

03

Recibido: mayo, 2022 Aprobado: julio, 2022 Publicado: agosto, 2022

COMPORTAMIENTO DEL MAÍZ (*ZEAMAYS L.*) EN UN SUELO CONTAMINADO CON DOSIS CRECIENTES DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO (HTP) RESULTANTE DE UN PROCESO DE BIORREMEDIACIÓN EN BIOPILAS CON UNA COMBINACIÓN DE TEXTURIZANTES

BEHAVIOR OF THE WARNING PLANT OF "CORN" (*ZEAMAYS L.*) IN A POLLUTED SOIL WITH GROWING DOSE OF TOTAL HYDROCARBONS OF PETROLEUM (HTP), RESULTANT OF A BIORREMEDIATION PROCESS IN BIOPILE WITH A TEXTURE COMBINATION

Consuelo Hernández Rodríguez¹

E-mail: mabelh0309@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8281-3376>

Lázaro Jesús Ojeda Quintana²

E-mail: joberverde@azurina.cult.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8629-5695>

Yanoris Bernal Carrazana¹

E-mail: ybernal@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8706-2946>

¹Unidad Científico Tecnológica de Base Suelos, Barajagua, Cienfuegos. Instituto de Suelos.

²Centro Universitario Municipal Cumanayagua, Cienfuegos, Cuba

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Hernández Rodríguez, C., Ojeda Quintana, L. J., Bernal Carrazana, Y. (2022). Comportamiento del Maíz (*zea mays l.*) en un suelo contaminado con dosis crecientes de Hidrocarburos totales de petróleo (htp) resultante de un proceso de Biorremediación en Biopilas con una combinación de Texturizantes. . Revista Científica Agroecosistemas, 10(2), 24-34. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>

RESUMEN

La investigación se realizó en la Unidad Científico Tecnológica de Base "Suelos", Barajagua, Cienfuegos, bajo condiciones semicontroladas, con el objetivo de evaluar el comportamiento del cultivo indicador maíz (*Zea mays L.*) en un suelo Pardo Grisáceo contaminado con dosis crecientes de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP), resultante de un proceso de biorremediación en biopilas con una combinación de texturizantes a diferentes dosis durante 240 días. Se emplearon bolsas de polietileno horadadas, con capacidad de 1 kg de suelo. Se utilizó un diseño Factorial modificado (dos factores con tres niveles cada uno y un testigo absoluto), para un total de diez tratamientos con tres réplicas. Las dosis crecientes de HTP en el suelo afectaron la emergencia, supervivencia, dinámica de crecimiento y el peso seco foliar y de raíces del cultivo indicador. A su vez el Índice Relativo de Impacto Fisiológico (IRIF) y el Índice de Impacto Fitotóxico (IIF) mostraron un efecto negativo en el maíz. En los tratamientos con adición de HTP, hubo menor afectación en peso seco foliar y raíces con dosis 25 000 mg .kg⁻¹ y adición de 8 % de texturizantes. El contenido de fósforo asimilable, pH, materia orgánica y conductividad eléctrica en el suelo, fue superior al Testigo en los tratamientos contaminados con residuos de petróleo.

Palabras clave:

Biorremediación, hidrocarburos, *Zea mays*, índice fitotóxico.

ABSTRACT

The investigation was carried out in the Technological Scientist Base Unit "Soils", Barajagua, Cienfuegos, under semi-controlled conditions, with the objective of evaluating the behavior of the plant of "corn" *Zea mays L.* in a polluted Grizzly Brown soil with growing dose of Total Hydrocarbons of Petroleum (HTP), resultant of a biorremediation process in biopile with a texture combination to different dose during 240 days. Holed polyethylene bags were used, with a capacity of 1 kg of soil. A modified Factorial design was used (two factors with three levels each one and an absolute witness) for a total of ten treatments with three replicas. The growing doses of HTP in the soil affected the emergency, survival, dynamics of growth and the dry weight to foliate and of roots of the indicative cultivation. In turn the Relative Index of Physiologic Impact (IRIF) and the Index of Phytotoxic Impact (IIF) they showed a negative effect in the corn. In the treatments with addition of HTP, there was smaller affectation in dry weight to foliate and roots with dose 25 000 mg .kg⁻¹ and addition of 8% texture. The content of assimilable phosphorus, pH, organic matter and electric conductivity in the soil went superior to the witness in the polluted treatments with residual of petroleum.

Keywords:

Biorremediation, hydrocarbons, *Zea mays*, phytotoxicity index.

INTRODUCCION

La actividad petrolera a nivel mundial está entre las más susceptibles a producir daños al medio ambiente y la sociedad, debido a la naturaleza de los hidrocarburos y otros productos químicos que se manejan en las operaciones propias de esta industria. Las consecuencias ambientales de los procesos asociados a la industria petrolera (exploración, perforación, producción, refinación, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización) producen graves daños entre los que se encuentran la deforestación y cambios en el paisaje (Marín, 2016).

La Estrategia Ambiental cubana ha identificado la contaminación por hidrocarburos como uno de los problemas ambientales del país y considera que los residuos petrolizados se clasifican como peligrosos. Existen políticas desarrolladas por entidades gubernamentales que se encargan de conservar y recuperar el medio ambiente y mitigar su deterioro a causa de los diversos tipos de actividades humanas que afectan de forma directa o indirecta a la naturaleza (CITMA, 2016).

Uno de los métodos de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos son las biopilas, que se definen como un proceso biológico controlado donde los contaminantes orgánicos son biodegradados y mineralizados. El proceso consiste en formar pilas con el suelo contaminado y estimular la actividad microbiana, aireando y/o con adición de nutrientes y humedad mantenida. Dentro de la biorremediación, la alternativa de adicionar texturizantes orgánicos, para mejorar las características del suelo y contribuir con la aportación de nutrientes, requeridos por los microorganismos, hace que esta técnica sea económica, sencilla y factible al ambiente. (Semple et al., 2001, Iturbe et al., 2002).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el desarrollo del cultivo del maíz en suelo procedente de biopilas con diferentes niveles de contaminación por Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP) utilizando bagazo y estiércol como texturizantes, después de transcurridos 240 días en proceso de biorremediación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en condiciones semicontroladas en la UCTB de Suelos, Barajagua, Cienfuegos, utilizando bolsas de polietileno con 1 kg de suelo Pardo Grisáceo (Hernández et al., 2015) proveniente de la confección de biopilas bajo una factorial modificada, dos factores con tres niveles cada uno y un testigo absoluto para un total de diez tratamientos con tres réplicas. Los factores fueron, Factor 1: Concentración de Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP) en el suelo y Factor 2: Concentración de texturizantes (Estiércol vacuno descompuesto + bagazo).

Factor-1	Factor-2
1. HTP = 25 000 mg/100g	A- Texturizante 4 %
2. HTP = 35 000 mg/100g	B- Texturizante 8%

3. HTP = 45 000 mg/100g C- Texturizante 12%

Los diez tratamientos se describen a continuación:

Factor-1	Factor-2
1. HTP 25 000 mg .kg ⁻¹ de suelo + texturizante	4% (A)
2. HTP 25 000 mg .kg ⁻¹ de suelo + texturizante	8% (B)
3. HTP 25 000 mg .kg ⁻¹ de suelo + texturizante	12% (C)
4. HTP 35 000 mg .kg ⁻¹ de suelo + texturizante	4% (A)
5. HTP 35 000 mg .kg ⁻¹ de suelo + texturizante	8% (B)
6. HTP 35 000 mg .kg ⁻¹ de suelo + texturizante	12% (C)
7. HTP 45 000 mg .kg ⁻¹ de suelo + texturizante	4% (A)
8. HTP 45 000 mg .kg ⁻¹ de suelo + texturizante	8% (B)
9. HTP 45 000 mg .kg ⁻¹ de suelo + texturizante	12% (C)
10. Suelo sin HTP ni texturizantes (TESTIGO).	

Las dosis de HTP fueron 25 000, 35 000 y 45 000 mg kg⁻¹ de suelo respectivamente, conformada por una mezcla de hidrocarburo, aceites y grasas proveniente de la Refinería de petróleo de Cienfuegos. Los texturizantes fueron la combinación de estiércol + bagazo en dosis baja, 4 %, media, 8 % y alta 12 %.

El cultivo indicador para medir el efecto de la biorremediación fue el maíz. Se sembraron diez semillas para dejar cinco plantas por bolsas. El riego fue en días alternos hasta mantener la capacidad de campo. Para evitar el efecto de borde las bolsas se rotaron con frecuencia semanal.

Se determinó el porcentaje de emergencia, y a partir de los 14 días la altura de las plantas fue cuantificada semanalmente. A los 35 días las plantas se cortaron a cinco cm sobre el suelo y se determinó el peso seco foliar y de raíces y por cálculo el Índice Relativo de Impacto Fisiológico (IRIF) e Índice de Impacto Fitotóxico (IIF) en las variables: altura y peso seco de la parte aérea y raíz del cultivo indicador.

El Índice Relativo de Impacto Fisiológico (IRIF) y el Índice de Impacto Fitotóxico (IIF) se determinaron con el método de Vázquez Luna et al. (2010) modificado por Trujillo Narcía et al., (2014). Los resultados se interpretaron bajo el criterio de Arias et al., (2017): si el IRIF (x), es igual a cero: el efecto es neutro (no afecta a la variable), pero si es mayor de cero el efecto es negativo (inhibición); si el IRF (x) es menor de cero el efecto es positivo sobre la variable (estimulación).

Al suelo, se le tomaron muestras para análisis de pH en KCl (Cuba. Oficina Nacional de Normalización, 1999), Materia Orgánica (Cuba. Oficina Nacional de Normalización, 1999 a), P₂O₅ (Cuba. Oficina Nacional de Normalización, 1999 b) y conductividad eléctrica (Cuba. Oficina Nacional de Normalización, 2001). Durante todo el período experimental se realizaron observaciones visuales de las plantas para contrastar su estado fisiológico y la incidencia de plagas y enfermedades.

Para comparar las variables con el testigo se realizó un ANOVA como block al azar y posteriormente excluyendo al testigo se hizo un análisis bifactorial para conocer el efecto de ambos factores y su interacción). El paquete estadístico utilizado fue el Statgraphics Centurion XVII. Las medias se compararon mediante la prueba de rango múltiple de Duncan (1955), con significación del 1% en los casos en que el ANOVA resultó significativo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

COMPORTAMIENTO DE LA GERMINACIÓN Y SUPERVIVENCIA DE LAS PLANTAS

En la Tabla que sigue se observa que al quinto día de la siembra comenzó la emergencia de las semillas en el tratamiento sin contaminación simulada y en el resto a los diez días. Se pudo constatar la que la emergencia en todos los tratamientos contaminados fue retrasada, con valores de 16.7 en el HTP 45 000 mg kg⁻¹ de suelo + texturizante 12 % (A) y 60.0 % en la combinación: HTP 25 000 mg .kg⁻¹ de suelo + texturizante 8% (M), mientras que el Testigo alcanzó un 90 % con diferencias estadísticas del resto de los tratamientos.

Tabla 1. Emergencia del maíz diez días posteriores a la plantación

Tratamientos	HTP mg .kg ⁻¹ Texturizantes		Emergencia (%)
1	25 000	A	23.3 ^{cd}
2		B	60.0 ^b
3		C	43.3 ^{bcd}
4	35 000	A	36.7 ^{bcd}
5		B	16.7 ^d
6		C	33.3 ^{bcd}
7	45 000	A	46.7 ^{bcd}
8		B	53.3 ^{bc}
9		C	16.7 ^d

Tabla 2. Cantidad de plantas por bolsas en frecuencia semanal

variantes	HTP mg .kg ⁻¹ Texturizantes		14 días	21 días	28 días	35 días
1	25 000	A	4.0 ab	3.3 b	3.3 bc	3.3 ab
2		B	5.0 a	5.0 a	5.0 a	4.7 ab
3		C	4.0 ab	3.3 bc	3.3 b	2.7 bc
4	35 000	A	3.3 abc	3.7 bc	3.3 bc	2.7 bc
5		B	1.7 cd	2.7 bcd	2.7 bcd	1.7 c
6		C	2.7 bcd	2.7 bcd	2.7 bcd	2.3 c
7	45 000	A	3.7 ab	3.3 bc	4.0 b	2.7 bc
8		B	4.7 a	5.0 a	5.0 a	4.7 ab
9		C	1.3 d	2.7 bcd	2.7 bcd	1.7 c
10		Testigo	5.0 a	5.0 a	5.0 a	5.0 a
ES±			0.6055 **	0.7817**	0.7528**	0.6831**

10	Testigo	90.0 ^a
	ES ± 4.616**	

La Empresa Comercializadora de Combustibles de Villa Clara en colaboración con el Centro de Investigaciones del Petróleo (CEIMPET) ejecutaron un proyecto de investigación para el tratamiento por biopilas de los residuos petrolizados de la entidad y reportaron afectación en la germinación y la elongación de las raíces del maíz, y en el caso del frijol no hubo germinación (Cortés et al., 2012). Al respecto, Chaineau, et al., (1997), encontraron que altas concentraciones de hidrocarburos limitan y/o alteran la germinación de las semillas y el crecimiento de las plantas.

Flores López y Benites Santisteban (2015), reportaron una germinación en rábano (*Raphanus sativus* L.) entre 50.6 y 55.0 % en suelo contaminado con 22 987 mg.kg⁻¹ HTP y Arias et al., 2017 encontraron afectación proporcional de la germinación del frijol con el incremento de dosis de HTP en el suelo desde 1500-9000 mg.kg⁻¹. Los resultados alcanzados en el trabajo respecto a la emergencia coinciden el reporte de autores anteriores. De los tratamientos, solo fue posible mantener 5 plantas/bolsas el Testigo y 25 000 (B). Destacar que únicamente el Testigo permaneció con la totalidad de las plantas durante todo el experimento (Tabla 2).

En nueve de las variantes (en el momento del corte a los 35 días) se apreció un menor número de plantas que al inicio debido a muerte de las mismas. Hubo plantas con emergencia tardía en las variantes: 35 000 (A y B), 45 000 (B y C) a los 21 días y 45 000 (A) a 28 días, para después no sobrevivir. Dicha observación permite aseverar que la contaminación del suelo con hidrocarburo, aun después de un proceso en biopilas durante 240 días afectó la emergencia y supervivencia de las plántulas de maíz.

Las variantes HTP 25 000 mg .kg⁻¹ de suelo + texturizante 8% (M) y HTP 45 000 mg .kg⁻¹ de suelo + texturizante 8 % (M) no difirieron estadísticamente del testigo al final del experimento, lo que indica una respuesta favorable de la combinación media aplicada.

En estudios sobre efecto de derrame de petróleo crudo sobre el crecimiento, productividad y absorción de nutrientes en maíz cultivado en macetas, Ekundayo et al., (2001) encontraron que la germinación fue retrasada y el porcentaje de germinación fue significativamente afectado por la contaminación con petróleo con un crecimiento pobre en los suelos contaminados.

A su vez, Hernández et al., (2019) en estudios precedentes señalan que el efecto de la contaminación con hidrocarburo en concentración de 10 000 mg/kg de suelo no comprometió la germinación del cultivo indicador en tiempo cero. Sin embargo, después de 340 días en un proceso de biorremediación la germinación y supervivencia de las plantas de maíz se vio afectada donde las biopilas contenían como texturizantes bagazo, cachaza, aserrín, pulpa de café y thalassia, comportamiento que fue apreciado en el presente estudio y en el mismo tipo de suelo.

Apreciación visual del comportamiento de las plantas

De la observación visual diaria fue evidente la clorosis en todos los tratamientos, excepto en el testigo, que mantuvo color verde intenso. Este comportamiento se acentuó de forma progresiva, lo que motivó que a los 35 días se realizara el corte de las plantas. Dicho comportamiento fue similar al obtenido en estudio precedente con

suelo contaminado a concentraciones de HTP más bajas (Hernández et al., 2019), lo que corrobora afectación de las plantas comprobado también en estudios realizados por Pérez et al., (2002) debido a que las fracciones volátiles de los hidrocarburos, causan clorosis a las plantas.

Altura

En la dinámica de crecimiento del maíz cada 7 días (Figura 1) se apreció que la altura de las plantas fue inferior al testigo en todas las variantes y solo el tratamiento 25 000 HTP + concentración 8 % (B) de texturizantes se mantuvo en segundo lugar, con altura en el momento del corte de 28.1 cm, mientras que en el suelo sin contaminación la misma fue de 36.7 cm. El resto de las variantes presentó alturas en el rango 4.8- 18.3 cm. Esta situación confirma que las plantas cultivadas en suelo sin contaminante superan significativamente a las que crecen en suelo contaminado.

Arias et al., (2017), en experimento realizado con dosis crecientes de contaminación con hidrocarburos, obtuvieron detrimentos en la altura del cultivo indicador (frijol) y de otros indicadores fisiológicos de la planta en presencia del contaminante que más adelante se debaten en el presente artículo.

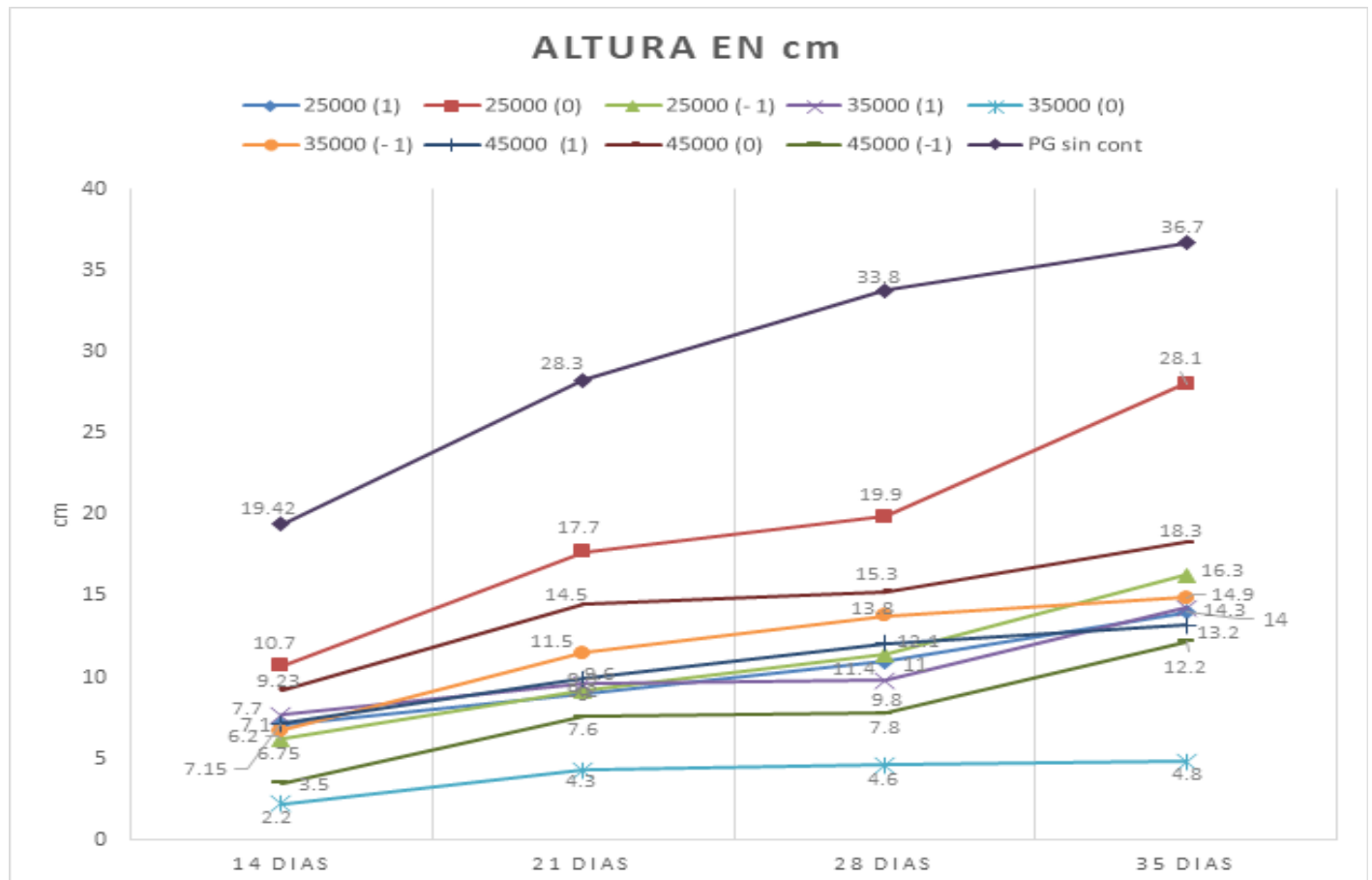


Figura 1. Altura de las plantas con frecuencia semanal

PESO SECO DE PLANTAS y RAÍCES

El peso seco foliar y de raíces obtuvo valores inferiores al Testigo en todas las variantes con un comportamiento estadístico similar (Figura 2 y Figura 3), lo que denota afectación en ambos indicadores por la presencia de

HTP a pesar de haber transcurrido 240 días del proceso de biorremediación en biopilas. La variante 25 000 HTP + texturizantes (B) le siguió, pero alcanzando solo el 47.5 % y 62.7 % de la masa foliar y raíces respectivamente. El resto de los tratamientos se mantuvo por debajo 17.7 % en relación al Testigo.

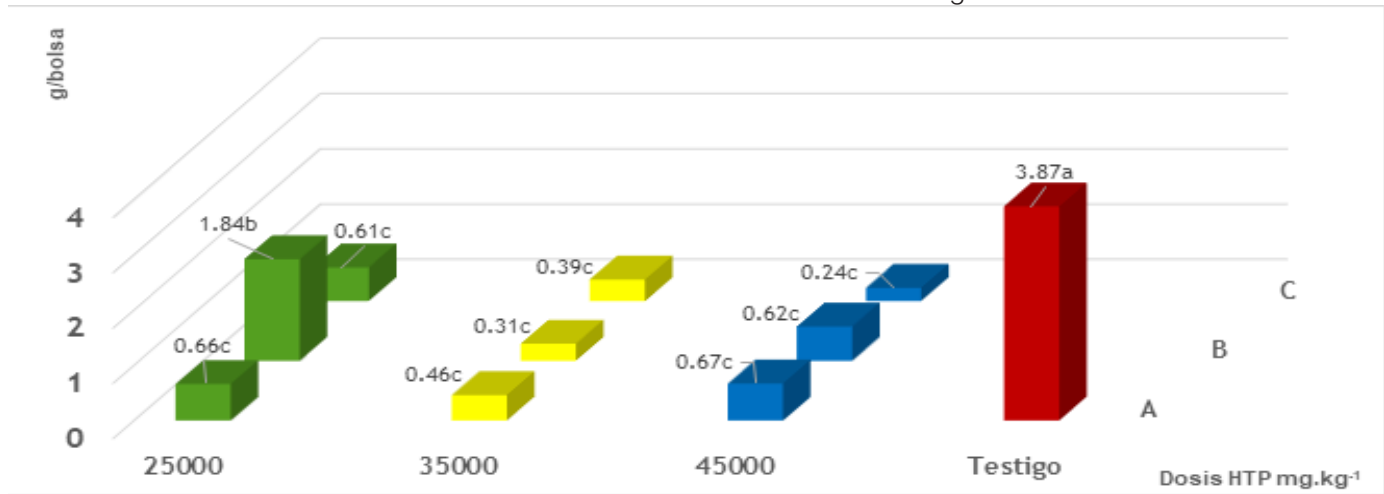


Figura 2. Peso seco foliar de las plantas a los 35 días

En investigación realizada con este mismo tipo de suelo y contaminación inferior (10 000 HTP mg .kg⁻¹) después de 340 días de proceso en biopilas, las variables altura y peso seco de las plantas tuvieron similar comportamiento al mantenerse por debajo del Testigo, no así el sistema radical que se vio estimulado por la presencia del hidrocarburo en dosis 10 000 HTP mg .kg⁻¹ (Hernández et al., 2019), respuesta no obtenida en el presente estudio en presencia de contaminaciones HTP superiores.

Al respecto, (Amadi et al., 1993) encontraron que la adición de fuentes orgánicas de nutrientes a un suelo contaminado con petróleo (30 000 mg.kg⁻¹) benefició el crecimiento del maíz y las concentraciones de petróleo de 25 000 y de 35 000 mg. kg⁻¹ favorecieron una mayor emergencia del maíz, después del testigo sin contaminar.

En el presente estudio se obtuvo respuesta similar en presencia de contaminante 25 000 mg. kg⁻¹ en combinación con texturizantes 8% (B) que le siguió al testigo.

A su vez, Xu y Johnson (1995), indicaron que la contaminación por hidrocarburos reduce el crecimiento de la planta porque los hidrocarburos pueden cubrir las raíces e influir en la absorción de agua y nutrientes. En estudios realizados por Pérez et al., (2002), Gafari et al., (2012), Sanghetha y Hangedurai (2014), Alrumman et al., (2015), encontraron afectaciones en la germinación, altura, longitud radical y biomasa total de las plantas cuando el suelo está contaminado con hidrocarburos del petróleo debido a que los constituyentes del petróleo pueden inhibir las actividades enzimáticas del suelo.

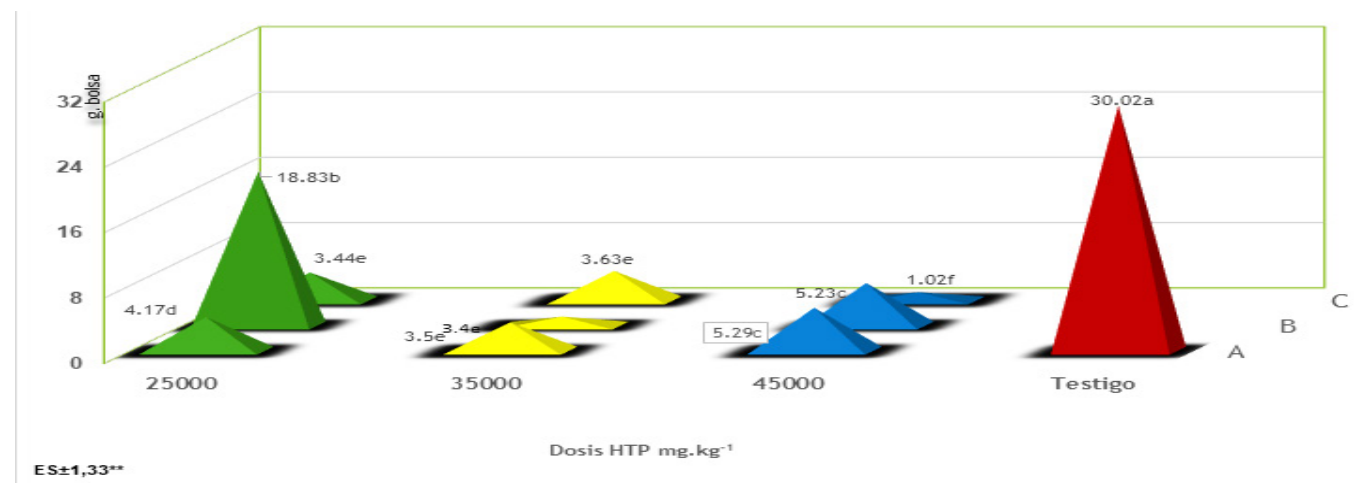


Figura 3. Peso seco de raíces de las plantas a los 35 días

Por otra parte, Arias et al., (2017), informan que al día 100 después de una simulación de contaminación con HTP hubo una correlación negativa de la concentración HTP (1500, 3000, 4500, 6000, 7500, 9000 mg. kg⁻¹) en el suelo al evaluar dichos indicadores fisiológicos en *Phaseolus vulgaris* L. utilizado como planta indicadora.

El análisis bifactorial a la variable peso seco de las plantas de maíz que se muestra en Figura 4 aportó diferencias

estadísticas entre Factor 1 y Factor 2. Se obtuvo menor afectación por la contaminación con la dosis 25 000 HTP mg .kg⁻¹ (1.03 g/bolsa) y afectación significativa en el peso seco foliar (0.39 y 0.51 g/maceta) en los tratamientos con mayores dosis HTP. El análisis del factor concentración de texturizantes tributa beneficios a la concentración 8 % (B) con el mayor valor y diferencias estadísticas en la biomasa foliar (0.92 g/bolsa).

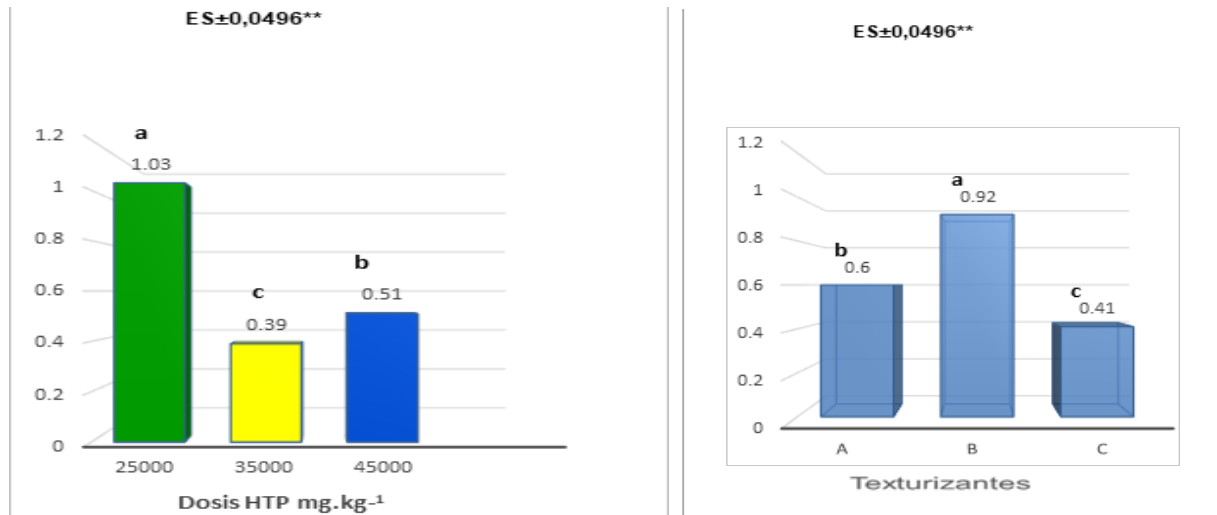


Figura 4. Influencia de dosis de HTP en el peso y la concentración de texturizantes en el peso seco de las plantas

De forma similar a los resultados obtenidos, Quiñones Aguilar et al., (2003), al estudiar emergencia y crecimiento del maíz en suelo contaminado con dosis de petróleo crudo (0, 15, 25, 35 mil mg .kg⁻¹) obtuvieron que las plantas cultivadas en suelo sin contaminación superaron significativamente a las plantas en suelo contaminado en las variables altura de la planta, peso seco foliar, peso seco de raíces y además la cohibición del desarrollo de las plantas se incrementó con la concentración de hidrocarburos. En coherencia a resultados de la presente investigación, obtuvieron que la concentración de petróleo

25.000 mg/kg de suelo favoreció el crecimiento de las plántulas de maíz, después del testigo.

El análisis bifactorial al peso seco de raíces que aparece en Figura 5, el mismo tuvo un comportamiento similar al peso seco foliar. Se apreció estimulación en el peso de raíces en la presencia de menor contaminación con hidrocarburos reportando 8.81 vs 2.75 y 3.85 g/maceta con las dosis de 35 000 y 45 000 mg .kg⁻¹ HTP). Las raíces sufrieron menor afectación cuando la concentración de texturizantes fue 8 % (8.39 g/maceta).

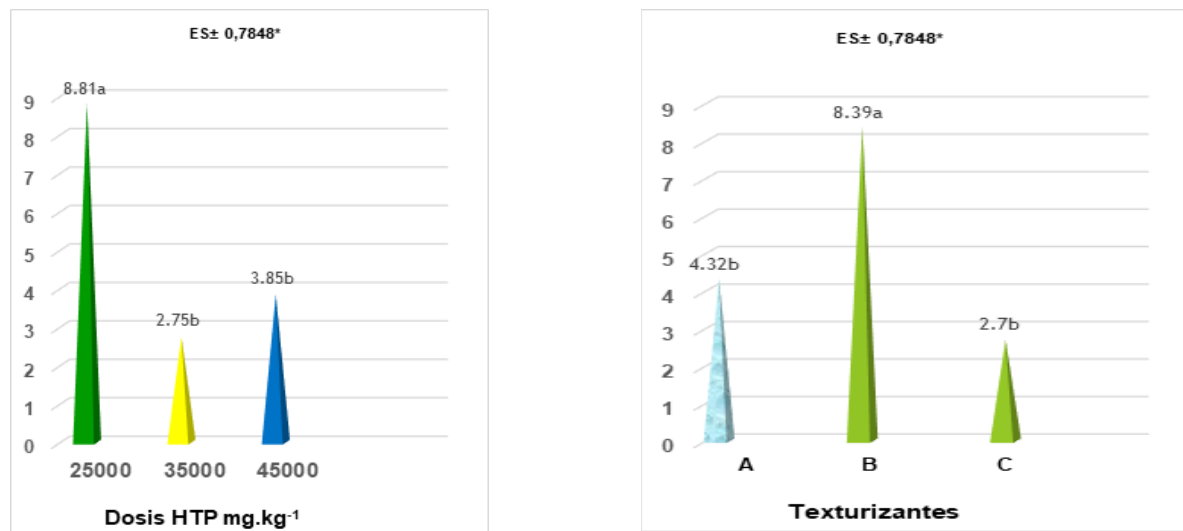


Figura 5. Influencia de dosis de HTP y la concentración de texturizantes en el peso seco de raíces

La fitotoxicidad es el estudio toxicológico de un contaminante o sustancia tóxica a partir de la respuesta fisiológica de una especie vegetal a una dosis determinada (Cruz et al., 2013). A nivel

internacional el Organismo para el Desarrollo y la Cooperación Económica (OECD, 2006) ha establecido la "Guía para la evaluación de sustancias químicas OECD No. 208", la cual implementa el uso de especies vegetales como bioindicadores de toxicidad de sustancias químicas considerando el maíz dentro de las mismas.

El Índice Relativo de Impacto Fisiológico se aprecia en la Figura 6, el mismo mostró un efecto negativo de la contaminación con hidrocarburo (valores superiores a cero

al ser comparados con el testigo) en las variables altura, peso seco foliar y peso seco de raíces del cultivo indicador. En la presente investigación la menor afectación se obtuvo en la variante 25 000 de HTPP + texturizantes en concentración media, lo que tiene coherencia con resultados expresados en las figuras anteriores.

A criterios de Méndez Natera et al., (2006), el impacto que la contaminación de HTP produce en el equilibrio ecológico de la rizósfera es que inhiben la mesofauna del suelo en casos de toxicidad aguda y por tanto disminuyen la germinación, el rebrote de meristemos y la elongación radicular, así como el contenido de clorofila y la fotosíntesis.

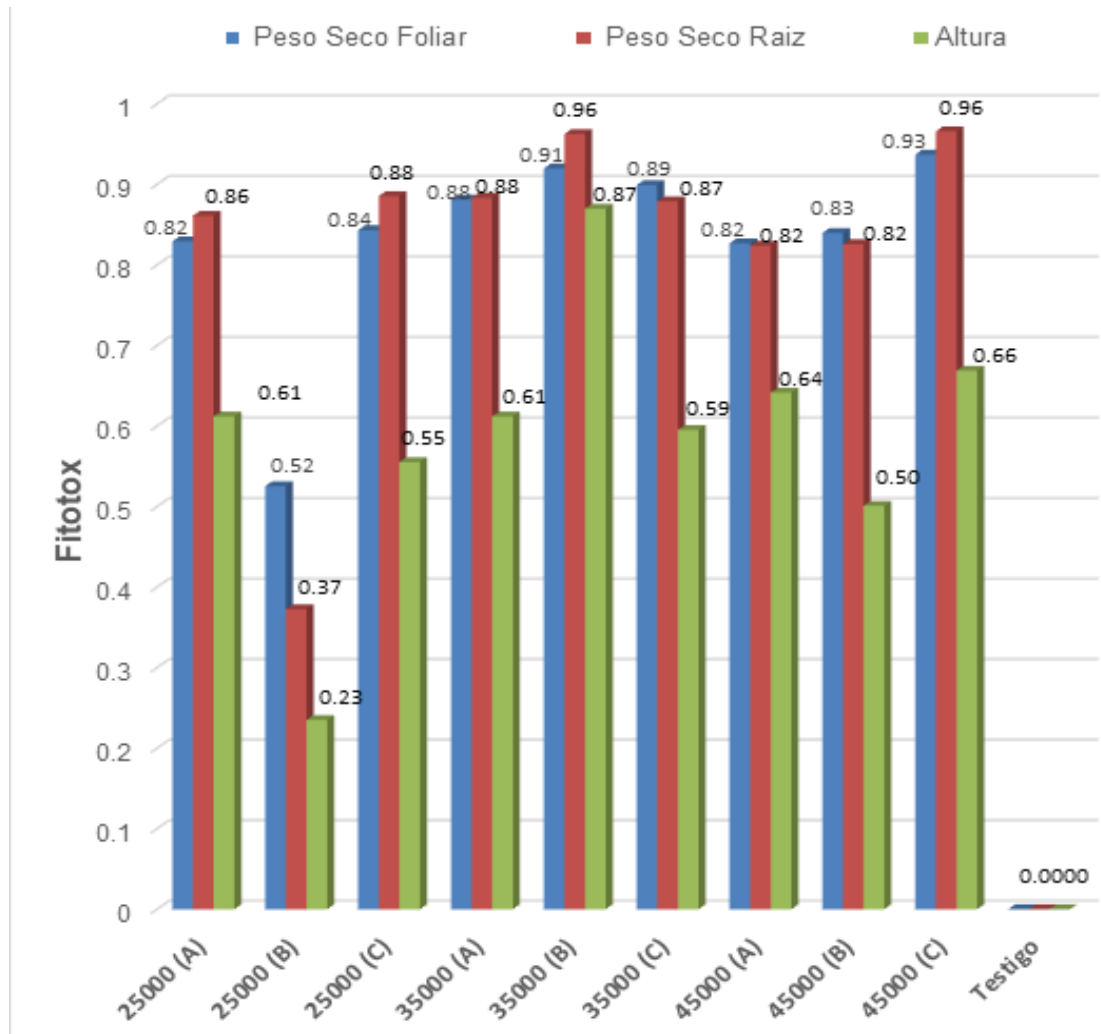


Figura 6. Índice Relativo de Impacto Fisiológico (IRIF) sobre las variables altura, peso seco foliar y peso seco de raíces en plantas de maíz

El Índice de Impacto Fitotóxico (IIF) que representa de manera numérica el impacto que producen los hidrocarburos sobre el crecimiento de las plántulas (Tabla 3), obtuvo afectaciones con la presencia del hidrocarburo en

todos los tratamientos del presente estudio, destacando una mayor inhibición en las variantes 35 000 B y 45 000 C.

Tabla 3. Índice de impacto Fitotóxico (IIF) en plántulas de maíz posterior a 240 días de biorremediación en biopilas

Tratamientos	Impacto Fitotóxico (IIF)	Respuesta
25000 B	0,7698	INHIBICIÓN
25000 M	0,3777	INHIBICIÓN
25000 A	0,7614	INHIBICIÓN
35000 B	0,7922	INHIBICIÓN
35000 M	0,9175	INHIBICIÓN
35000 A	0,7912	INHIBICIÓN
45000 B	0,7641	INHIBICIÓN
45000 M	0,7222	INHIBICIÓN
45000 A	0,8573	INHIBICIÓN

La afectación de los índices fitotóxico (IRIF e IIF) en presencia de hidrocarburos en el sustrato, ha sido reportada por Vázquez Luna et al., (2010) con repercusiones significativas en el crecimiento y desarrollo de *Leucina leucocephala* y *Crotalaria juncea* (Camarillo Ravelo et al., 2015), sobre *Lactuca sativa*, *Cucumis sativus*, *Brassica juncea* y *Nasturtium officinale*. Resultados similares informaron Arias et al., (2017) que demuestran de forma

cuantitativa los daños causados en el desarrollo de *P. vulgaris* en presencia de petróleo en el suelo desde cero hasta 0.93 y Trujillo Narcía et al., (2014) concluyeron que el cálculo de índices de impacto ecotoxicológico permite identificar parámetros sensibles para evaluar la calidad de la restauración de fluvisoles contaminados con petróleo crudo.

Sadunishvili et al., (2009), exponen que dicha acción fitotóxica se debe a que la fracción soluble del agua y los lixiviados de los hidrocarburos del petróleo, reducen el metabolismo y desarrollo fisiológico de las plantas, al inhibir madurez fisiológica de raíces y parte aérea. En este sentido, Abha y Swaranjit (2012), señalan que este efecto es una respuesta de la penetración de hidrocarburos a nivel celular, los que inducen cambios metabólicos intracelulares que conducen a marchitez, respuesta apreciada en el presente estudio.

Los indicadores analíticos pH (KCl), MO, P₂O₅ asimilable y Conductividad eléctrica (CE) realizados al suelo al finalizar el experimento (Tabla 4), tributaron en todos los casos valores superiores estadísticamente a los del testigo de suelo sin contaminación.

Tabla 4. Propiedades agroquímicas de un suelo PG sin contaminación y bajo diferentes dosis de contaminación HTP y adición de texturizantes a 240 días

Variantes	HTP mg .kg -1 Texturizantes		pH (KCl) (u)	MO %	P2O5 (mg. 100g-1)	CE ds.m-1
1.1	25 000	B	7,14ab	4,93cd	26,7d	6.03 ab
1.2		M	6,85cd	4,17d	34,7 bc	4.03 bc
1.3		A	6,92bcd	4,87cd	40,1ab	5.8 ab
2.1	35 000	B	7,14 ab	4,17d	27,5d	2.67 cd
2.2		M	7,09 abc	7,00a	34,1bc	5.0 bc
2.3		A	6,65d	4,57d	42,5a	7.97 a
3.1	45 000	B	7,23a	6,03b	32,6cd	5.2 b
3.2		M	7,03abc	5,63bc	36,1 bc	4.4 bc
3.3		A	6,93bcd	5,73 bc	38,0 abc	6.13 ab
Testigo	0	0	5,44e	2,43e	5,5e	0.57 e
ES±			0,0847**	0,3178**	1,960**	0.7333**

Los resultados obtenidos resultan similares al reportado con contaminación inferior de 10 000 mg.100g-1 HTP para igual tipo de suelo (Hernández et al., 2019), permaneciendo en el intervalo de 6 a 8 marcado como los límites inferior y superior, requerido para la ecotecnología de biopilas (Osoria, 2018).

Con relación al pH, Majbar et al., (2018), afirmaron que a partir de los 135 días de proceso en biopilas, se comienza a observar un aumento progresivo en el comportamiento del pH para todos los tratamientos, lo cual pudiera estar relacionado con la producción de amoníaco a partir de la degradación de las aminas. Por otra parte, Casals et al.,

(2020) en estudio realizado en biopilas a escala semipiloto, infieren que los cambios en el pH están relacionados con la capacidad tampón del suelo y con los texturizantes empleados y no presentan relación con las variables climáticas.

En la década del cuarenta del pasado siglo, Plice (1948) encontró grandes incrementos de materia orgánica en suelos contaminados con crudo y pH cercanos a la neutralidad. Por su parte, Martínez y López (2001), reportaron que la materia orgánica se incrementó de forma proporcional a la concentración de hidrocarburos, gasolina y

combustóleo hasta 340 % y Cortes et al., (2012) reportan incrementos del fósforo por encima del testigo.

En cuanto al parámetro CE, Romaniuk et al., (2007), refieren incrementos del mismo debido a que los hidrocarburos pueden contener restos de compuestos salinos durante la extracción y Martínez y López (2001) consideran que este comportamiento puede ser debido a un incremento de la actividad microbiana del suelo.

El análisis bifactorial realizado a indicadores agroquímicos del suelo solo aportó diferencias estadísticas en el factor dosis HTP para el Factor materia orgánica MO (Tabla 5), que resultó superior en las dosis 35 000 y 45 000 mg .kg⁻¹. El pH y P₂O₅ y CE no presentaron diferencias estadísticas con el incremento de las concentraciones del contaminante.

Tabla 5. Influencia de dosis de hidrocarburo y concentración de texturizantes en la MO del suelo

Hidrocarburos	Texturizantes			Xm MO %
	B	M	A	
25 000	4,93	4,17	4,77	4.66 b
35 000	4,17	7,0	4,57	5,24 a
45 000	6,03	5,63	5,73	5,8 a
Xm MO	5,04	5,6	5,5	

ES±: Trat- 0,193ns, ES±: Subtratamientos: 0,193 **

En estudios realizados por Martínez y López, (2001), la materia orgánica presentó incrementos proporcionales a dosis de hidrocarburos (0, 100, 500, 1000, 5 000, 10 000, 20 000,30 000, 50 000, 150 000 mg.kg⁻¹) siendo el mayor con 150 000 mg. kg⁻¹ alcanzando el valor de 21.22 % vs 6.11 % en suelo sin contaminar. A criterio de estos autores, el contenido de MO del suelo contaminado es la suma de la materia biogénica (por la descomposición de vegetales y animales) y material petrogénica (por hidrocarburos). El aumento de MO no significa q sea benéfico ya que dicho aumento puede atribuirse a material de origen petrogénico y no biogénico.

Al respecto Fernández (2003), sugiere modificar el método de Walkley and Black para determinar materia orgánica en suelos contaminados con hidrocarburos, ya que esta metodología sobre estima la materia orgánica del suelo, debido a que la metodología se basa en que la materia orgánica es oxidada por una mezcla caliente de K₂Cr₂O₇ y H₂SO₄. Agrega que el problema sucede porque la mezcla caliente de dicromato de potasio y ácido sulfúrico puede oxidar moléculas de hidrocarburo y por consiguiente, obtendremos un dato mayor al real.

CONCLUSIONES

Hubo afectaciones en el comportamiento de la emergencia, supervivencia, dinámica de crecimiento, peso seco foliar y de raíces de plantas de maíz en un suelo contaminado con dosis crecientes HTP resultante de un proceso

de biorremediación en biopilas con una combinación texturizantes.

En las dosis 25 000 mg.kg⁻¹ con adición de 8% de texturizantes hubo menor afectación del peso seco foliar y de raíces.

El Índice Relativo de Impacto Fisiológico (IRIF) mostró un efecto de inhibición en las variables altura, peso seco de las plantas y raíces, similar al Índice de Impacto Fitotóxico (IIF) sobre el desarrollo general de las plantas.

El pH, contenido de fósforo asimilable, materia orgánica y conductividad eléctrica del suelo fue superior al testigo en los tratamientos contaminados, aún después de 240 días del proceso en biopilas, a su vez, la materia orgánica aumentó en la medida que las dosis de HTP fueron superiores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abha S. & Swaranjit-Singh C. (2012). Hydrocarbon pollution: effects on living organisms, remediation of contaminated, environments, and effects of heavy metals co-contamination on bioremediation. En: Introduction to enhanced oil recovery (EOR) processes and bioremediation of oil-contaminated sites (L. Romero-Zerón, Ed.). InTech Europe, Rijeka, Croatia, pp. 185-206. DOI: [10.5772/48014](https://doi.org/10.5772/48014).
- Amadi A., A. A. Dickson, & G. O. Maate. (1993). Remediation of soils: 1. Effect of organic and inorganic nutrient supplements on the performance of maize (*Zea mays* L). *Water, Air and Soil Pollution* 66: 59-76.
- Arias, A., Rivera, M, & Trujillo, A. (2017). Fitotoxicidad de un suelo contaminado con petróleo fresco sobre *Phaseolus vulgaris* L. (LEGUMINOSAE). *Rev. Int. Contam. Ambiente.*, 33(3), 411-419. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v33n3/0188-4999-rica-33-03-411.pdf>
- Alrumman S., Standing B.D. & Paton I.G. (2015). Effects of hydrocarbon contamination on soil microbial community and enzyme activity. *J. King Saud Univ. Sci.* 27 (1), 31-41. DOI: [10.1016/j.jksus.2014.10.001](https://doi.org/10.1016/j.jksus.2014.10.001)
- Camarillo Ravelo D., Barajas Aceves M. & Rodríguez Vázquez R. (2015) Evaluación de la fitotoxicidad de jales mineros en cuatro especies empleadas como bioindicadores de metales pesados. *Rev. Int. Contam. Ambiente.* 31 (2), 133-143. DOI: [10.1016/j.egypro.2011.03.149](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.149)
- Chaineau, H., C., Morel, J. L., & Oudot, J. (1997). Phytotoxicity and plant uptake of fuel oil hydrocarbons. *J. Environ. Quality*, 26, 1478-1483. Recuperado de <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/abstracts/26/6/JEQ0260061478>

- Casals Perez E., Dayana Rabasa Rabasa, Viera Ribol O., Gutierrez Benitez, O. & Castro Rodriguez D. (2020). Comportamiento de factores abióticos en la biorremediación de residuos petrolizados mediante biopilas a escala semipiloto. *Revista Centro Azúcar*. 47 (julio-septiembre): 36-46. ISSN: 2223- 4861. <http://centroazucar.uclv.edu.cu>
- CITMA. (2016). Estrategia ambiental nacional 2016-2020. Recuperado de <https://www.repositorio.geotech.cu.pdf>
- Cortés, R., Olazábal, E., Marrero, O., Águila, E., Serrano, H. & Seijo, M. (2012). Estudios ecotoxicológicos de suelos contaminados con petróleo en CUPET Villa Clara. Cuba. Villa Clara: Centro de Bioactivos Químicos. Universidad Central de Las Villas.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización. NC-ISO-10390. (1999). Calidad del suelo. Determinación de pH. La Habana: ONN.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización. NC-51 (1999 a). Calidad del suelo. Análisis químico. Determinación del porcentaje de materia orgánica. La Habana: ONN.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización, NC-52. (1999 b). Calidad del suelo. Determinación de las formas móviles de fósforo y potasio. La Habana: ONN.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización, NC- 112. (2001). Calidad del Suelo. Determinación de la conductividad eléctrica y sales solubles totales en suelos afectados por salinidad Relación suelo- agua 1:5. La Habana: ONN.
- Cruz J.M., Lopes P.R.M., Montagnolli R.N., Tamada I.S., Silva N.M.M.G. & Bidoia E.D. (2013). Phytotoxicity of soil contaminated with petroleum derivatives and biodiesel. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 8 (1), 49-54. DOI: [10.5132/eec.2013.01.007](https://doi.org/10.5132/eec.2013.01.007)
- Duncan, D. B. (1955). Multiple range and multiple F test. *Biometrics*. 11 (1), 1-42. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/pdf/3001478.pdf>
- Ekundayo, E. O., Emede, T. O., & Osayande, D. I. (2001). Effects of crude oil spillage on growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in soils of Midwestern Nigeria. *Plant Foods for Human Nutrition*, 56 (4), 313 -324. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11678437>
- Fernández, F. (2003). Bioestimulación de suelo contaminado con gasolina y su efecto en el desarrollo de *Vicia sativa* L. Tesis Profesional para optar por el Título de Ingeniero Agrónomo, Especialidad: Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. México
- Flores López J. S. & Benites Santisteban J. C. (2015). Efecto del estiércol de cuy, porcino y vacuno en la biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos de diésel en terrarios. Tesis para optar el título profesional de licenciado en biología-microbiología-parasitología. Lambayeque, Perú.
- Gafari Rahbar F., Kiarostami K. & Shirdam R. (2012). Effects of petroleum hydrocarbons on growth, photosynthetic pigments and carbohydrate levels of sunflower. *J. Food Agric. Environ.* 10 (1), 773-776.
- Hernández, A.; Pérez, J.M.; Bosch, I. D.; Castro, S. N. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba. Ediciones INCA, Cuba, ISBN: 978-959-7023-77-7.
- Hernández Rodríguez Consuelo, Ojeda Quintana L., Arteaga Rodríguez O. & Sánchez Cordero, L. (2019). Emergencia y desarrollo del maíz (*Zea mays* L.) en un suelo contaminado con hidrocarburos totales del petróleo en fase inicial y a 340 días de biorremediación en biopilas. *Revista Científica Agroecosistemas*. 7(2): 94-102.
- Iturbe, R.; Flores, C.; Chávez, C.; Roldán, A. 2002. Saneamiento de suelos contaminados con hidrocarburos mediante biopilas. *Ingeniería, Investigación y Tecnología III* (1):25-35.
- Marín Velásquez. T. D. 2016. Enfoque UTE, V.7-N.3, Sep.2016, pp.1 – 13 <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/> e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
- Majbar, Z., Lahlou, K., Abbou, M.B., Ammar, E., Triki, A., Abid, W., Nawdali, M., Bouka, H., Taleb, M., Haji & M.E., Rais, Z. (2018). Co-composting of olive mill waste and wine-processing waste: an application of compost as soil amendment. *Journal of Chemistry*, No. Especial, pp. 1-9.
- Martínez V. y López F. (2001). Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso. *Terra Latin*. 19(1): 9-17.
- Méndez Natera, J. R., Salazar Garantón, R., & Velásquez, A. (2006). Efecto del derrame petrolero simulado y la aplicación de un remediador sobre la germinación de semillas y desarrollo de plántulas en dos tipos de maíz (*Zea mays* L.). *Revista UDO Agrícola* 6(1), 102-108. Recuperado de <http://www.bioline.org.br/pdf?-cg06013>
- OECD (2006). Test No. 208: Terrestrial plant test: seedling emergence and seedling growth test. Guía para la evaluación de sustancias químicas. Organization for Economic Cooperation and Development, 21 pp. DOI: [10.1787/9789264070066](https://doi.org/10.1787/9789264070066)

- Osoria, F. (2018). Proyecto de investigación de descontaminación de suelos por Diesel en el laboratorio de construcción Eptisa., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Master en Ciencias, Especialidad Química Industrial, Universidad de Coruña, España.
- Pérez Vargas, J., García Esquivel, G., & Esparza García, F. (2002). Papel ecológico de la flora rizosférica en fitorremediación. *Avance y Perspectivas*, 21, 297-300. Recuperado de <https://biblat.unam.mx/es/revista/avance-y-perspectiva/articulo/papel-ecologico-de-la-flora-rizosferica-en-fitorremediacion>
- Plice, M. J. (1948). Some effects of crude petroleum on soil fertility. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 14, 413-416.
- Quiñones Aguilar, E. E.; R. Ferrera Cerrato; F. Gavi Reyes; L. Fernández-Linares; R.; Rodríguez Vázquez & A. Alarcón. (2003). Emergencia y crecimiento de maíz en un suelo contaminado con petróleo crudo. *Agrociencia* 37 (6): 585-594.
- Romaniuk R., Brant F., Ruth P., & Giuffré (2007). Atenuación natural y remediación inducida en suelo contaminado con hidrocarburos. *Edafología*, San Marti 4459/14171. Buenos Aires. Argentina. Recuperado de <http://www.scielo.org.ar>
- Sadunishvili T., Kvesitadze E., Betsiashvili M., Kuprava N., Zaalishvili G. & Kvesitadze G. (2009). Influence of hydrocarbons on plant cell ultrastructure and main metabolic enzymes. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 3 (9), 429-434.
- Sangeetha J. & Thangadurai D. (2014). Effect of biologically treated petroleum sludge on seed germination and seedling growth of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Fabaceae). *Braz. Arch. Biol. Tehn.* 57 (3), 427-433. DOI: [10.1590/S1516-8913201400500001](https://doi.org/10.1590/S1516-8913201400500001).
- Semple K.T., Reid B.J. & Fervor T.R. (2001) "Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants" *Environmental Pollution* 112: 269-283.
- Trujillo Narcía A., Rivera Cruz M. C., Lagunes Espinoza L. C., Palma López D. J., Sánchez Soto S. & Ramírez Valverde G. (2014). Biological parameters of the restoration of soil polluted by crude oil. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 1 (2), 107-122.
- Vázquez Luna D., Castelán Estrada M., Rivera-Cruz M.C., Ortiz Ceballos A.I. & Izquierdo R.F. (2010). *Crotalaria incana* L. y *Leucaena leucocephala* Lam. (Leguminosae): especies indicadoras de toxicidad por hidrocarburos de petróleo en el suelo. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 26 (3), 183-191.
- Xu, J.G. & R. L. Johnson. (1995). Root growth microbial activity and phosphatase activity in oil contaminated, remediated and uncontaminated soil planted to barley and field pea. *Planted soil* 73: 3-10.