



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), noviembre-diciembre 2024,
Volumen 8, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6

TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO- BIOLÓGICO CON TENSOACTIVOS Y COMPOSTA PARA REMEDIAR SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS

**PHYSICOCHEMICAL-BIOLOGICAL TREATMENT WITH
SURFACTANTS AND COMPOST TO REMEDIATE SOILS
CONTAMINATED WITH HYDROCARBONS**

María Antonieta Toro Falcón

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Villahermosa

Mario José Romellón Cerino

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Villahermosa

María Berzabe Vázquez González

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Villahermosa

Kleber Zacarías Bernal

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Villahermosa

Julio Cesar Romellón Cerino

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Villahermosa

Tratamiento fisicoquímico-biológico con tensoactivos y composta para remediar suelos contaminados con hidrocarburos

María Antonieta Toro Falcón¹

maria.tf@villahermosa.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0006-0616-4577>

Tecnológico Nacional de México / Instituto
Tecnológico de Villahermosa
México

Mario José Romellón Cerino

mario.rc@villahermosa.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8579-1280>

Tecnológico Nacional de México / Instituto
Tecnológico de Villahermosa
México

María Berzabe Vázquez González

maria.vazquezg@villahermosa.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2814-8819>

Tecnológico Nacional de México / Instituto
Tecnológico de Villahermosa
México

Kleber Zacarías Bernal

kleber.zacaeiasb@villahermosa.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0008-4528-8526>

Tecnológico Nacional de México / Instituto
Tecnológico de Villahermosa
México

Julio Cesar Romellón Cerino

julio.rc@villahermosa.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2388-3128>

Tecnológico Nacional de México / Instituto
Tecnológico de Villahermosa
México

RESUMEN

El tratamiento fisicoquímico de lavado de suelos para recuperar suelos contaminados con hidrocarburos dentro de estos el diésel, es una técnica de tratamiento eficaz y que tiene muchas áreas de oportunidad y mejora. En este caso los 3 tensoactivos en barra de tipo doméstico empleados, presentan porcentajes de remoción que son alentadores y que dan pie a mayor investigación. Se usó la técnica de lavado reportada por otros investigadores del campo. Se obtuvieron eficiencias de remoción de diésel que van desde un 34% hasta un 87%, siendo el tensoactivo en barra de tipo doméstico ZA el que presentó una mayor eficiencia de remoción del contaminante, a porcentajes de solución del 2% y del 6%, sin embargo el tipo PCAV tuvo una eficiencia de remoción entre el 67% y el 74% a una concentración del 4% y del 6% respectivamente. En cuanto a la recuperación del suelo después del compostaje realizado se tuvieron porcentajes de germinación que van desde un 49% hasta un 72% con el TBTD LAP. Por lo que el suelo se puede recuperar y ser productivo. Falta mayor experimentación y estudios para validar estos datos.

Palabras clave: detergentes, diésel, suelo agrícola, tren de tratamiento

¹ Autor principal

Correspondencia: maria.tf@villahermosa.tecnm.mx

Physicochemical-biological treatment with surfactants and compost to remediate soils contaminated with hydrocarbons

ABSTRACT

The physicochemical treatment of soil washing to recover soils contaminated with hydrocarbons, including diesel, is an effective treatment technique that has many areas of opportunity and improvement. In this case, the 3 domestic-type surfactants in stick form used, present removal percentages that are encouraging and that give rise to further research. The washing technique reported by other researchers in the field was used. Diesel removal efficiencies ranging from 34% to 87% were obtained, with the domestic-type surfactant in stick form ZA presenting the highest removal efficiency of the contaminant, at solution percentages of 2% and 6%, however, the PCAV type had a removal efficiency between 67% and 74% at a concentration of 4% and 6% respectively. Regarding soil recovery after composting, germination percentages ranging from 49% to 72% were obtained with TBTD LAP. So the soil can be recovered and made productive. Further experimentation and studies are needed to validate this data.

Keywords: detergents, diesel, agricultural soil, treatment train

*Artículo recibido 02 diciembre 2024
Aceptado para publicación: 28 diciembre 2024*



INTRODUCCIÓN

Las técnicas de remediación de suelos se clasifican en biológicas, termicas, fisicoquímicas entre otras. Y estas son muy diversas en su aplicación dependiendo del tipo de contaminante, de la concentración del mismo, del tipo de suelo, de las condiciones del clima y del terreno donde ocurrió la contaminación. Es decir la eficiencia de cada técnica o tecnología depende de muchos factores (Volke, 2002).

Los tensoactivos o surfactantes de tipo industrial, son altamente eficientes para ser aplicados en la técnica fisicoquímica de lavado de suelos (Mata Guadarrama, 2023); sin embargo los costos son elevados y es muy común que los suelos lavados con estos tensoactivos queden con semisteriles o esteriles, ya que la flora microbiana se ve afectada (Rioja, 2010).

El uso de tensoactivos o surfactantes de tipo doméstico o de uso doméstico son un campo amplio por ser explotado en esta técnica de lavado de suelos (Romellón C, J.C, *et al.* 2023), ya que este tipo de tensoactivos son menos agresivos con el suelo (Romellón C, M. J. 2024) aunque claro esta su eficiencia debe ser menor en comparación con los de tipo industrial. Sin embargo con el paso de los años las técnicas de tratamiento de suelos han implementado lo que se denomina trenes de tratamiento para poder recuperar o tratar suelos contaminados tratando de conservar la fertilidad del suelo o de aumentar la eficiencia de la remoción del contaminante (Jimenez Gil, 2024).

Los suelos agrícolas al ser contaminados con hidrocarburos (Pons-Jimenez, 2011), tienen una alta probabilidad de ser recuperados con el tiempo, ya que en nuestro país se tiene mucha experiencia en el campo de la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Desarrollando nuevas técnicas y aplicación de las tecnologías ya conocidas e innovando como es el caso de la experimentación con tensoactivos de tipo doméstico (Romellón C, M. J. 2020).

METODOLOGÍA

El tren de tratamiento seleccionado para tratar un suelo contaminado con diésel, fue una técnica fisicoquímica la cual es llamada: lavado de suelos; en este caso para dicha técnica se uso un tensoactivo en barra de tipo doméstico que se puede adquirir en cualquier tienda de autoservicio; despues se le aplico una técnica biologica que fue el compostaje.

Tratamiento Fisicoquimico por Lavado de Suelos con Tensoactivo en Barra de Tipo Doméstico (LSTBTD)



Se emplearon 3 Tensoactivos en Barra de Tipo Doméstico (TBTD); los cuales fueron: tipo Princesa Clásico Azul Veteado (PCAV), tipo León Alto Poder (LAP) y tipo Zote Azul (ZA). Los TBTD se trabajaron a concentraciones del 2%, 4% y 6%.

De la muestra original de suelo contaminado con diesel, se tomaron 9 muestras de 2.5 kg cada una y se guardaron en bolsas de polietileno. A estas 9 muestras de suelo, se les aplicara el lavado de suelo y despues el compostaje. Para conocer la concentración inicial de diesel, se extrajo otra muestra de 2.5 kg la cual se preparara para su determinación correspondiente en el equipo Soxhlet.

El lavado de suelo se realizo de la siguiente forma: En un recipiente de plástico (palangana) se inició preparando la primera concentración del TBTD seleccionado, para lo cual se diluyo el TBTD en 2 litros de agua. A esta solución se añadieron los 2.5 kg de suelo contaminado con diesel y se agito de forma manual durante 15 minutos, la mezcla se dejo reposar durante 1 hora. Después de este periodo, la mezcla fue filtrada a través de un tamiz No. 80 para retener el suelo mientras el líquido se vertía en un recipiente designado para residuos peligrosos. Seguidamente, el residuo de suelo fue enjuagado con 1 litro de agua y nuevamente filtrado con el tamiz No. 80 para eliminar el exceso de líquido. Se repitió el proceso de enjuague con otro litro de agua y se eliminó el exceso de líquido utilizando el tamiz. El suelo obtenido de este proceso se puso a secar al sol, y una vez seca la muestra de suelo lavado, se procedió a tamizar en una cribadora con tamices No. 20, 30 y 40 ubicados de manera descendente, para obtener el suelo recuperado dividido por granulometría dado que para la determinación de concentración de contaminante se requiere el polvo más fino y así también determinar el tipo de suelo (Fotografía 1). Este proceso se realizo para cada una de las muestras de suelo a ser tratadas con los TBTD a las concentraciones ya mencionadas con anterioridad (Arteachi, 2024; Del Angel Maya, 2024).

Fotografía 1.-Proceso de tamizado de las muestras de suelo



Para determinar la cantidad de diésel en las muestras de suelo, se empleo el método Soxhlet (Romellón

Cerino, J.C., 2024). El cual se trabaja de la siguiente manera: Este método consiste en extraer grasas de hidrocarburos, que se encuentra en la muestra de suelo previamente lavado, estas muestras contienen 10 gr del polvo más fino, que, con la ayuda de un solvente orgánico volátil, en este caso Diclorometano (CH_2Cl_2), se mantiene circulando durante 20 flujos mínimos en un tiempo de 8 horas. Según la NMX-AA-132-SCFI-2016, la metodología indica que el cálculo para conocer la concentración del material extraído con Diclorometano en la muestra se utiliza la ecuación 1:

$$MEH \left(\frac{mg}{kg \text{ en base húmeda}} \right) = \frac{W_h \times 1000 \times 1000}{W_s}$$

Ecuación 1. Fórmula para calcular la concentración del material extraíble

Fuente: NMX-AA-134-SCFI-2066

Wh es el peso MEH seco ($W_2 - W_1$)

W1 es el peso del matraz tarado

W2 es el peso del matraz con MEH seco en gr, y

Ws es el peso de muestra (suelo) húmedo en gr.

De cada una de las muestras de suelo lavado con TBTD se pusieron 50 gr. a peso constante. Esto para realizar por triplicado la determinación de diésel de cada muestra de suelo lavado. De cada una de las muestras de 50 gr. se extrajeron 30 gr, de suelo para preparar 3 cartuchos con 10 gr. de suelo cada uno de ellos.

Se procedió a armar el equipo Soxhlet, se utilizaron matraces de **250ml** a estos se les conectaron cornetas de 24/40 y condensadores de 24/40. Una vez que se conectó el matraz con la corneta se le agrego el Diclorometano (CH_2Cl_2) en la corneta hasta que hiciera dos reflujos, para posteriormente introducir los cartuchos y conectar los condensadores, se procedió a conectar las entradas a una bomba de pecera con una manguera la cual se encuentra sumergida en una nevera con agua fría para que el agua pasara por los condensadores y una manguera extra en las salidas para el flujo del agua. Para obtener una mayor extracción de grasas se dejó trabajando durante 20 reflujos mínimos, para así obtener el matraz con diclorometano junto con la grasa extraída. Para separar el Diclorometano de la grasa, se utilizó un rotovapor XITRUM XT-5A el cual tiene la función de calentar la sustancia y separar todos sus componentes utilizando la diferencia de los puntos de ebullición, para esto se introdujeron los matraces



en el rotovapor con un ciclo aproximado de 10 a 15 min a una temperatura de entre 60°C Y 62°C y así poder recuperar el solvente, quedando solo los matraces con la grasa extraída (Romellón Cerino, M.J., 2024).

Después se procesaron los matraces para realizar la determinación de la cantidad de diesel extraído en cada muestra y poder realizar el cálculo correspondiente de la concentración de diesel que se encontraba en cada muestra de suelo.

Fotografía 2.-Procesamiento de la muestra en equipo Soxhlet y Rotovapor



La composta para el tratamiento biológico se realizó de la siguiente forma: En la realización de la composta utilizamos tierra negra con abono de cascara de cacao, desperdicios de verduras como lechuga, repollo, cilantro, rábano, mango, también se le agrega hojarasca y estiércol de ganado, en un contenedor vertimos todo por capas, repitiendo cada capa un aproximado de 3 veces para finalizar con una capa de tierra negra, dejando reposar 4 semanas y posteriormente revolviéndola cada 2 semanas (Fotografía 3).

Fotografía 3.-Preparación de la composta



Una vez lista la composta, se procedió a realizar la prueba de germinación para lo cual utilizamos las muestras previamente lavadas y tamizadas que usamos en la extracción de grasas mediante el equipo Soxhlet, haciendo una mezcla en proporción 1:1, es decir si la muestra tamizada peso 1.450 kg se mezcló

con un 1.450 kg de composta. Esto se realizó con cada concentración de muestra lavada incluyendo la muestra contaminada previamente tamizada.

Para determinar la germinación se sembraron 100 semillas de frijol en cada mezcla, y así poder observar el tamaño de crecimiento de las semillas en cada mezcla midiendo su tallo semanalmente durante 6 semanas (Fotografía 4).

Fotografía 4.- Monitoreo de crecimiento de semillas de frijol negro.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se muestra los datos obtenidos durante la toma de muestras, el peso del suelo, antes y después del lavado de suelo usando los TBTD, en este caso se usaron 3 tipos de TBTD. Los datos de pérdida se obtuvieron de la diferencia de pesos estando las muestras de suelo secas.

Tabla 1.- Peso de las muestras de suelo contaminado, antes y después del lavado de suelos

Concentración del TBTD	Peso del suelo antes del lavado	Peso del suelo después del lavado	Perdida de suelo después del lavado	% de suelo perdido
TBTD LAP				
2%	2.500 kg	0.700 kg	1.800 kg	72%
4%	2.500 kg	1.285 kg	1.215 kg	48.6%
6%	2.500 kg	1.070 kg	1.430 kg	57%
TBTD PCAV				
2%	2.500 kg	1.150 kg	1.350 kg	54%
4%	2.500 kg	1.480 kg	1.020 kg	40.8%
6%	2.500 kg	1.010 kg	1.490 kg	59.6%
TBTD ZA				
2%	2.500 kg	1.135 kg	1.370 kg	54.6%
4%	2.500 kg	1.030 kg	1.470 kg	58.8%
6%	2.500 kg	1.120 kg	1.380 kg	55.20%

Después del lavado de las muestras se dejaron al sol durante 5 días para quitar el resto de la humedad, posteriormente se realizó el tamizado de las muestras, con tres tamices de diferentes medidas (No. 40, No. 30, No. 20). En la Tabla 2, se muestran los pesos de las muestras tamizadas.

Tabla 2.- Peso de las muestras tamizadas y tipo de suelo

Concentración del TBTD	Peso de la muestra antes del tamizado	Tamiz No.20	Tamiz No.30	Tamiz No.40	Tamizado	Tipo de suelo
TBTD LAP						
2%	0.700 kg	0.285 kg	0.065 kg	0.055 kg	0.700 kg	Orgánico
4%	1.285 kg	0.545 kg	0.105kg	0.085 kg	1.285 kg	Orgánico
6%	1.070 kg	0.430 kg	0.110 kg	0.085 kg	1.070 kg	Orgánico
TBTD PCAV						
2%	1.150 kg	0.505 kg	0.100 kg	0.075 kg	1.150 kg	Orgánico
4%	1.480 kg	0.705 kg	0.135kg	0.090 kg	1.480 kg	Orgánico
6%	1.010 kg	0.395 kg	0.095 kg	0.070 kg	1.010 kg	Orgánico
TBTD ZA						
2%	1.135 kg	0.450 kg	0.085 kg	0.055 kg	1.135 kg	Orgánico
4%	1.030 kg	0.435 kg	0.095kg	0.070 kg	1.030 kg	Orgánico
6%	1.120 kg	0.570 kg	0.110 kg	0.069 kg	1.120 kg	Orgánico
TBTD Suelo Contaminado						
N/A	2.500 kg	0.660 kg	0.195 kg	0.500 kg	1.500 kg	Orgánico

En la Tabla 3, podemos ver la concentración de diesel obtenida, según los calculos en cada una de las muestras lavadas y con sus respectivas repeticiones en el equipo Soxhlet, así como en la muestra inicial contaminada.



Tabla 3.- Concentraciones de Diesel de las muestras ya lavadas y muestra testigo

CONCENTRACIÓN DE DIESEL				
MUESTRA TESTIGO				
No. Matraz	Peso de muestra inicial de suelo en cartucho	Diesel removido	% de Diesel	PPM
M1	10.1557 gr	0.5508 gr	5.4236 %	54,236 ppm
M2	10.0640 gr	0.5101 gr	5.0686 %	50,686 ppm
M3	10.1308 gr	0.5111 gr	5.0450 %	50,450 ppm
MUESTRA LAVADA CON TBTD				
LAP 2%				
M1	10.0922 gr	0.2751 gr	2.7258%	27,258 ppm
M2	10.1199 gr	0.3392 gr	3.3518%	33,518 ppm
M3	10.0259 gr	0.4667 gr	4.6549%	46,549 ppm
LAP 4%				
M1	10.0039 gr	0.3822 gr	3.8205%	38,205 ppm
M2	10.0184 gr	0.3625 gr	3.6183%	36,183 ppm
M3	10.0156 gr	0.3331 gr	3.3258%	33,258 ppm
LAP 6%				
M1	10.0055 gr	0.4770 gr	4.7673%	47,673 ppm
M2	10.0158 gr	0.5004 gr	4.9961%	49,961 ppm
M3	10.0485 gr	0.5404 gr	5.3779%	53,779 ppm
PCAV 2%				
M1	10.0120 gr	0.2739 gr	2.7357%	27,357 ppm
M2	10.0126 gr	0.3227 gr	3.2229%	32,229 ppm



M3	10.0120 gr	0.2934 gr	2.9304%	29,304 ppm
PCAV 4%				
M1	10.4109 gr	0.2673 gr	2.5675%	25,675 ppm
M2	10.4003 gr	0.2709 gr	2.6047%	26,047 ppm
M3	10.3010 gr	0.1714 gr	1.6639%	16,639 ppm
PCAV 6%				
M1	10.0506 gr	0.1307 gr	1.3004%	13,004 ppm
M2	10.3059 gr	0.1476 gr	1.4321%	14,321 ppm
M3	10.0560 gr	0.1465 gr	1.4568%	14,568 ppm
ZA 2%				
M1	10.0267 gr	0.1418 gr	1.4142%	14,142 ppm
M2	10.0935 gr	0.0631 gr	0.6251%	6,251 ppm
M3	10.2097 gr	0.4052 gr	3.9687%	39,687 ppm
ZA 4%				
M1	10.0030 gr	0.2732 gr	2.7311%	27,311 ppm
M2	10.0110 gr	0.0675 gr	0.6742%	6,742 ppm
M3	10.1900 gr	0.2467 gr	2.4210%	24,210 ppm
ZA 6%				
M1	10.0356 gr	0.1804 gr	1.7976%	17,976 ppm
M2	10.0394 gr	0.0634 gr	0.6315%	6,315 ppm
M3	10.2403 gr	0.4052 gr	3.9569%	39,569 ppm

En la Tabla 4, podemos observar la concentración promedio de diesel contenida y extraída en cada una de las muestras con respecto a la concentración de TBTD que se uso en el lavado de los suelos.



COMPARACIÓN DE CONCENTRACIÓN INICIAL Y CONCENTRACIONES FINALES DE TENSOACTIVO SÓLIDO DE TIPO DOMÉSTICO				
Concentración de Diesel inicial del suelo contaminado en PPM (Testigo)	Concentración final de Diesel después del Soxhlet en PPM	Concentración de muestras lavadas con TBTD	Concentración de Diesel removido en PPM	% de remoción de Diesel
50,450 ppm	TBTD LAP			
	27,258 ppm	2%	23,192 ppm	45.97%
	33,258 ppm	4%	17,192 ppm	34.07%
	47,673 ppm	6%	2,777 ppm	5.50%
	TBTD PCAV			
	27,357 ppm	2%	23,093 ppm	45.77%
	16,639 ppm	4%	33,811 ppm	67.01%
	13,004 ppm	6%	37,446 ppm	74.22%
	TBTD ZA			
	6,251 ppm	2%	44,199 ppm	87.60%
	6,742 ppm	4%	43,708 ppm	86.63%
	6,315 ppm	6%	44,135 ppm	87.48%

Los datos presentados del TBTD LAP al 6% y del TBTD PCAV al 6% en la tabla 4 se usaron para acompletar la experimentación reportada por Toro Falcon *et al* en 2025, y poder realizar una comparativa más amplia de los TBTD.

El mejoramiento de la calidad del suelo lavado con el TBTD y enriquecido con la composta para observar el desarrollo de las semillas de frijol negro y determinar si el tratamiento usado es bueno para recuperar el suelo; se observa en la Tabla 5,6 y 7 donde podemos ver el crecimiento de la plantulas de frijol negro.

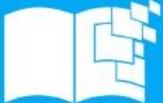


Tabla 5.- Crecimiento de la plantulas de frijol negro en suelo lavado con TBTD LAP

CRECIMIENTO DEL TALLO DE PLANTAS DE FRIJOL									
TBTD LAP 2%									
Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5	
Dia	cm	Dia	cm	Dia	cm	Dia	cm	Dia	cm
<i>1</i>	0	<i>8</i>	10	<i>15</i>	21	<i>22</i>	24	<i>29</i>	32
<i>2</i>	0	<i>9</i>	11	<i>16</i>	22	<i>23</i>	24	<i>30</i>	33
<i>3</i>	2	<i>10</i>	12	<i>17</i>	22	<i>24</i>	25		
<i>4</i>	3	<i>11</i>	14	<i>18</i>	22	<i>25</i>	25		
<i>5</i>	5	<i>12</i>	15	<i>19</i>	23	<i>26</i>	26		
<i>6</i>	6	<i>13</i>	17	<i>20</i>	23	<i>27</i>	27		
<i>7</i>	8	<i>14</i>	19	<i>21</i>	24	<i>28</i>	29		
CRECIMIENTO DEL TALLO DE PLANTAS DE FRIJOL									
TBTD LAP 4%									
Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5	
Dia	cm	Dia	cm	Dia	cm	Dia	cm	Dia	cm
<i>1</i>	0	<i>8</i>	4	<i>15</i>	12	<i>22</i>	15	<i>29</i>	21
<i>2</i>	0	<i>9</i>	5	<i>16</i>	12	<i>23</i>	15	<i>30</i>	21
<i>3</i>	0	<i>10</i>	6	<i>17</i>	13	<i>24</i>	16		
<i>4</i>	0	<i>11</i>	8	<i>18</i>	13	<i>25</i>	17		
<i>5</i>	1	<i>12</i>	8	<i>19</i>	13	<i>26</i>	18		
<i>6</i>	2	<i>13</i>	9	<i>20</i>	14	<i>27</i>	20		
<i>7</i>	3	<i>14</i>	10	<i>21</i>	15	<i>28</i>	20		
CRECIMIENTO DEL TALLO DE PLANTAS DE FRIJOL									



TBTD LAP 6%									
Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5	
Dia	cm	Dia	cm	Dia	cm	Dia	Cm	Dia	cm
<i>1</i>	0	<i>8</i>	3	<i>15</i>	10	<i>22</i>	17	<i>29</i>	24
<i>2</i>	0	<i>9</i>	4	<i>16</i>	10	<i>23</i>	18	<i>30</i>	25
<i>3</i>	0	<i>10</i>	5	<i>17</i>	12	<i>24</i>	19		
<i>4</i>	1	<i>11</i>	6	<i>18</i>	13	<i>25</i>	20		
<i>5</i>	2	<i>12</i>	7	<i>19</i>	14	<i>26</i>	21		
<i>6</i>	2	<i>13</i>	8	<i>20</i>	15	<i>27</i>	22		
<i>7</i>	3	<i>14</i>	9	<i>21</i>	16	<i>28</i>	23		

Tabla 6.- Crecimiento de la plantulas de frijol negro en suelo lavado con TBTD PCAV

CRECIMIENTO DEL TALLO DE PLANTAS DE FRIJOL									
TBTD PCAV 2%									
Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5	
Dia	cm	Dia	cm	Dia	cm	Dia	cm	Dia	cm
<i>1</i>	0	<i>8</i>	5	<i>15</i>	9	<i>22</i>	15	<i>29</i>	21
<i>2</i>	1	<i>9</i>	5	<i>16</i>	10	<i>23</i>	16	<i>30</i>	22
<i>3</i>	1	<i>10</i>	6	<i>17</i>	11	<i>24</i>	17		
<i>4</i>	1	<i>11</i>	6	<i>18</i>	11	<i>25</i>	18		
<i>5</i>	3	<i>12</i>	7	<i>19</i>	11	<i>26</i>	19		
<i>6</i>	4	<i>13</i>	8	<i>20</i>	13	<i>27</i>	20		
<i>7</i>	5	<i>14</i>	9	<i>21</i>	14	<i>28</i>	20		



CRECIMIENTO DEL TALLO DE PLANTAS DE FRIJOL**TBTD PCAV 4%**

Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5	
Día	cm	Día	cm	Día	cm	Día	cm	Día	cm
<i>1</i>	0	<i>8</i>	1	<i>15</i>	6	<i>22</i>	11	<i>29</i>	15
<i>2</i>	0	<i>9</i>	2	<i>16</i>	7	<i>23</i>	11	<i>30</i>	16
<i>3</i>	0	<i>10</i>	2	<i>17</i>	8	<i>24</i>	12		
<i>4</i>	0	<i>11</i>	3	<i>18</i>	9	<i>25</i>	12		
<i>5</i>	0	<i>12</i>	4	<i>19</i>	9	<i>26</i>	13		
<i>6</i>	0	<i>13</i>	5	<i>20</i>	10	<i>27</i>	14		
<i>7</i>	1	<i>14</i>	6	<i>21</i>	11	<i>28</i>	15		

CRECIMIENTO DEL TALLO DE PLANTAS DE FRIJOL**TBTD PCAV 6%**

Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5	
Día	cm	Día	cm	Día	cm	Día	cm	Día	cm
<i>1</i>	0	<i>8</i>	5	<i>15</i>	9	<i>22</i>	17	<i>29</i>	24
<i>2</i>	0	<i>9</i>	5	<i>16</i>	10	<i>23</i>	18	<i>30</i>	25
<i>3</i>	0	<i>10</i>	6	<i>17</i>	11	<i>24</i>	19		
<i>4</i>	1	<i>11</i>	6	<i>18</i>	13	<i>25</i>	20		
<i>5</i>	3	<i>12</i>	7	<i>19</i>	14	<i>26</i>	21		
<i>6</i>	4	<i>13</i>	9	<i>20</i>	15	<i>27</i>	22		
<i>7</i>	5	<i>14</i>	9	<i>21</i>	16	<i>28</i>	23		



Tabla 7.- Crecimiento de la plantulas de frijol negro en suelo lavado con TBTD ZA

CRECIMIENTO DEL TALLO DE PLANTAS DE FRIJOL									
TBTD ZA 2%									
Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5	
Dia	cm	Dia	cm	Dia	cm	Dia	cm	Dia	cm
<i>1</i>	0	<i>8</i>	0	<i>15</i>	0	<i>22</i>	2	<i>29</i>	6
<i>2</i>	0	<i>9</i>	0	<i>16</i>	0	<i>23</i>	3	<i>30</i>	7
<i>3</i>	0	<i>10</i>	0	<i>17</i>	0	<i>24</i>	3		
<i>4</i>	0	<i>11</i>	0	<i>18</i>	0	<i>25</i>	3		
<i>5</i>	0	<i>12</i>	0	<i>19</i>	0	<i>26</i>	4		
<i>6</i>	0	<i>13</i>	0	<i>20</i>	1	<i>27</i>	5		
<i>7</i>	0	<i>14</i>	0	<i>21</i>	1	<i>28</i>	6		
CRECIMIENTO DEL TALLO DE PLANTAS DE FRIJOL									
TBTD ZA 4%									
Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5	
Dia	cm	Dia	cm	Dia	cm	Dia	cm	Dia	cm
<i>1</i>	0	<i>8</i>	0	<i>15</i>	0	<i>22</i>	0	<i>29</i>	0
<i>2</i>	0	<i>9</i>	0	<i>16</i>	0	<i>23</i>	0	<i>30</i>	0
<i>3</i>	0	<i>10</i>	0	<i>17</i>	0	<i>24</i>	0		
<i>4</i>	0	<i>11</i>	0	<i>18</i>	0	<i>25</i>	0		
<i>5</i>	0	<i>12</i>	0	<i>19</i>	0	<i>26</i>	0		
<i>6</i>	0	<i>13</i>	0	<i>20</i>	0	<i>27</i>	0		
<i>7</i>	0	<i>14</i>	0	<i>21</i>	0	<i>28</i>	0		
CRECIMIENTO DEL TALLO DE PLANTAS DE FRIJOL									



TBTD ZA 6%									
Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5	
Dia	cm	Dia	cm	Dia	cm	Dia	cm	Dia	Cm
<i>1</i>	0	<i>8</i>	0	<i>15</i>	0	<i>22</i>	0	<i>29</i>	1
<i>2</i>	0	<i>9</i>	0	<i>16</i>	0	<i>23</i>	0	<i>30</i>	1
<i>3</i>	0	<i>10</i>	0	<i>17</i>	0	<i>24</i>	0		
<i>4</i>	0	<i>11</i>	0	<i>18</i>	0	<i>25</i>	0		
<i>5</i>	0	<i>12</i>	0	<i>19</i>	0	<i>26</i>	0		
<i>6</i>	0	<i>13</i>	0	<i>20</i>	0	<i>27</i>	1		
<i>7</i>	0	<i>14</i>	0	<i>21</i>	0	<i>28</i>	1		

Para determinar el porcentaje de crecimiento de las plantas desde el día 1 hasta el día 30 se tomó en cuenta el crecimiento máximo que hubo entre las plantas el cual fue de 33 cm en 30 días, para tomarlo como el 100% (Tabla 8),

Tabla 8.- Porcentaje de crecimiento de planturlos de frijo negro

PORCENTAJE DE CRECIMIENTO		
Crecimiento máximo en cm	Crecimiento en cm hasta el día 30	Porcentaje de crecimiento
33	TBTD LAP 2%	
	33	100%
	TBTD LAP 4%	
	21	63.63%
	TBTD LAP 6%	



33

25	75.75%
TBTD PCAV 2%	
22	66.66%
TBTD PCAV 4%	
16	48.48%
TBTD PCAV 6%	
25	75.75%
TBTD ZA 2%	
7	21.21%
TBTD ZA 4%	
0	0%
TBTD ZA 6%	
1	3.03%

En la tabla 9, podemos ver el porcentaje de germinación de las semillas de frijol negro en cada una de las muestras de suelo lavadas, podemos observar porcentajes muy por debajo del 50% en la mayoría de las muestras de suelo.



Tabla 9.- Porcentaje de germinación de las semillas de frijo negro

PORCENTAJE DE GERMINACIÓN		
Semillas sembradas	Semillas germinadas	Porcentaje de germinación
100	TBTD LAP 2%	
	68	68%
	TBTD LAP 4%	
	49	49%
	TBTD LAP 6%	
	72	72%
	TBTD PCAV 2%	
	50	50%
	TBTD PCAV 4%	
	45	45%
	TBTD PCAV 6%	
	48	48%
	TBTD ZA 2%	
	15	15%
TBTD ZA 4%		
35	35%	
TBTD ZA 6%		
28	28%	

Los resultados del porcentaje de cuantas plantas germinadas sobrevivieron al final de los 30 días se observan en la tabla 10.



Tabla 10.-Porcentaje de plantas germinadas que sobrevivieron a los 30 días.

Plantas que sobrevivieron a los 30 días		
Plantas germinadas	Plantas supervivientes	Porcentaje de supervivencia
TBTD LAP 2%		
68	34	50%
TBTD LAP 4%		
49	20	40.81%
TBTD LAP 6%		
72	56	77.77%
TBTD PCAV 2%		
50	23	46%
TBTD PCAV 4%		
45	20	44.44%
TBTD PCAV 6%		
48	15	31.25%
TBTD ZA 2%		
15	5	33.33%
TBTD ZA 4%		
35	12	34.28%
TBTD ZA 6%		
28	16	57.14%



CONCLUSIONES

El suelo contaminado con diesel tuvo una concentración inicial de 50, 450 ppm. De los 3 tensoactivos en barra de tipo doméstico empleados. El que tuvo un mayor porcentaje de remoción de diésel fue el TBTD ZA con porcentajes de remoción del contaminante que van desde el 86.63% hasta un 87.48%.

El TBTD ZA presento en las concentraciones del 2%, 4% y 6% una eficiencia de remoción de diésel que no permite hacer diferencia entre el tratamiento ya que la eficiencia entre estas 3 concentraciones es casi similar en un promedio del 87%. Por lo cual se considera que aplicando el TBTD a una concentración del 2% es suficiente para lograr descontaminar el suelo.

En el caso del TBTD LAP, el suelo lavado con una concentración del 6% tuvo una eficiencia de remoción del diésel del 5.5%, lo que nos indica que no es adecuado para aplicarlo en la técnica de lavado de suelos. Aunque se recomienda repetir el experimento con ese TBTD a ese porcentaje para confirmar los resultados.

La solución al 2% de TBTD LAP presento una eficiencia de remoción de diésel del 45.97%, siendo el porcentaje de solución que mayor remoción de diésel presento de las 3 muestras lavadas con TBTD LAP.

De los porcentajes de solución de TBTD PCAV, el que tuvo una eficiencia mayor fue el del 6%, ya que removió un 74.22% de diésel de la muestra de suelo contaminado. Aunque la solución al 4% tuvo un valor muy cercano de remoción de diésel con un 67.01%, que si tomamos en cuenta los costos de operación y gasto del TBTD sería más eficiente para una empresa usar la solución al 4% del TBTD PCAV para darle tratamiento con la tecnica de lavado de los suelos al suelo contaminado con diésel.

Habría que realizar un ejercicio de costos de inversión para decidir cual TBTD entre el PCAV y el ZA es mejor para ser empleado en un proyecto de remediación de suelo, ya que presentan eficiencias de remoción de diésel muy cercanos uno del otro, y se debe tomar en cuenta el costo de TBTD PCAV y del TBTD ZA, ya que el costo por kilogramo de estos TBTD son muy diferentes.

En cuanto al porcentaje de germinación de las semillas de frijol en los suelos tratados con TBTD y enriquecidos con composta, podemos concluir que el TBTD LAP al 6% tuvo una mejor recuperación el suelo ya que germinaron el 72% de las semillas, sin embargo el suelo lavado con el TBTD LAP al 2% presento una germinación del 68%, estos datos estan muy por encima de los porcentajes de germinación



del TBTD PCAV y del TBTD ZA que no rebasaron el 50% de germinación e incluso el PCAV su germinación estuvo por debajo del 35%.

Y en el caso de la sobrevivencia de las semillas germinadas el TBTD LAP tuvo el mayor porcentaje de supervivencia ya que la supervivencia de la semillas oscilo entre un 50% a un 77.77%. ya que le sobrevivieron entre 34 y 56 semillas a los suelos tratados al 2% y al 6% con TBTD LAP, respectivamente. Mientras que los otros TBTD le sobrevivieron entre 5 y 23 plantas solamente.

Por lo que si tomamos en cuenta el factor recuperación de suelo para cultivos, el TBTD LAP es el idoneo para ser usado en el lavado de suelos contaminados con diésel.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arteachi García, María Fernanda; Aguilar Cruz, José Manuel; Zapata Noriega, José Antonio; Del Ángel Maya, Flor Elena; Romellón Cerino, Mario José. (2024) Estimación de la eficiencia de remoción de diésel en un suelo contaminado, usando un surfactante sólido granular de uso doméstico al 2% y 4%. *Innovación y Desarrollo Tecnológico Revista Digital*. Vol. 16, Número 1. Enero-Marzo. ISSN: 2007-4786

Del Ángel Maya, Flor Elena; Zapata Noriega, José Antonio; Lazo Priego, Gabriela; López Chan, Jorge; Romellón Cerino, Mario José (2024) Recuperación de un suelo contaminado con diésel, usando 2 surfactantes sólidos de uso doméstico. *Innovación y Desarrollo Tecnológico Revista Digital*. Vol. 16, Número 2. Abril-Junio. ISSN: 2007-4786

Dr. Mario José Romellón Cerino, Dr. Julio César Romellón Cerino, Dr. Víctor Manuel Arias Peregrino, Dr. Jorge Cein Villanueva Guzmán, Dr. Félix Díaz Villanueva. (2024). ESTIMATING THE EFFICIENCY OF A SOLID SURFACTANT FOR DOMESTIC USE IN THE REMOVAL OF DIESEL IN A CONTAMINATED SOIL. *Journal of International Crisis and Risk Communication Research* , 2120–2140. Retrieved from <https://jicrcr.com/index.php/jicrcr/article/view/1364>

Jiménez Gil, Antonio; Vázquez González, María Berzabe; Toro Falcón, María Antonieta; Reyes Osorio, José; Romellón Cerino, Mario José. (2024) Physicochemical treatment of diesel-contaminated soil using a washing technique with solid bar surfactants. Libro on-line *Mentes diversas y soluciones integrales*. Artículos del congreso internacional de investigación academia Journals



- Mata Guadarrama, M. A. (2023). Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos pesados utilizando biosurfactantes y surfactantes químicos (Master's thesis, Universidad Autónoma Metropolitana (México). Unidad Azcapotzalco. Coordinación de Servicios de Información.).
- Pons-Jimenez, M; Guerrero-Peña, A; Zavala-Cruz, J; Alarcón, A. (2011). Extracción de hidrocarburos y compuestos derivados del petróleo en suelos con características físicas y química diferentes. Universidad y Ciencia Trópico Húmedo. Vol. 27 No.1. Pág. :1-15 ISSN 0186-2979
- Riojas González, HH, Torres Bustillos, LG, Mondaca Fernández, I., Balderas Cortes, JDJ, & Gortáres Moroyoqui, P. (2010). Efectos de los surfactantes en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Química Viva*, 9 (3),120-145. [fecha de Consulta 29 de octubre de 2023]. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86315692003>
- Romellón Cerino, Julio Cesar; Vázquez González, María Berzabe; Toro Falcón, María Antonieta; Martínez Vichel, Guadalupe; Romellón Cerino, Mario José. (2024). Comparación de surfactantes sólidos doméstico en el lavado de suelos contaminados por diésel. *Innovación y desarrollo tecnológico Revista Digital*. Volumen 16 Número 2. Abril-Junio. ISSN: 2007-4786.
- Romellón Cerino, Julio Cesar; Ángeles Guzmán, Casandra; Tamayo Uribe, Roger; Martínez Vichel, Guadalupe; Romellón Cerino, Mario Jose. (2023). Tensoactivo sólido de uso doméstico al 6% y 8%, para el lavado de suelos contaminados con diésel. *Innovación y Desarrollo Tecnológico Revista Digital*. Vol. 15, Número 4. Octubre-Diciembre. ISSN: 2007-4786.
- Romellón Cerino, Mario José; Vazquez González, María Berzabe; Romellón Cerino, Julio Cesar; Magaña Flores, Anel; Cardenas Valdez, Ana Fabiola (2020). Determinación de la eficiencia de un surfactante líquido de uso doméstico para remover hidrocarburos de un suelo contaminado. *Universita Ciencia. Revista electrónica de Investigación de la Universidad de Xalapa*. Año 9, Número 26. Septiembre-diciembre 2020. ISSN 2007-3917. Xalapa, Veracruz, México. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6599929>
- Romellón Cerino, Mario José; Pérez Castillo, Adriana; Díaz Villanueva, Félix; Sánchez Marín, Loyda; Gómez Cordoba, Eduardo (2024) Remoción de Diésel de un suelo contaminado usando un



tensoactivo sólido (granular) de uso doméstico al 10% y al 12%. Innovación y Desarrollo Tecnológico Revista Digital. Vol. 16, Número 1. Enero-Marzo. ISSN: 2007-4786

Toro Falcón, M. A.; Vázquez González, M. B.; Zacarías Bernal, K.; Romellón Cerino, J. C. & Romellón Cerino, M. J. (2025). Comparación de 2 tensoactivos sólidos en barra de tipo doméstico usados para la remoción de hidrocarburos de un suelo contaminado. Innovación y Desarrollo Tecnológico Revista Digital. Volumen 17 – Número 1, Enero-Marzo 2025 (pp. 229-233) ISSN:2007-4786

Volke Sepúlveda, Tania y Antonio Velasco, Juan (2002). Tecnologías de remediación para suelos contaminados. INE-SEMARNAT. México. ISBN: 968-817-557-9

