cárdenas, Tabasco. <i>Journal of Basic Sciences</i>, 5(15).</p> <p>Baderna, D., Maggioni, S., Boriani, E., Gemma, S., Molteni, M., Lombardo, A., Colombo, A., Bordonali, S., Rotella, G., Lodi, M. & Benfenati, E. (2011). A combined approach to investigate the toxicity of an industrial landfill's leachate: Chemical analyses, risk assessment and in vitro assays. <i>Environmental Research</i>, 111(4): 603–613. https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.01.015</p> <p>Bahafid, W., Joutey, N. T., Asri, M., Sayel, H., Tirry, N., & Ghachtouli, N. E. (2017). Yeast Biomass: An Alternative for Bioremediation of Heavy Metals. In <i>Yeast - Industrial Applications</i>. InTech. https://doi.org/10.5772/intechopen.70559</p> <p>Bajgai, R., Nelly G., & Nevena L. (2012). 'Bioremediation of Chromium Ions with Filamentous Yeast <i>Trichosporon Cutaneum</i> R57'. <i>Journal of Biology and Earth Sciences</i> 2(2): 70–75.</p>
--	--

<p>Universidad Juárez México Autónoma de Chihuahua</p>	<p>Bauman-Kaszubska, H. & Sikorski, M. (2009). Selected problems of waste water disposal and sludge handling in the Mazovian province. Journal of Water and Land Development. https://doi.org/10.2478/v10025-010-0011-z</p> <p>Bayat, J., Hashemi, H., Khoshbakht, K. & Deihimfard, R. (2016). Fingerprinting aliphatic hydrocarbon pollutants over agricultural lands surrounding Tehran oil refinery. Environmental Monitoring and Assessment, 188(11). https://doi.org/10.1007/s10661-016-5614-7</p> <p>Boz, T., Hüsnüye, Y., Cengiz, C., & Füsün, U. (2015). 'Polisiklik Aromatik Hidrokarbonları Parçalayan Mayaların Taraması ve Moleküler Karakterizasyonu'. Turkish Journal of Biochemistry. 40(2): 105–110.</p> <p>Castillo Rogel, Rosita T., More Calero, Francis J., Cornejo La Torre, Melitza, Fernández Ponce, Jaime N., & Mialhe Matonnier, Eric L. (2020). Aislamiento de bacterias con potencial biorremediador y análisis de comunidades bacterianas de zona impactada por derrame de petróleo en Condorcanqui - Amazonas - Perú. Revista de Investigaciones Altoandinas, 22(3), 215-225.</p> <p>Conde Williams, A. D., (2013). Efectos nocivos de la contaminación ambiental sobre</p>
--	--

<p>Universidad Juárez México Autónoma de Tabasco</p>	<p>la embarazada. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 51(2), 226-238.</p> <p>Cuautle, A., Mendoza, L., Minto M., Gil, S., Anacleto, N., Vásquez, M., Ortiz, P., Cortes, E., Flores, P., Mendoza, J. & Pérez, G. (2021). Aplicaciones de la biorremediación. Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias. 12(31), 62-75.</p> <p>De la torre, L., Tavera, M., & Mena, X. (2021). Desarrollo Sustentable y Aprovechamiento del Residuo de la Caña de Azúcar. Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación, 7(1), 12-26.</p> <p>de la Orden, E. H. A. (2007). Contaminación: Consideraciones generales. Facultad de ciencias agrarias. UNCA.</p> <p>Delgadillo-Ordoñez, N. C., Ruiz Posada-Suárez, L., Marcelo, E., Cepeda-Hernández, M. L., & Sánchez Nieves, J. (2017). Aislamiento e identificación de levaduras degradadoras de hidrocarburos aromáticos, presentes en tanques de gasolina de vehículos urbanos. Revista Colombiana de Biotecnología, XIX (2), 141-151.</p> <p>Díaz, V. M. E., Zamora, C. S. A. & Santos, T. D. C. (2023) Características de un suelo contaminado por hidrocarburos y su posible uso como estabilizadores de suelo. Revista</p>
--	---

<p>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco</p>	<p>Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, 27(3), 18-26.</p> <p>Domínguez-Sánchez, S., Martínez-Montoya, H., Hernández-Jiménez, M. C., Torres-Rodríguez, H. F., & Rodríguez-Castillejos, G. (2018). Los microorganismos como una alternativa para la remediación de contaminación por hidrocarburos. <i>Mexican journal of biotechnology</i>, 3(4), 70–83.</p> <p>Encinas, M. (2011). Medio ambiente y contaminación. Principios básicos.</p> <p>FAO & GTIS. (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils.</p> <p>FAOSTAT. (2020). FAO. Cultivos y productos de. Cultivos y productos de ganadería.</p> <p>Fritt-Rasmussen, J., Jensen, E., Christensen, B. & Dahllöf, I. (2012). Hydrocarbon and Toxic Metal Contamination from Tank Installations in a Northwest Greenlandic Village. <i>Water, Air, & Soil Pollution</i>, 223(7): 4407–4416.</p> <p>García, T., R., Ríos, L., E., Martínez, T., Á., Ramos, M., F. R., Cruz, S., J. S., & Cuevas,</p>
---	--

<p>Universidad Juárez Autónoma de México</p>	<p>D., M. D. C. (2011). Uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelo contaminado. <i>Revista internacional de contaminación ambiental</i>, 27(1), 31-39.</p> <p>Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., Nadal, M., van der Ploeg, M., van de Zee, M. & Ritsema, J. (2015). Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. <i>International Soil and Water Conservation Research</i>, 3(1): 57–65. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.002</p> <p>Glazer, N. & Hiroshi N. (2007). <i>Microbial Biotechnology Fundamentals of Applied Microbiology</i>.</p> <p>Grathwohl, P. & Halm, D. (2013). INTEGRATED SOIL AND WATER PROTECTION: RISKS FROM DIFFUSE POLLUTION. Cluster meeting; 2nd, Innovative management of groundwater resources in Europe - training and RTD coordination; Sustainable management of soil and groundwater resources in urban areas. Conference papers / Umweltbundesamt, Wien. Paper presented at, 2003, Wien.</p> <p>Haritash, A. K., and C. P. Kaushik. (2009). 'Biodegradation Aspects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): A Review'.</p>
--	---

<p>Universidad Juárez del Estado de Durango</p>	<p>Journal of Hazardous Materials 169(1–3): 1–15.</p> <p>Hesham, A. (2012). 'Biodegradation of High Molecular Weight PAHs Using Isolated Yeast Mixtures: Application of Meta-Genomic Methods for Community Structure Analyses'. Environmental Science and Pollution Research. 19(8): 3568–78.</p> <p>ICCT. (s.f.). Introducción a la refinación del petróleo y producción de gasolina y diésel con contenido ultra bajo de azufre.</p> <p>Jiménez, D. L. (2006). Estudio de impacto ambiental generado por un derrame de hidrocarburos sobre una zona estuarina, aledaña al terminal de Ecopetrol en Tumaco. (tesis de pregrado). Ingeniería Ambiental Sanitaria. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.</p> <p>Karigar, Chandrakant S., & Shwetha S. Rao. (2011). 'Role of Microbial Enzymes in the Bioremediation of Pollutants: A Review'. Enzyme Research 2011(1).</p> <p>Kim, S., Kim, R., Kim, I., Owens, G. & Kim, H. (2017). Influence of Road Proximity on the Concentrations of Heavy Metals in Korean Urban Agricultural Soils and Crops. Archives of Environmental Contamination and</p>
---	--

<p style="text-align: center; opacity: 0.3; font-size: 2em; transform: rotate(-45deg);"> Universidad Juárez Autónoma de México </p>	<p>Toxicology, 72(2): 260–268. https://doi.org/10.1007/s00244-016-0344</p>
	<p>Kumar, A. & Maiti, K. (2015). Assessment of potentially toxic heavy metal contamination in agricultural fields, sediment, and water from an abandoned chromite-asbestos mine waste of Roro hill, Chaibasa, India. Environmental Earth Sciences, 74(3): 2617–2633. https://doi.org/10.1007/s12665-015-4282</p>
	<p>Lagos-Burbano, E., & Castro-Rincón, E. (2019). Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. Agronomía Mesoamericana, 30(3), 917-934. https://doi.org/10.15517/am.v30i3.34668</p>
	<p>Lerda, D. (2011). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Factsheet., p. 34. Belgium, Joint Research Centre, European Commission.</p> <p>Lin, C., Liu, J., Wang, R., Wang, Y., Huang, B. & Pan, X. (2013). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soils of Kunming, China: Concentrations, Distribution, Sources, and Potential Risk. Soil and Sediment Contamination: An International Journal, 22(7): 753–766. https://doi.org/10.1080/15320383.2013.76820</p>

<p>Universidad Juárez México Autónoma de Toluca</p>	<p>Lu, Y., Song, S., Wang, R., Liu, Z., Meng, J., Sweetman, J., Jenkins, A., Ferrier, C., Li, H., Luo, W. & Wang, T. (2015). Impacts of soil and water pollution on food safety and health risks in China. <i>Environment International</i>, 77: 5–15. https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.12.010</p> <p>Mackay, K., Taylor, P., Munksgaard, C., Hudson-Edwards, A. & Burn-Nunes, L. (2013). Identification of environmental lead sources and pathways in a mining and smelting town: Mount Isa, Australia. <i>Environmental Pollution</i>, 180: 304–311. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.05.007</p> <p>Márquez, B., A., Ávila, J., M., Cruz, C., M. D. R., Castañeda, B., M. T., Chávez, M., M., & Espinoza, C., M. (2016). Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos totales de petróleo (HTP's).</p> <p>Martínez, J., Pérez, C., Tudela, L., Molina, J., Linares, P., Navarr, C. & Hernández, C. (2005). Desertificación: monitorización mediante indicadores de degradación química. Programa de iniciativa comunitaria INTERREG IIIB ESPACIO MEDOCC. Proyecto Desernet. Acción piloto Región de Murcia. Ed. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente.</p>
---	---

<p>Universidad Juárez del Estado de Durango</p> <p>México</p> <p>Facultad de Ciencias Exactas y Naturales</p> <p>Departamento de Biología</p>	<p>Martínez, V. E. & López, S. M. Y. (2001). Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso. <i>Terra Latinoamericana</i>, 19(1), 9-17.</p> <p>Meyer, D.D., Anderson, B.S., Bucker, F., Ruaro, P. M.do C., Guedes, F.A.P., Osti, J.F., Andrezza, R., de Oliveira, C.F.A., Bento, M.F., 2014. Bioremediation strategies for diesel and biodiesel in oxisol from southern Brazil. <i>International Biodeterioration and Biodegradation</i>, 95: 356-363.</p> <p>Murillo, S. E. P., Nevárez, E. Z., Figueroa, J. B., Loo, Á. A., & Aldaz, K. S. (2019). Nuevos sistemas de tratamientos de suelo contaminado por hidrocarburos. <i>Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação</i>, (E21), 226-236.</p> <p>ODUM, Eugene P. (1985): "Ecología" 3^o Edición. Editorial Omega.</p> <p>Oña Rocha, T., & Gualoto Oñate, M. (2022). <i>Biorremediación ambiental: La Biodiversidad al Servicio del Ambiente</i>. Universidad Técnica del Norte.</p> <p>Ordaz, J. A., Martínez T., Á., Ramos M., F. R., Sánchez, D., L. F., Martínez, A. J., Tenorio, L., J. A., & Cuevas D., M. D. C. (2014). Biorremediación de un suelo contaminado con</p>
---	--

<p style="text-align: center; color: gray; font-size: 2em; opacity: 0.5; transform: rotate(-45deg);"> Universidad Juárez Autónoma de México </p>	<p>petróleo mediante el empleo de bagazo de caña con diferentes tamaños de partícula. <i>Multiciencias</i>, 11(2), 136-145.</p> <p>Ordoñez Burbano, D. E., Abella Medina, C. A., Echeverry Tamayo, A., Paz Lasprilla, L. M., & Benítez-Campo, N. (2019). Biodegradación de hidrocarburos alifáticos saturados por microorganismos aislados de suelo contaminado con derivados del petróleo. <i>Revista De Ciencias</i>, 22(2).</p> <p>Peñaloza Albarracín, D. F., Laiton Daza, L. J., Caballero Yáñez, D. F., Blanco Tirado T. S., Acevedo Argüello, C., & Cervantes Díaz, M. (2021). Estudio cuantitativo de tendencias en el aprovechamiento de los subproductos del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.). <i>Espacio I+D, Innovación más Desarrollo</i>, 10(27).</p> <p>Podolský, F., Ettler, V., Šebek, O., Ježek, J., Mihaljevič, M., Kříbek, B., Sracek, O., Vaněk, A., Penížek, V., Majer, V., Mapani, B., Kamona, F. & Nyambe, I. (2015). Mercury in soil profiles from metal mining and smelting areas in Namibia and Zambia: distribution and potential sources. <i>Journal of Soils and Sediments</i>, 15(3): 648–658. https://doi.org/10.1007/s11368-014-1035-9</p> <p>Ponce Contreras, D. S. (2014). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. [Tesis profesional, Universidad</p>
---	--

<p>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco</p>	<p>del Bio-Bio]. Repositorio institucional de la Universidad del Bio-Bio.</p> <p>Pontes, J., Mucha, A.P., Santos, H., Reis, I., Bordalo, A., Basto, M.C. 2013. Potential of bioremediation for buried oil removal in beaches after an oil spill. <i>Marine Pollution Bulletin</i>, 76: 258-265.</p> <p>Rabodonirina, S, (2019). 'Degradation of Fluorene and Phenanthrene in PAHs-Contaminated Soil Using Pseudomonas and Bacillus Strains Isolated from Oil Spill Sites'. <i>Journal of Environmental Management</i> 232, 1-7.</p> <p>Rakowska, J. ((2020). Remediation of diesel-contaminated soil enhanced with firefighting foam application. <i>Sci Rep</i>, 10, 8824.</p> <p>Repsol (s.f). El petróleo. El recorrido de la energía. Dirección General de Industria, Energía y Mina.</p> <p>Rodríguez, J. 2009. Mitigación y biorremediación de suelos contaminados por el derrame de combustible diésel 2 en la Quebrada del Toro, Camaná. <i>Ciencia y Desarrollo</i> 10 (3): 37-51.</p> <p>Rodríguez, M. G. E. (2017). Remoción de hidrocarburos totales en suelos contaminados con petróleo mediante residuos de cachaza y</p>
---	---

<p>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco</p>	<p>bagazo de caña de azúcar. <i>UCV-SCIENTIA</i>, 9(1), 59-66.</p> <p>Rodríguez-Gonzales, A., Zárate, S., & Bastida, A. (2022). Biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para realizar biorremediación. <i>Revista de Ciencias Ambientales</i>, 56(1), 178-208. https://dx.doi.org/10.15359/rca.56/1.9</p> <p>Selim, A., Hasan, N., Rahman, A., Rahman, M., Islam, R., Bostami, R., Islam, S., & Tedeschi, L. (2022). Nutrient content and in vitro degradation study of some unconventional feed resources of Bangladesh. <i>Heliyon</i>, 8(5). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09496</p> <p>Simbaña Cazar, C. J. (2016). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de la Parroquia Taracai en Francisco de Orellana, mediante el hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>. Ecuador [Tesis de ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.</p> <p>Soares, I., Santos, N., João, F., Lima, M., Freitas, L., Borges, J., & Silva, R. (2020). Analysis of physical-chemical parameters and centesimal composition of sugar cane bagasse flour (<i>Saccharum officinarum</i> L.</p>
---	--

<p style="text-align: center; font-size: 2em; opacity: 0.3; transform: rotate(-45deg);"> Universidad Juárez Autónoma de México </p>	<p>Research, Society and Development, 9(7), 1-14. http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4385</p> <p>Srogi, K. (2007). Monitoring of environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: a review. <i>Environmental Chemistry Letters</i>, 5(4): 169–195. https://doi.org/10.1007/s10311-007-0095-0</p> <p>Strzebońska, M., Jarosz-Krzemińska, E. & Adamiec, E. (2017). Assessing Historical Mining and Smelting Effects on Heavy Metal Pollution of River Systems over Span of Two Decades. <i>Water, Air, & Soil Pollution</i>, 228(4). https://doi.org/10.1007/s11270-017-3327-3</p> <p>Suarez Beltrán, M. R. (2013). Guía de métodos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos. Instituto de posgrados ingeniería: Especialización en gerencia ambiental. Bogotá, D.C.</p> <p>Swati, Ghosh, P., Das, M.T. & Thakur, I.S. (2014). In vitro toxicity evaluation of organic extract of landfill soil and its detoxification by indigenous pyrene-degrading <i>Bacillus</i> sp. ISTPY1. <i>International Biodeterioration & Biodegradation</i>, 90: 145–151. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.03.001</p> <p>Trindade, P. V. O., Sobral, L. G., Rizzo, A. C. L., Leite, S. G. F., & Soriano, A. U. (2005).</p>
--	--

<p>Universidad Juárez México Autónoma de Tabasco</p>	<p>Bioremediation of a weathered and a recently oil-contaminated soils from Brazil: a comparison study. <i>Chemosphere</i>, 58(4), 515-522.</p> <p>Vargas, F. (2005). La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. <i>Revista Española de Salud Pública</i>, 79(2), 117-127.</p> <p>Velásquez Arias, J. A. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. <i>Revista De Investigación Agraria Y Ambiental</i>, 8(1), 151-167.</p> <p>Venuti, A., Alfonsi, L. & Cavallo, A. (2016). Anthropogenic pollutants on top soils along a section of the Salaria state road, central Italy. <i>Annals of Geophysics</i> (5). https://doi.org/10.4401/ag-7021</p> <p>Villarreal-Soto, S., Bouajila, J., Pace, M., Leech, J., Cotter, P., Souchard, J.-P., Taillandier, P. & Beaufort, S. (2020) Metabolome-microbiome signatures in the fermented beverage, Kombucha, <i>Int. J. Food Microbiol.</i> 333, 108778.</p> <p>Zhang, H., Wang, Z., Zhang, Y., Ding, M. & Li, L. (2015). Identification of traffic-related metals and the effects of different environments on</p>
--	--

	<p>their enrichment in roadside soils along the Qinghai–Tibet highway. <i>Science of The Total Environment</i>, 521–522: 160–172. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.054</p>
--	---

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.