

# **SURFACTANTES DOMÉSTICOS (LÍQUIDOS), EN LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS.**

## **TESIS**

**Para obtener el grado de:**

Maestría en Ingeniería

## **Línea de trabajo:**

Ingeniería en Desarrollo Sustentable

## **Presenta:**

C. Amalia Xiutlhalzin Ruíz Moreno

## **Matricula:**

M05300918

## **Director de Tesis:**

MIPA. Mario José Romellón Cerino

***Villahermosa, Tabasco, Noviembre 2018***



Carretera Villahermosa-Frontera Km. 3.5 Cd. Industrial C.P. 86010

Tel. 01 (993) 353-02-59. Villahermosa, Tabasco, México

[www.itvillahermosa.edu.mx](http://www.itvillahermosa.edu.mx)



Inicio: 2009.08.05  
Recertificación: 2015.07.24  
Terminación: 2018.07.24

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE VILLAHERMOSA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**SURFACTANTES DOMÉSTICOS (LÍQUIDOS), EN LA  
REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR  
HIDROCARBUROS.**

**TESIS**

**Para Obtener el Grado de:  
Maestría en Ingeniería.**

**Línea de Trabajo:**  
Ingeniería en Desarrollo Sustentable

**Presenta:**  
C. Amalia Xiutlhalzin Ruíz Moreno

**Matricula:**  
M05300918

**Director de Tesis:**  
MIPA. Mario José Romellón Cerino

**Co-Asesor:**  
MIPA. María Berzabe Vázquez González

**Tutor:**  
M.C. Roberto Morales Cruz

***Villahermosa, Tabasco, Noviembre 2018***

## *Agradecimientos*

### *A Dios:*

Por el amor y espíritu que ha puesto en mí para continuar mis estudios profesionales, sobre todo por la salud y la sabiduría para salir adelante en los momentos difíciles, gracias por ser mi guía, mi luz y mi paz.

### *A mis padres:*

Jesús Ruíz Pérez y Mirna Amalia Moreno Castellanos. Una pareja ejemplar de lucha diaria y amor, esforzándose siempre por hacer de mí una mujer independiente, fuerte y capaz. Gracias por las enseñanzas, por el amor y la paciencia, son los padres perfectos para mí.

### *A mi esposo:*

Jesús Manuel Ruíz De La Fuente, que ha sido un gran apoyo e inspiración en mi vida; pero sobre todo, por ser un hombre tan amoroso y paciente, que definitivamente sin él, este éxito carecería de valor, puesto que él ilumina mi existencia día con día. Gracias por todo el amor.

### *A nuestro pequeño bebe:*

Bruno Azair Ruíz Ruíz, que gracias a Dios ya estas con nosotros, que has iluminado mi vida de una manera inigualable, cambiando mi perspectiva de vivir. Eres un motivo más que me impulsa a alcanzar mis sueños. Te amo.

### *A mi amiga:*

Azucena del Rosario Fraire Vázquez que sin duda, más que una amiga, una hermana, éste éxito es para las dos, gracias por estar allí en todo momento; por los consejos apremiantes, por los días nublados y lo extraordinarios. Sin ti, seguramente no hubiese llegado tan lejos. Te quiero mucho.

### *A mi director de tesis.*

MIPA. Mario José Romellón Cerino, por la confianza brindada desde el inicio, para desarrollar y concluir este trabajo de tesis. Pero sobre todo, por convertirse en un gran amigo.

### *A mis sinodales de tesis.*

MIPA. María Berzabe Vázquez Gonzales por todos sus consejos y enseñanzas, al M.C. Roberto Morales Cruz por el tiempo y las atenciones para con mi persona. Muchas gracias, a la MIPA Noemí Méndez de los Santos por todos los conocimientos compartidos y su dedicación para con mi trabajo de tesis. Muchas gracias.

### *A mis familiares y amigos.*

Que directa e indirectamente han estado para apoyarme, escucharme y brindarme su amistad durante este proyecto de mi vida. Para todos ellos mi respeto y agradecimiento.

# ÍNDICE

RESUMEN .....	2
CAPITULO I .....	3
Introducción.....	3
1.1 Objetivos .....	7
1.1.1 Objetivo general.....	7
1.1.2 Objetivos específicos.....	7
1.2 Hipótesis.....	8
1.2.1 Hipótesis de investigación.....	8
1.2.2 Hipótesis estadística.....	8
CAPÍTULO II .....	9
FUNDAMENTO TEÓRICO.....	9
2.1 El suelo.....	9
2.2 Propiedades fisicoquímicas del suelo .....	9
2.2.1 Textura.....	10
2.2.2 Humedad .....	11
2.2.3 Potencial de hidrógeno (pH).....	12
2.2.4 Capacidad de intercambio catiónico total (CICT) .....	13
2.3 Contaminación de suelos .....	14
2.3.1 Remediación de suelos.....	16
2.3.2 Técnica lavado .....	18
2.3.2.1 Determinación de grasas y Aceites por el método soxhlet.....	19
2.4 Definición de surfactante .....	19
2.4.1 Clasificación de los surfactantes .....	20
2.5 Bioensayos toxicológicos .....	22
2.6 Técnica de compostaje.....	23

2.7 Especie de estudio frijol ( <i>Phaseolus Vulgaris L.</i> ).....	24
2.7.1 Morfología .....	25
2.7.2 Requerimientos del cultivo .....	26
CAPITULO III .....	27
METODOLOGÍA.....	27
3.1 Delimitación del área de estudio .....	27
3.2 Plan de muestreo .....	28
3.3 Caracterización de la muestra.....	30
3.3.1 Determinación de textura .....	30
3.3.2 Determinación de humedad .....	30
3.3.3 Determinación de pH .....	31
3.3.4 Determinación capacidad de Intercambio catiónico total .....	32
3.4 Diseño experimental para la evaluación de tres diferentes surfactantes.....	33
3.5 Técnica de lavado de suelo.....	34
3.5.1 Determinación de grasas y aceites .....	35
3.6 Elaboración de la composta .....	36
3.7 Bioensayos toxicológicos .....	38
3.7.1 Prueba de germinación .....	38
3.7.2 Elaboración de bioensayos toxicológicos.....	38
3.7.3 Siembra de frijol ( <i>Phaseolus Vulgaris L.</i> ).....	39
3.7.3.1 Variable de estudio (largo del tallo).....	40
3.7.3.2 Determinación de la biomasa total seca .....	40
CAPITULO IV .....	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
4.1 Parámetros fisicoquímicos .....	42
4.2 Extracción de hidrocarburos.....	45

4.2.1 Surfactante 1 (Axi3n lim3n) .....	45
4.2.2 Surfactante 2 (Salvo lim3n) .....	46
4.2.3 Surfactante 3 (Roma) .....	46
4.3 T3cnica de compostaje .....	49
4.3.1 Resultado para blancos y suelo contaminado .....	49
4.3.2 Resultado para la concentraci3n 20/80% .....	50
4.3.3 Resultado para la concentraci3n 30/70% .....	52
4.3.4 Resultado para la concentraci3n 40/60% .....	53
4.3.5 Resultado para la concentraci3n 50/50% .....	55
4.4 Resultado de biomasa total seca .....	57
CONCLUSI3N .....	60
FUENTES BIBLIOGRÁFICA .....	61
ANEXO 1: Sitio de muestreo .....	67
ANEXO 2: Registros de mediciones para el surfactante 1 (S1) .....	68
ANEXO 3: Registros de mediciones para el surfactante 2 (S2) .....	72
ANEXO 4: Registros de mediciones para el surfactante 3 (S3) .....	76
ANEXO 5: Registro de medidas de los blancos .....	80

## **Índice de Tablas.**

<i>Tabla 1: Clasificación del suelo de acuerdo a la escala pH establecido en la NOM-021-SEMARNAT-2000.</i> .....	13
<i>Tabla 2: Coordenadas del sitio de muestreo (Cárdenas, Tabasco).</i> .....	28
<i>Tabla 3: Diseño experimental para el lavado a diferentes proporciones.</i> .....	33
<i>Tabla 4: Componentes de la composta.</i> .....	36
<i>Tabla 5: Resultados del porcentaje de humedad.</i> .....	42
<i>Tabla 6: Resultados de pH para cada una de las muestras.</i> .....	42
<i>Tabla 7: Resultado de Criterios de CICT.</i> .....	43
<i>Tabla 8: Valores de CICT muestras.</i> .....	43
<i>Tabla 9: % de remoción para S1</i> .....	45
<i>Tabla 10: % de remoción para S2</i> .....	46
<i>Tabla 11: % de remoción para S3</i> .....	47
<i>Tabla 12: Límites máximos permisibles para fracciones de hidrocarburos en suelo (NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012).</i> .....	47
<i>Tabla 13: Promedio de las variables analizadas para los surfactante 1, 2 y 3 a una concentración 20/80%.</i> .....	51
<i>Tabla 14: Promedio de las variables analizadas para los surfactante 1, 2 y 3 a una concentración 30/70%.</i> .....	53
<i>Tabla 15: Promedio de las variables analizadas para los surfactante 1, 2 y 3 a una concentración 40/60%.</i> .....	55
<i>Tabla 16: Promedio de las variables analizadas para los surfactantes 1, 2 y 3 a una concentración 50/50%.</i> .....	57
<i>Tabla 17: Biomasa total seca.</i> .....	58
<i>Tabla 18: Biomasa total seca (blanco).</i> .....	58

## **Índice de gráficas.**

<i>Grafica 1: Valores de CICT de las muestras de acuerdo a límite máximo UNNOBA (2012).</i> ..	44
<i>Grafica 2: Porcentaje de remoción para S1.</i> .....	45
<i>Grafica 3 : Porcentaje de remoción para S2.</i> .....	46
<i>Grafica 4: Porcentajes de remoción para S3.</i> .....	47
<i>Grafica 5: Concentración (ppm) máxima posterior al técnica.</i> .....	48
<i>Grafica 6: Crecimiento de las plantas de frijol (Phaseolus Vulgaris L.) blancos.</i> .....	49
<i>Grafica 7: Crecimiento de las plantas control en suelo contaminado.</i> .....	49
<i>Grafica 8: Crecimiento de las plantas para el S1 a concentración de 20/80%.</i> .....	50

<i>Grafica 9: Crecimiento de las plantas para el S2 a concentración de 20/80%.....</i>	<i>50</i>
<i>Grafica 10: Crecimiento de las plantas para el S3 a concentración de 20/80%.....</i>	<i>51</i>
<i>Grafica 11: Crecimiento de las plantas para el S1 a concentración de 30/70%.....</i>	<i>52</i>
<i>Grafica 12: Crecimiento de las plantas para el S2 a concentración de 30/70%.....</i>	<i>52</i>
<i>Grafica 13: Crecimiento de las plantas para el S3 a concentración de 30/70%.....</i>	<i>53</i>
<i>Grafica 14: Crecimiento de las plantas para el S1 a concentración de 40/60%.....</i>	<i>54</i>
<i>Grafica 15: Crecimiento de las plantas para el S2 a concentración de 40/60%.....</i>	<i>54</i>
<i>Grafica 16: Crecimiento de las plantas para el S3 a concentración de 40/60%.....</i>	<i>55</i>
<i>Grafica 17: Crecimiento de las plantas para el S1 a concentración de 50/50%.....</i>	<i>56</i>
<i>Grafica 18: Crecimiento de las plantas para el S2 a concentración de 50/50%.....</i>	<i>56</i>
<i>Grafica 19: Crecimiento de las plantas para el S3 a concentración de 50/50%.....</i>	<i>57</i>

### **Índice de Ecuaciones**

<i>Ecuación 1: Fórmula para calcular el porcentaje de humedad. ....</i>	<i>12</i>
<i>Ecuación 2: Fórmula para la determinación de CICT.....</i>	<i>14</i>
<i>Ecuación 3: Formula para el calcular el FC del EDTA. ....</i>	<i>14</i>
<i>Ecuación 4: Fórmula para calcular la concentración del material extraíble. ....</i>	<i>19</i>

### **Índice de Figuras**

<i>Figura 1: Triángulo de textura del sistema de clasificación de la USDA 1995.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2. Numero de emergencias notificadas en el 2015 y su distribución por causante.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 3: Esquema de suelo reteniendo petróleo. Se observa el efecto de los agentes surfactantes que al disminuir la tensión interfacial liquido-sólido y liquido- liquido permite la movilización y solubilización del hidrocarburo retenido. ....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4 : Germinación de un frijol (Phaseolus Vulgaris L). ....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 5: Ubicación aérea del sitio de estudio. ....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 6: Ubicación satelital de los puntos de muestreo. ....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 7: Dimensiones del muestreo. ....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 8: Cantidad de muestras simples.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 9: Determinación de textura (pesaje, tamizado y separación de fracciones). ....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 10: Determinación de humedad (pesado y peso constante).....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 11: Determinación de pH (medición de la muestra). ....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 12: Determinación del Intercambio Catiónico Total (Titulación de la muestra).....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 13: Técnica de lavado de suelos empleando surfactantes. ....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 14: Método de reflujio tipo Soxhlet para la extracción de grasas y aceites. ....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 15: Orden de los componentes empleados en el proceso de compostaje. ....</i>	<i>36</i>

<i>Figura 16: Dimensiones de las cajas empleadas para el compostaje.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 17: Proceso de compostaje. ....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 18: Prueba de germinación.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 19: Composición del sustrato en cada uno de los bioensayos. ....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 20: Distribución de los bioensayos en el invernadero. ....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 21: Invernadero tipo plano. ....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 22: Medición de largo de tallo de la planta. ....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 23: Procedimiento para la obtención de la biomasa total.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 24: Modelación del sitio de estudio empleando el Software Surfer 10. ....</i>	<i>41</i>

## RESUMEN

En México existen extensas áreas contaminadas con hidrocarburos del petróleo debido principalmente a actividades de la industria petrolera. Una de las preocupaciones de las autoridades ambientales es el desarrollo de tecnologías eficientes y económicamente factibles que permitan su eliminación. El lavado de suelos mediante el empleo de surfactantes comerciales es una opción en cuanto la remoción de dicho contaminante. En esta investigación se estableció un diseño experimental (factorial simple  $3 \times 4$ ) donde se evaluó la eficiencia de remoción de tres surfactantes (líquidos), Axió limón (S1), Salvo limón (S2) y Roma (S3); en suelos contaminados con HTP's fracción pesada mediante la técnica de lavado, posteriormente se establecen bioensayos toxicológicos para conocer la viabilidad de la técnica de compostaje, como alternativa de enriquecimiento del suelo sometido a una remediación fisicoquímica. Las variables de estudio para los bioensayos, fueron el porcentaje de crecimiento, germinación, sobrevivencia y mortandad de las plántulas de frijol (*Phaseolus Vulgaris L.*). Como resultado del análisis de varianza (ANOVA simple) muestras que no existen diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) entre las medias de las concentraciones de los surfactantes evaluados con un 95% de confianza. Aunque el análisis de varianza indica que no hay diferencias significativas entre los tratamientos, se observa una tendencia favorable en la concentración 50/50% para los tres surfactantes. Se identificó que el surfactante 3 presenta mejores condiciones en relación con el porcentaje de remoción. Condición dada por los componentes presentes en el surfactante. En la totalidad de los bioensayos el porcentaje de germinación fue mayor al 50%, sin embargo la concentración 50/50% para cada uno de los surfactantes presenta un mayor porcentaje de sobrevivencia.

# CAPITULO I

## Introducción

El suelo constituye un recurso viviente, natural, dinámico y no renovable, cuya condición y funcionamiento es vital para la producción de alimentos y para el mantenimiento de la calidad ambiental local, regional y global. Es el segundo recurso no renovable más importante para el ser humano, debido a que conforma el principal soporte para los ecosistemas, la agricultura y la economía mundial (Benavides, 2006).

La perforación de pozos exploratorios ha provocado, en algunas ocasiones, derrames que causan contaminación de suelos por hidrocarburos, los cuales se clasifican como residuos peligrosos que deben de recibir tratamiento y evitar los efectos negativos al medio ambiente (CONACYT, 2016). Desde el año 2008 al 2014 en México, se han registrado un total de 689 sitios contaminados. En el estado de Tabasco en el periodo 2011 al 2014, se presentaron 28 sitios contaminados (considerado emergencias ambientales) principalmente por hidrocarburos y sus derivados. Así mismo durante el año 2011-2013 se han presentado 1596 denuncias por posibles violaciones a la normatividad ambiental en tema de suelo (SEMARNAT, 2014).

En el 2002 en el estado de Veracruz hubo 41 emergencias ambientales asociadas con el derrame de sustancias, incluyendo hidrocarburos (PROFEPA, 2003). En el 2005 se reportaron emergencias ambientales asociadas a fugas, derrames y explosiones, en 2009 se afectaron 1.5 ha de pastizal manchadas por aceites en Cunduacán solo registrado donde hubo la avería, no contabilizando el resto del área, lo cual significa que el derrame pudo haber afectado más hectáreas (Pons *et al*, 2011).

Dos de los lugares más contaminados por HTP's a nivel nacional son la refinería "Lázaro Cárdenas" y el Pantano de Santa Alejandrina, ambos ubicados en el sureste de México (Veracruz y Tabasco) (Hamdan *et al*, 2005). La contaminación

del suelo por hidrocarburos en el estado de Tabasco, ha llegado a abarcar 0.07% del área total del estado (Rivera *et al*, 2016).

La importancia del suelo reside en los servicios ambientales de soporte, regulación, provisión y culturales que proporciona al ser humano (SEMARNAT, 2014). Este recurso natural es el soporte de los organismos, actúa como reserva de sustancias orgánicas y minerales, regula los intercambios y flujos en el ecosistema, es el sitio de la transformación de la materia orgánica, además es un sistema de purificación y amortiguamiento de las sustancias tóxicas (Gobat *et al*, 2004).

La contaminación de los suelos por derrames o disposición inadecuada de petróleo es un problema ambiental mundial. El desarrollo de la actividad petrolera, ha generado el incremento de residuos que en concentraciones altas pueden tener efectos nocivos para la salud de la población y afectan el equilibrio ambiental, además se han ignorado sus efectos en el contexto social, político y económico (Chan *et al*, 2015).

En el presente estudio se analiza la capacidad de remoción para tres diferentes surfactantes líquidos domésticos como una propuesta de remediación fisicoquímica para suelos contaminados con HTP's fracción pesada. De acuerdo información relacionada al empleo de surfactantes domésticos para la remoción de hidrocarburos, se presentan escasos procesos donde se evalué el porcentaje de remoción y la eficiencia que puede tener cada una de las marcas analizadas en este estudio. Así también se consideró el empleo de la técnica de compostaje como alternativa de enriquecimiento para el suelo resultante de dicho tratamiento fisicoquímico y la relación que puede presentar al utilizar plantas de frijol como agente bioindicador de dicha remoción.

Seulgi (2016), en Corea propone *“Investigar y comparar el proceso ultrasónico y el proceso mecánico de lavado de suelo, usando un gran sonoreactor a escala de laboratorio”*. Se observó mayor eficacia de eliminación en los procedimientos combinados para lavado con HCl 0,1M y 0,3 M. Esto se debió a los efectos combinados de la eliminación de la escala macroscópica, mediante mezclado mecánico y eliminación de microescala.

Díaz *et al* (2016), en la investigación “*Evaluación de tratamientos de remediación de un suelo contaminado con petróleo pesado combinando lavado con extracto de cascara de naranja (citrus sinensis) y biopila aireada*” realizada en Monagas, Venezuela estudio el efecto combinado de lavado con una solución a base de cascara de naranja y del aireado socavado con biopila en una matriz contaminada con crudo pesado, donde se obtuvo como resultado que la efectividad de remoción de la técnica de lavado con el extracto a base de cascara de naranja por si sola es de un 65.33%, mientras que combinada con las biopilas aireadas es efectiva en un 88.44%.

Cano *et al* (2015), en su tesis “*Lavado de suelos contaminados con diésel utilizando surfactantes*” la cual se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila. El proyecto comparo dos surfactantes: el S1 (surfactante 1 aniónico lineal) y el S2 (surfactante 2 aniónico y no iónico), con el objetivo principal de obtener el surfactante y el tiempo adecuado de extracción de diésel en el lavado de suelos. Arrojando como resultado que el mejor tiempo de extracción fue de 24 horas, puesto que se encontró menos cantidad de diésel en la muestra. Entre los dos surfactantes, el S1 tuvo mayor efectividad, mientras que el S2 tiene un comportamiento más inestable.

Piña (2012) en su tesis “*Lavado in situ de un suelo contaminado con diésel, asistido con surfactantes*” realizada en la Cd. de México, en este estudio se efectuaron lavados en viales de muestras de 6g de suelo contaminado con 13 surfactantes sintéticos y 3 biosurfactantes a una concentración de 0.5 y 0.1 por ciento respectivamente, por 23 horas. Donde se obtuvo como que las mejores remociones fueron del 51% (24,762 mg HTP´s/kg) para el surfactante sintético (Texapon N-40) en la muestra de suelo con 2 meses de contaminación, mientras que el biosurfactante (Algarrobo) su remoción fue del 47% equivalentes a 11,745 mg HTP´s/kg.

Pérez *et al* (2012), emplea el “*Uso de microemulsiones en la limpieza de suelos contaminados con crudo*” en Yaracal, Venezuela analizando el lavado de suelos con dos surfactantes iónicos: dodecil sulfato de sodio (SDS) y dodecil benceno sulfonato de sodio (SDBS), mismas que fueron evaluadas en un suelo

contaminado con petróleo, obteniendo como resultado un desempeño del 95.43% en la microemulsión SDS, el resultado fue confirmado mediante la técnica de espectroscopia de infrarrojo.

Balderas *et al* (2010), estudiaron “*Los efectos de los surfactantes en el proceso de biorremediación*” dándole un énfasis a los efectos que influyen en la biodisponibilidad y finalmente discutir sobre los factores que ocasionan la inhibición y toxicidad. Los resultados obtenidos señalan que un proceso de biorremediación se ve muy favorecido con la aplicación de surfactantes, le ayuda en la biodisponibilidad del contaminante y con esto en su biodegradación.

Torres *et al* (2007), caracterizaron un suelo contaminado (40 kg) con hidrocarburos totales de petróleo (TPH'S) en una zona petrolera en Tabasco, México. Las concentraciones iniciales de TPH'S se encontraron en el intervalo de 51,550 a 192,130 mg/kg; para lo cual se utilizaron pruebas de lavado con dodecil sulfato de sodio y sales, con lo cual se obtuvieron remociones de hasta un 49.5 por ciento de remoción.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general.**

Evaluar la eficiencia de remoción de tres diferentes surfactantes domésticos (líquidos) como técnica de remediación de suelos contaminados por hidrocarburos.

### **1.1.2 Objetivos específicos.**

- Determinar las características fisicoquímicas del suelo del ejido “Ley de la reforma agraria” ubicado en el municipio de Cárdenas, Tabasco.
- Evaluar el porcentaje de remoción de HTP’s para cada uno de los tres surfactantes líquidos.
- Emplear el análisis estadístico de varianza (ANOVA simple) para determinar si existen diferencias entre cada uno los tratamientos.
- Aplicar la técnica de compostaje al suelo tratado con surfactantes como una alternativa de enriquecimiento de la flora microbiana.
- Analizar el rango de crecimiento de la especie de frijol (*Phaseolus Vulgaris* L.) en cuanto a las siguientes variables (largo de tallo, germinación, sobrevivencia, mortalidad y biomasa total seca).

## **1.2 Hipótesis**

### **1.2.1 Hipótesis de investigación.**

Los surfactantes domésticos (líquidos) podrían ser una alternativa de remediación fisicoquímica para suelos contaminados con hidrocarburos.

### **1.2.2 Hipótesis estadística.**

Existen diferencias entre los tratamientos para cada uno de los surfactantes líquidos domésticos.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTO TEÓRICO.**

#### **2.1 El suelo**

El suelo constituye la capa superficial del manto terrestre y su profundidad es variable. Está formado por partículas minerales, organismos vivos, materia orgánica, agua y sales. La mayoría de los componentes provienen de la meteorización de rocas, descomposición de restos vegetales y acción de microorganismos, formando uno de los recursos naturales más importantes del planeta. El suelo es un medio altamente complejo, formado, prevalentemente por tres fases: sólida (50%), líquida y gaseosa. Estas tres fases se pueden organizar de muy diferentes formas, adquiriendo diversas proporciones para dar lugar a centenares de tipos de suelos (Lladó, 2012).

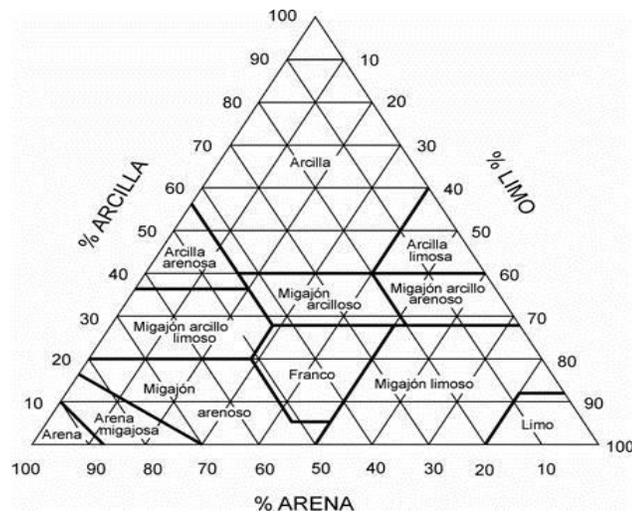
#### **2.2 Propiedades fisicoquímicas del suelo**

Las propiedades físicas de un suelo dependen de las condiciones en las que se encuentre ya sean húmedas o secas, además del uso que se le dé al mismo. Estas características están íntimamente conectadas con la capacidad de retención de los nutrimentos en las plantas (Cantera, 2010). Por otra parte, las propiedades químicas son las que dependen de la parte más íntima del suelo como es su propia composición. Las más importantes desde el punto de vista de la génesis del suelo son la alteración mineral y la formación de nuevas especies, así como lo relativo a la destrucción de la materia orgánica fresca y la formación de las sustancias húmicas (UNIOVIEDO, 2012).

## 2.2.1 Textura

La textura depende del tamaño y forma de las partículas y, por consiguiente, de la mezcla de arena, limo y arcilla que componen el suelo. La textura del suelo es importante por dos razones: primero el tamaño y la forma de las partículas tiene influencia en la probabilidad de pérdida por erosión hídrica y eólica. Segundo la textura del suelo también afecta a la tasa de infiltración de agua, la cual, a su vez influye en la cantidad de escorrentía superficial y en la capacidad potencial para extraer las partículas del suelo (Michael *et al*, 2003).

La determinación de la textura es una propiedad fundamental para la caracterización del suelo, se emplea el método de tamices o análisis granulométrico, los resultados obtenidos de compra en la Escala Udden-Wentworth (Zagal *et al*, 2007). El procedimiento consiste en pesar una muestra de suelo y pasarla a través de tamices con diferentes números de malla acomodados de tal manera que los tamices de menor número de malla y se somete a agitación. Al finalizar se determina el porcentaje de peso de cada fracción obtenida en los tamices. Se emplea el triángulo de textura del sistema de clasificación de la USDA (United States Department of Agriculture 1975), para identificar el tipo de suelo presente en el sitio que determina la capacidad de migración del contaminante (Franco, 2011).



**Figura 1:** Triángulo de textura del sistema de clasificación de la USDA 1995.

**Fuente:** (Franco, 2011)

A continuación se muestran las características de cada una de las fracciones textuales:

- a) **Arenas:** Son partículas de tamaño grande (2 mm a 5  $\mu\text{m}$ ) y presentan una superficie pequeña de exposición. Sirve como una estructura alrededor de la cual se asocia la parte más activa del suelo.
- b) **Limos:** Las Partículas son de tamaño intermedio (5 a 2  $\mu\text{m}$ ) y tiene poca tendencia a reunirse con otras partículas. Retienen la mayor cantidad de agua disponible para el crecimiento vegetal.
- c) **Arcillas:** Sus partículas son de tamaño pequeño (menos de 2  $\mu\text{m}$ ), ocupan la mayor área superficial. Presentan una plasticidad y adhesividad muy elevadas. Almacén de reservas de agua y nutrientes útiles para las plantas y animales.

### 2.2.2 Humedad

La humedad del suelo puede expresarse gravimétricamente con base en la masa, o volumétricamente con base al volumen. La humedad de un suelo influye en muchas de sus propiedades físicas, tales como la densidad aparente, el espacio aéreo, la compactibilidad, la penetrabilidad, la resistencia al corte, la consistencia, la succión total del agua y el color del suelo; además, influye en algunos procesos químicos y bioquímicos del suelo y en la actividad microbiana, así como en el crecimiento de las plantas. La humedad es muy dinámica pues depende del clima, de las plantas, de la profundidad, de sus características y condiciones físicas (Forsythe, 1985).

Para determinar la humedad en el suelo se utiliza el método AS-05 establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que “Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos estudio muestreo y análisis”. La técnica consiste en la determinación de la cantidad de agua expresada en gramos en una muestra de suelo. Para lograr lo anterior se realiza el peso constante de las capsulas de Níquel con tapas Cuando se obtiene el peso constante, se le agrega la muestra. El resultado obtenido se

calcula mediante la fórmula presentada en la (ver ecuación 1), que permite determinar el porcentaje de humedad de cada muestra.

#### Ec. 1

$$\theta_g = \frac{(PB + Psh) - (PB + Pss)}{(PB + Pss) - PB} \times 100$$

Donde:

$\theta$ = Contenido de humedad gravimétrica expresado en porcentaje.

PB= Peso del bote con tapa antes de colocarlo en la incubadora.

PB + Psh= Peso del suelo húmedo.

PB + Pss= Peso del suelo seco después de dejarlo secando 24 horas.

**Ecuación 1:** Fórmula para calcular el porcentaje de humedad.

**Fuente:** NOM-021-SEMARNAT-2000

### 2.2.3 Potencial de hidrógeno (pH)

La reacción de suelo hace referencia al grado ácido o básico de mismo, y generalmente se expresa por medio de un valor de pH. Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo están influenciadas por la acidez o alcalinidad del medio, que a su vez condicionan su uso agronómico (ver figura 2). Esta propiedad química del suelo tiene una importancia primordial en el desarrollo de las plantas. Del pH también dependen los procesos de humidificación, movilidad y disponibilidad de los nutrientes o los procesos del intercambio iónico (Doria *et al*, 2009).

Para la determinación del pH para conocer las condiciones del suelo. Se establece de acuerdo al método AS-02 establecido en la NOM-021-SEMARNAT-2000. El procedimiento se realiza con del potenciómetro suspensión sobrenadante de una mezcla de relación 1:2.

**Tabla 1: Clasificación del suelo de acuerdo a la escala pH establecido en la NOM-021-SEMARNAT-2000.**

<b>Clasificación del tipo de suelo</b>	<b>Escala de pH</b>
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1-6.5
Neutro	6.6-7.3
Medianamente alcalino	7.4-8.5
Fuertemente alcalino	>8.5

**Fuente:** NOM-021-SEMARNAT-2000.

#### **2.2.4 Capacidad de intercambio catiónico total (CICT)**

La capacidad de intercambio catiónico total (CICT) se define como la capacidad que tienen las arcillas de adsorber y desadsorber cationes que se encuentran disponibles en la solución de suelo (Solís, 2000). Este intercambio se realiza en la superficie de la partícula, donde se encuentran las cargas negativas, los iones que no están adsorbidos por las partículas de arcilla o por las partículas orgánicas se encuentran libres en la solución suelo (Jiménez, 2007).

También la CICT es considerada una expresión del número de sitios de adsorción de cationes por unidad de peso de suelo. Se define como la suma de cationes intercambiables adsorbidos, expresada en centimoles por 100 gr de suelo seco ( $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ ) de acuerdo al método volumétrico del versenato, desarrollado desde el año 1945 por Schollenberger y Simon (Franco, 2011). Se realiza un proceso de lavado se procede a titular con EDTA agregando indicador Negro de Eriocromo T. Se observa el viraje color púrpura a azul. Al finalizar se sustituyen los resultados en las siguientes fórmulas (ver ecuación 2 y 3):

**Ec. 2**

**Fórmulas:**

$$\text{CICT}(\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}) = \frac{(\text{ml de EDTA}) (N) (FC)}{\text{g de suelo}} \times 100$$

**Dónde:**

**EDTA**= ml de Ácido etilendiaminotetraacético.

**N**= Normalidad de EDTA.

**FC**= Factor de corrección del EDTA.

**Ecuación 2:** Fórmula para la determinación de CICT.

**Fuente:** NOM-021-SEMARNAT-2000.

**Ec. 3**

$$FC = \frac{10(\text{ml de cloruro de calcio})}{\text{gasto promedio de EDTA en los blancos}}$$

**Donde:**

**FC**= Factor de corrección.

**Nota:** Para obtener el factor de corrección se titulan con EDTA dos blancos de una solución de cloruro de calcio 0.02N.

**Ecuación 3:** Fórmula para el calcular el FC del EDTA.

**Fuente:** NOM-021-SEMARNAT-2000.

## **2.3 Contaminación de suelos**

El petróleo es un recurso no renovable con apariencia de líquido aceitoso, que se encuentra saturando la porosidad de las rocas. Al igual que el petróleo, el gas son restos de materia orgánica reducida por descomposición a un estado en que el carbono y el hidrógeno son los principales elementos. El petróleo Crudo presenta cuatro formas estructurales en función de la solubilidad en solventes orgánicos: compuestos saturados, aromáticos, asfaltenos y resinas (Rivera *et al*, 2016).

La contaminación de los suelos por derrames o disposición inadecuada de petróleo es un problema ambiental mundial (Chan *et al*, 2015). Los hidrocarburos de petróleo son contaminantes presentes en el suelo cuyos efectos tóxicos han sido documentados desde hace tiempo en diferentes regiones petroleras en el mundo.

Durante el 2015 se recibieron 1562 emergencias ambientales, de las cuales 1331 fueron provocadas por derrames de hidrocarburos y otras sustancias químicas, 45 por exposiciones, 111 por fuga, 74 por incendios en las instalaciones. Como resultado de las emergencias ambientales ocurridas en el 2015, en los casos competencia de la PROFEPA (ver figura 2), se llevó a cabo la creación de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos (ASEA). A partir del 1ro de Marzo 2015 del total de las emergencia presentadas la ASEA atendió 1253 casos y la PROFEPA 309 (PROFEPA, 2015).



**Figura 2.** Número de emergencias notificadas en el 2015 y su distribución por causante.

**Fuente:** (PROFEPA, 2015).

El marco legal ambiental en México, en particular la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, establece que los suelos contaminados con materiales peligrosos deben ser restaurados para que recuperen sus condiciones originales. El 92.6 % de los derrames o fugas de petróleo se acumularon en el suelo debido principalmente a fugas de ductos (PROFEPA, 2015).

### 2.3.1 Remediación de suelos

La normatividad vigente en México la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 establece que los suelos que contienen hidrocarburos del petróleo al ser rebasados los límites máximos permisibles, obliga a que estos contaminantes sean retirados usando diversas tecnologías para reducir o controlar la contaminación o deterioro ambiental (LEGEEPA, 2016).

La exploración de yacimientos de hidrocarburos en México ha sido desde finales del siglo pasado, realizando perforaciones exploratorias para conocer característica de los yacimientos y si existe la posibilidad de extraer hidrocarburos. La perforación de pozos exploratorios ha provocado, en algunas ocasiones, derrames que causan contaminación de suelos por hidrocarburos, los cuales se clasifican como residuos peligrosos que deben de recibir tratamiento y evitar los efectos negativos al medio ambiente. Estos sitios han sido definidos por las autoridades competentes como pasivos ambientales. A partir de 2010 se incluyen en el Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (CONACYT, 2016).

Las técnicas de saneamiento o remediación de suelos contaminados se pueden dividir en: biológicas, fisicoquímicas y térmicas, varias de ellas se pueden aplicar in situ o ex situ para remediar suelos contaminados con petróleo crudo sus derivados (gasolina, diésel, turbosina, keroseno, combustóleo, creosota, u otros).

La selección de una tecnología de remediación básicamente depende de los siguientes factores: características fisicoquímicas del contaminante, tipo de suelo y propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo, condiciones ambientales del sitio impactado, tiempo de tratamiento y costo (Leyva, 2006).

- a) **Biológicas:** Sistemas que utilizan organismos vivos (plantas, hongos, bacterias, etc.) para degradar, transformar o remover compuestos orgánicos tóxicos a productos metabólicos inocuos o menos tóxicos. Esta estrategia depende de las actividades catabólicas de los organismos, y por

consiguiente de su capacidad para utilizar los contaminantes como fuente de alimento y energía.

- b) **Fisicoquímicas:** Aprovechan las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del medio contaminado para destruir, separar o contener la contaminación. Son efectivas en cuanto a su costo y puede concluirse en periodos cortos, en comparación con la técnica de biorremediación. Esta técnica incluye tres estrategias básicas de acción sobre el contaminante que son: destrucción, separación e inmovilización.

Entre las tecnologías fisicoquímicas se encuentran:

- a) **La remediación electrocinética:** Tecnología que aprovecha las propiedades conductivas del suelo, su objetivo es separar y extraer contaminantes orgánicos e inorgánicos.
- b) **Lavado de suelos:** Es la separación de contaminantes orgánicos e inorgánicos del suelo por medio de un líquido de extracción. Los contaminantes sorbidos en las partículas finas del suelo son removidos usando soluciones acuosas en un suelo excavado, reduciendo el volumen del suelo contaminado ya que las partículas finas son extraídas del resto del suelo. Se ha utilizado para suelos contaminados por hidrocarburos, pesticidas y metales pesados.
- c) **Extracción de vapores:** Es una tecnología en la que se aplica un vacío al suelo para inducir un flujo controlado y continuo de aire, removiendo contaminantes volátiles y semivolátiles del suelo.
- d) **Solidificación/estabilización:** Es un proceso en el cual el suelo contaminado se mezcla con aditivos para inmovilizar los contaminantes, disminuyendo o eliminando la lixiviación.
- e) **Térmicas:** Los procesos térmicos incluyen la destrucción, separación e inmovilización de contaminantes. Utilizan la temperatura para incrementar la volatilidad (separación), quemado, descomposición (destrucción) o fundición de los contaminantes (inmovilización).

### 2.3.2 Técnica lavado

El lavado de suelo es una técnica fisicoquímica que consiste en el uso de agua combinada con otros aditivos químicos que, junto con un proceso químico mecánico, logra depurar los contaminantes del suelo. La técnica consiste en separar las partículas finas de las gruesas mediante ciclos de lavado con el fin de minimizar la cantidad de tierra afectada por la contaminación. Una vez aplicado el proceso de lavado del suelo la tierra remanente, que debe estar limpia si el proceso fue exitoso, esta puede ser usada como relleno. Es importante mencionar que entre mayor porcentaje de partículas gruesas se tengan en la muestra de suelo, más eficaz es el tratamiento (Martínez, 2010).

Este método se utiliza principalmente para eliminar contaminantes como metales, derivados del petróleo y plaguicidas. Sin embargo, la naturaleza hidrofobia de los hidrocarburos hace que estos compuestos sean poco accesibles y se adhieran fuertemente a las moléculas del suelo o sedimentos en ambientes acuáticos. Tanto para favorecer la degradación como para facilitar su extracción de los yacimientos, es importante aumentar su movilización y su solubilización en medios acuosos, y para ello se propone el uso de compuestos tensioactivos (surfactantes) (Raiger *et al*, 2009).

El lavado de suelo tiene muchas ventajas en cuanto a la cantidad de materiales utilizados. Sin embargo, el agua de lavado de suelo se lleva toda esta contaminación y por tanto requiere un tratamiento adicional porque, de no ser así, solo se estarían trasladando los contaminaste de un medio a otro sin llegar a su eliminación (Martínez, 2010).

### 2.3.2.1 Determinación de grasas y aceites por el método soxhlet.

La determinación de grasas se realizó con el método de reflujo con equipo Soxhlet propuesto por (Linares, 2006) consistió en extraer los hidrocarburos contenidos en el suelo mediante la acción de un solvente orgánico volátil apropiado, en este caso Diclorometano ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ), que recircula a través de la muestra.

Antes de realizar los procesos de extracción debemos de obtener el peso constante como lo establece la metodología propuesta por la (NMX-AA-134-SCFI-2006). El cálculo para conocer la concentración de Material Extraíble con Diclorometano (MED) en la muestra se realiza con la siguiente ecuación.

**Ec. 4**

**Fórmula:**

$$\text{MED(mg/kg en base húmeda)} = \frac{\text{Wh} \times 1000 \times 1000}{\text{Ws}}$$

**Donde:**

**Wh** = Peso de MED seco ( $W_2 - W_1$ ).

**W<sub>1</sub>** = Peso del matraz tarado.

**W<sub>2</sub>** = Peso del matraz con el MED seco.

**Ws** = Peso de la muestra (suelo) húmeda.

**Ecuación 4:** Fórmula para calcular la concentración del material extraíble.

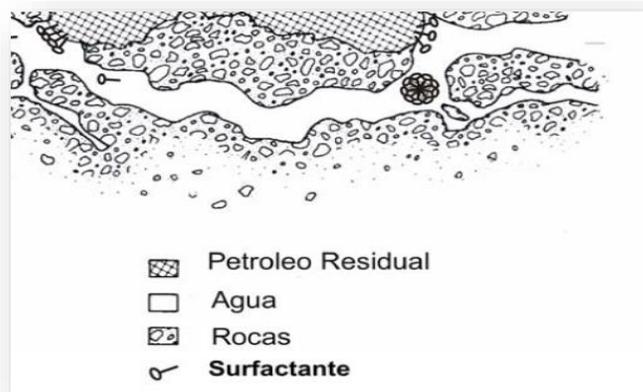
**Fuente:** (NMX-AA-134-SCFI-2006).

## 2.4 Definición de surfactante

Los ingleses utilizan la palabra "surfactante" (agente activo de superficie) para denotar una sustancia que posee una actividad superficial o interfacial. Es necesario hacer resaltar que todos los anfífilos no poseen tal actividad, para que esto suceda es necesario que la molécula posea propiedades relativamente equilibradas, quiere decir, que no sea ni demasiado hidrófila ni demasiado hidrófoba (Salager, 2002).

La palabra "surfactant" no tiene una traducción exacta en español, lengua en la cual se usa el término genérico de "tensoactivo", que se refiere a una actividad o a una acción sobre la tensión superficial o interfacial, es decir sobre la energía libre de gibbs. Los anfífilos tiene muchas otras propiedades y se les califica según las aplicaciones: jabones, detergentes, dispersantes, emulsionantes, espumantes, bactericida, inhibidores de corrosión, antiestático, etc. o dentro de las estructuras de tipo: membrana, microemulsión, cristal líquido, liposomas o gel (Salager, 2002).

La penetración de los hidrocarburos en el suelo es un proceso complejo que depende de factores tanto físicos, químicos como biológicos. Una forma de aumentar la biodisponibilidad es lograr que estos contaminantes pasen a una interface acuosa por medio de la desorción de los hidrocarburos de las moléculas del suelo y la solubilización en medio acuoso (Raiger *et al*, 2009).



**Figura 3:** Esquema de suelo reteniendo petróleo. Se observa el efecto de los agentes surfactantes que al disminuir la tensión interfacial liquido-sólido y liquido- liquido permite la movilización y solubilización del hidrocarburo retenido.

**Fuente:** (Raiger *et al*, 2009).

#### 2.4.1 Clasificación de los surfactantes

Desde el punto de vista comercial los surfactantes se clasifican según su aplicación. Sin embargo se observa que muchos surfactantes son susceptibles de ser utilizados en aplicaciones diferentes, lo que provoca confusiones. Por tanto, se prefiere, clasificarlos de acuerdo a la estructura de su molécula, o más exactamente según la forma de disociación en el agua (Salager, 2002).

- a) **Surfactantes aniónicos:** Se disocian en un anión anfífilo y un catión, el cual es en general un metal alcalino o un amonio cuaternario. A este tipo pertenecen los detergentes sintéticos como los alquil benceno sulfonatos, los jabones (sales de sodio de ácidos grasos), los agentes espumantes como el lauril sulfato, los humectantes del tipo sulfosuccinato, los dispersantes del tipo lignosulfonatos, etc. La producción de los surfactantes aniónicos representa alrededor del 55% de los surfactantes producidos anualmente en el mundo.
- b) **Surfactantes no iónicos:** Están en el segundo rango por orden de importancia con un poco menos del 40% del total. En solución acuosa no se ionizan, puesto que ellos poseen grupos hidrófilos del tipo alcohol, fenol, éter o amida. Una alta proporción de estos surfactantes pueden tornarse relativamente hidrofílicos gracias a la presencia de una cadena poliéter del tipopolióxido de etileno. El grupo hidrófobo es generalmente un radical alquilo o alquil benceno y a veces una estructura de origen natural como un ácido graso, sobre todo cuando se requiere una baja toxicidad.
- c) **Surfactantes catiónicos:** Se disocian en solución acuosa en un catión orgánico anfífilo y un anión generalmente del tipo halogenuro. La gran mayoría de estos surfactantes son compuestos nitrogenados del tipo sal de amina grasa o de amonio cuaternario. Esta última propiedad hace que sean excelentes agentes antiestáticos, hidrofobantes, así como inhibidores de corrosión, y puedan ser utilizados tanto en productos industriales como para uso doméstico (Salager, 2002).

La combinación dentro de una misma molécula de dos caracteres: aniónico y catiónico producen un surfactante llamado anfótero, como por ejemplo los aminoácidos, las betaínas o los fosfolípidos; ciertos anfóteros son insensibles al pH, otros son de tipo catiónico a pH ácido y de tipo aniónico a pH alto. Los anfóteros son en general tan caros como los catiónicos y por esta razón su utilización se reduce a aplicaciones particulares.

Los surfactantes poliméricos; estos son producidos asociando estructuras polimerizadas de tipo hidrofílicos o lipofílico, en forma de bloques o de injertos. Ciertos de estos surfactantes son indispensables en procesos donde están involucrados macromoléculas naturales como en la deshidratación de petróleo.

## **2.5 Bioensayos toxicológicos**

En términos generales, un bioensayo de toxicidad es una prueba para establecer la naturaleza y la magnitud del efecto que producirá un agente dado cuando los organismos o sistemas biológicos son expuestos a él (INECC, 2007).

En los bioensayos de toxicidad aguda con semillas se evalúan los efectos adversos de un compuesto puro o de una mezcla compleja en el proceso de germinación y en el desarrollo de las plántulas durante los primeros días de crecimiento. Como respuesta se determina la inhibición en la germinación y de la elongación de la radícula y del hipocotilo.

Es importante destacar que durante la germinación y los primeros días de desarrollo de la plántula ocurren numerosos procesos fisiológicos en los que la presencia de una sustancia toxica puede interferir, alterando la supervivencia y desarrollo normal de las plántulas.

Una de las etapas más importantes del desarrollo de una planta es la germinación de las semillas y la emergencia del primer cotiledón. En la germinación ocurren cuatro procesos: la imbibición o toma física de agua, la formación de los sistemas enzimáticos e inicio de la síntesis de proteínas y de RNA, la emergencia de la radícula y la iniciación del crecimiento. La activación de la semilla es inhibida ante la presencia de compuestos tóxicos, afectando la germinación de la misma. La división celular de los meristemos radiculares puede afectarse, retardando el proceso de mitosis o alterando el proceso de alargamiento radicular, por lo que la fitotoxicidad de un compuesto puede ser determinada a través de la medición de este parámetro (Uribe, 2008).

## 2.6 Técnica de compostaje

El composteo es un proceso biológico mediante el cual es posible convertir residuos orgánicos en materia orgánica estable (composta madura), gracias a la acción de diversos microorganismos. Las aplicaciones más comunes incluyen el tratamiento de residuos agrícolas, de desechos de jardinería y cocina, de residuos sólidos municipales y de lodos. Sin embargo, desde hace unos cinco años, investigaciones en laboratorio, piloto y a gran escala, han demostrado que el proceso de compostaje; así como el uso de composta madura, es una solución de bajo costo y tecnológicamente efectiva para remediar suelos contaminados por residuos orgánicos peligrosos como los HTP, solventes, explosivos, pesticidas e HAP (Semple *et al.* 2001).

Los principios básicos del compostaje de residuos peligrosos o contaminantes orgánicos son los mismos que para el composteo de desechos no peligrosos. En ambos casos, es necesario optimizar cinco parámetros: la aireación, la temperatura, el contenido de humedad, la relación carbono/nitrógeno (C/N) y el pH. Debido a que los contaminantes orgánicos comúnmente no se encuentran en concentraciones suficientes para soportar un proceso de compostaje, el material contaminado debe mezclarse con sustancias orgánicas sólidas biodegradables como aserrín, paja, bagazo, estiércol, composta madura y desechos agrícolas.

Estos materiales son conocidos como agentes de volumen y se utilizan en el proceso con tres finalidades básicas:

- 1) Asegurar la generación del calor necesario para el proceso.
- 2) Mejorar el balance y disponibilidad de nutrientes (C/N) para la actividad microbiana.
- 3) Aumentar la porosidad de la composta y con esto la aireación y capacidad de retención de agua.

Las estrategias de biorremediación por composteo se basan en la adición y mezclado de los componentes primarios de una composta (agentes de volumen) con el suelo contaminado, de manera que conforme la composta

madura, los contaminantes son degradados por la microflora activa dentro de la mezcla.

En la práctica, y en general, una de las tecnologías de composteo más utilizada para el tratamiento de extensas áreas de suelos contaminados, principalmente por HTP, se lleva a cabo en condiciones aerobias y se conoce como biopilas, bioceldas o pilas de composteo (Arguelles, 2014).

## **2.7 Especie de estudio frijol (*Phaseolus Vulgaris L.*)**

El frijol es una semilla comestible del grupo de las leguminosas de suma importancia, se encuentra distribuido en los cinco continentes principalmente en Centroamérica y Sudáfrica. México se ha considerado como el centro primario de su origen y diversificación.

El cultivo de frijol se considera uno de los más antiguos 5000 años antes de Cristo, ha recibido diferentes tipos de nombres como poroto, alubia, judía, nuña, habichuela entre otros fue entonces que hace medio siglo se estableció una taxonomía. El frijol corresponde a la especie del género *Phaseolus*, su nombre original es *Phaseolus vulgaris L.* asignada por Linneo en 1753 (Ulloa *et al*, 2011).

Es un cultivo tradicional que forma parte de la dieta básica. En general es un cultivo manejado con baja tecnología, por lo que los rendimientos normalmente son bajos entre 14 y 16 quintales por hectárea. Se cultiva en dos periodos de siembra una es al inicio del invierno en el mes de mayo y el segundo en octubre y noviembre acompañado de la rotación del maíz.

En general es un cultivo que se puede sembrar todo el año si se tiene riego, evitando la cosecha durante los meses más lluviosos. Con el uso de prácticas básicas de producción, se pueden elevar los rendimientos a niveles entre 57 a 75 quintales por hectárea, haciendo de éste un cultivo rentable y no de subsistencia, como normalmente se considera. Lo importante de estos materiales es su tolerancia a enfermedades bacterianas y virus.

### 2.7.1 Morfología

La morfología del frijol (*Phaseolus vulgaris L*) estudia los componentes de cada órgano, ya sea visible o en una escala; este facilita la comprensión de la planta en una totalidad. El orden del estudio es el siguiente:

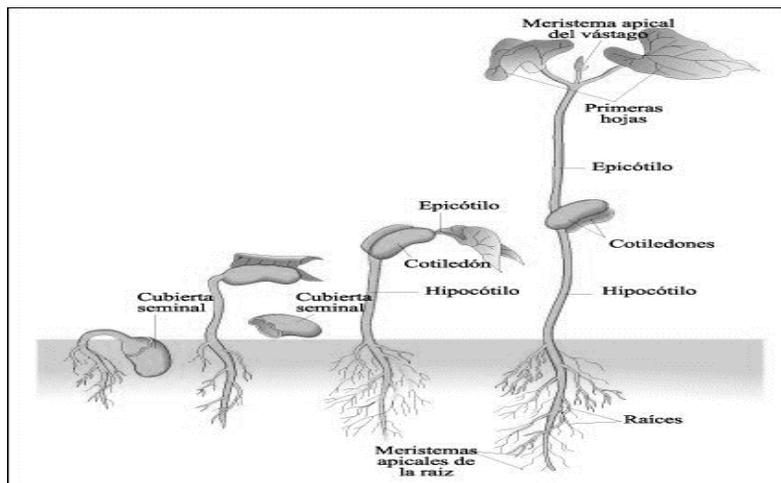
- a) **Raíz:** Está formada por la radícula del embrión convirtiéndose en la raíz principal, al pasar los días se forman las raíces secundarias que parten de la raíz principal.
- b) **Tallo:** Eje central de la planta que está formado por una sucesión de nudos y entrenudos, se forma del meristemo apical del embrión de la semilla.
- c) **Hoja:** Son 2 tipos simple y compuestas, las simples son las hojas primarias y aparecen en el segundo nudo del tallo y se forma de la semilla; las compuestas son las hojas típicas laterales del frijol asimétricas y acuminadas.
- d) **Flor:** Son flores papilionáceas su proceso de desarrollo es de dos estados; el botón y la flor completamente abierta, se origina en la intersección de un racimo.
- e) **Fruto:** Es una vaina con dos valvas que proviene del ovario comprimido, esta especie se clasifica como leguminosa.
- f) **Semilla:** Son nutritivas, se originan del ovulo compilotropo es de forma cilíndrica, esférica u otras.

Fuente: (Daniel *et al*, 2000).

## 2.7.2 Requerimientos del cultivo

Este cultivo se adapta a una diversidad de suelos y climas, aunque prefiere suelos sueltos y climas moderadamente fríos con temperaturas entre 16o y 25°C. Su periodo vegetativo varía entre los 90 y 120 días. La preparación del suelo debe hacerse a una profundidad mínima de 30 cm y Primero, se debe arar y luego rastrear hasta dejar el suelo al mullido deseado, pero no hecho polvo porque se destruye la estructura del mismo.

La semilla de frijol se debe tratar con insecticida contra plagas del suelo el mismo día que se va a sembrar. La distancia de siembra óptima para frijol es de 40 a 45 cm entre surcos. Sin embargo, esto se debe modificar para adaptarlo al sistema de riego por goteo o de goteo con camas.



**Figura 4 :** Germinación de un frijol (*Phaseolus Vulgaris L.*).

**Fuente:** Google imágenes 2017.

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1 Delimitación del área de estudio

El municipio de Cárdenas, Tabasco se encuentra ubicado entre los paralelos 18°16'48" de latitud norte y los meridianos 93°12'06" de longitud oeste. Cárdenas pertenece a la subregión Chontalpa. El sitio de estudio se localizó en el Ejido "Ley de la Reforma agraria", Cárdenas; Tabasco (ver figura 6). Se realizó un muestreo de identificación de la zona para delimitar el área correspondiente. Se delimitó el área de estudio mediante el uso de un sistema de información geográfica, con ayuda de equipo de GPS marca GARMIN OREGON 630 se establecieron las coordenadas de los puntos de muestreo, así como el perimetral y la extensión superficial del derrame de hidrocarburos presente.



**Figura 5:** Ubicación aérea del sitio de estudio.  
**Fuente:** Google Maps. 2018/ INEGI 2018

### 3.2 Plan de muestreo

El muestreo se realizó de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-132-AA-2006, “Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides y manejo de la muestra” y la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012. Donde se establecen los “Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación”.

Las muestras fueron recolectadas en una extensión de 348 m<sup>2</sup>(metros cuadrados). El área y los puntos de muestreo se geo posicionaron con la ayuda de un equipo GPS marca Garmin, modelo Oregón 360. Se realizó un muestreo dirigido debido a la evidente afectación en el sitio, estableciéndose 4 puntos específicos para la toma de muestras, en cada uno se tomó una muestra simple de 27 kg.

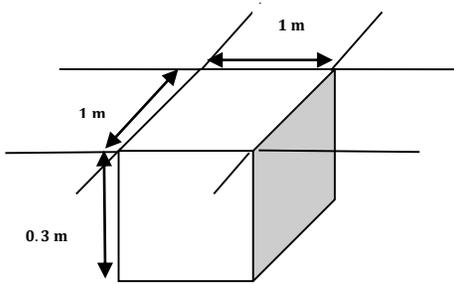
**Tabla 2: Coordenadas del sitio de muestreo (Cárdenas, Tabasco).**

Coordenadas del sitio de muestreo (UTM)			
No. de Muestra	Norte	Oeste	Altura(m)
1	409410	2010279	-88
2	409415	2010256	-88
3	409439	2010269	-88
4	409426	2010285	-87



**Figura 6: Ubicación satelital de los puntos de muestreo.**  
**Fuente: Google Earth 2018.**

Se realizó un muestreo de detalle, que consiste en establecer cuadrantes de  $1\text{m}^2$ , se obtuvo una muestra compuesta a partir de cuatro muestras simples tomadas a una profundidad de 30 cm, estas fueron envasadas y etiquetadas de acuerdo a las especificaciones señaladas en dicha norma para su posterior traslado.



**Figura 7:** Dimensiones del muestreo.



**Figura 8:** Cantidad de muestras simples.

Fuente: Google Earth 2018.

Las muestras fueron guardadas en bolsas de polietileno de 4 kg y puestas en neveras con hielo a una temperatura de  $4^{\circ}\text{C}$ , para su conservación y traslado. Estas se homogeneizaron para obtener una muestra compuesta con un peso total de 108 kg, Fueron divididas en 12 muestras con 3 réplicas de 3 kg cada una, las cuales se depositaron en bolsas de polietileno de 4 kg y fueron etiquetadas para su correcta identificación.

El secado de las muestras se realizó a temperatura ambiente durante 72 horas bajo sombra, transcurrido el tiempo se tamizaron las muestras (excepto la muestra para la determinación de textura) en un tamiz #10 con apertura de malla de 0.0787 in, para la eliminación de piedras y/o materia vegetal presente en ellas.

### 3.3 Caracterización de la muestra

#### 3.3.1 Determinación de textura

Para realizar esta prueba se empleó el método de tamices o análisis granulométrico con la finalidad de determinar la textura del suelo por medio del método desarrollado por Wentworth (Franco, 2011).

Se pesó 100 g de muestra de suelo, posteriormente se tamizó la muestra a través de diferentes números de mallas, #20 (0.0331 in), #30 (0.0232 in) y #40 (0.0165 in), ubicados de manera que el número de tamices fuera descendente para lograr que las partículas más gruesas quedaran en la parte superior y las finas en el inferior, una vez colocada la muestra de suelo en los tamices se sometió a agitación constante empleando un Rotor R-06 por un lapso de 10 minutos (ver figura 10). Al finalizar se determinó el peso de cada fracción obtenida en los tamices.



**Figura 9:** Determinación de textura (pesaje, tamizado y separación de fracciones).

#### 3.3.2 Determinación de humedad

Para la determinación de este parámetro se usó como base el método AS-05. Se colocan las capsulas de Níquel con tapas en el horno marca RIOSSA a una temperatura de 105°C durante 24 horas para luego tomar el primer pesaje, y se procedió a realizar el peso constante, se considera peso constante cuando entre dos pesadas consecutivas hay una diferencia de peso de 0.01gr.

Al obtener el peso constante se agregó 40 g de muestra de suelo en cada una de las capsulas de Níquel y se colocan de nuevo en el horno por

aproximadamente 12 horas, repitiendo el procedimiento para cada una de las muestras (ver figura 11).



**Figura 10:** Determinación de humedad (pesado y peso constante).

### 3.3.3 Determinación de pH

Para la determinación del pH para conocer las condiciones del suelo. Se estableció de acuerdo al método AS-02. El procedimiento se realizó con del potenciómetro marca HANNA modelo HI99161 en una suspensión sobrenadante de una mezcla de relación 1: 2.

Se pesan 10 gr de muestra de suelo previamente seco y tamizado y se colocó en un vaso de precipitado 250ml, posteriormente se añadió 20 ml agua destilada y se agitó durante 30 min con intervalos de 5 min de agitación y 5 min de reposo. Antes de realizar la medición del pH, este se calibra el instrumento acuerdo al proveedor. Transcurrido el tiempo de reposo se agitó nuevamente y se procedió a la lectura del pH del suelo, registrando los resultados.



**Figura 11:** Determinación de pH (medición de la muestra).

### 3.3.4 Determinación capacidad de Intercambio catiónico total

Para determinar la CICT presente en la zona de muestreo se realizó un lavado de suelo, donde, se pesaron 5 g de muestra los cuales se depositaron en un embudo de cristal con papel filtro, este se colocó sobre un matraz Erlenmeyer de 500 ml y se le adicionaron 50 ml de solución de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ), agregando 50 ml de alcohol etílico ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ) y 50 ml de solución de cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ), posteriormente se agregaron 10 ml de solución buffer  $\text{pH}$  10.0, 5 gotas de solución de cianuro de potasio ( $\text{KCN}$ ), 5 gotas de clorhidrato de hidroxilamina ( $\text{NH}_2\text{OHHCl}$ ).

Al finalizar el proceso de lavado se procedió a titular con 30 gotas de solución indicadora de Negro de Eriocromo T, en el cual se observa un cambio de color a un tono purpura. Después se tituló con una solución de EDTA (Ácido etilendiaminotetraacético) versenato hasta lograr un viraje de color purpura a azul.



**Figura 12:** Determinación del Intercambio Catiónico Total (Titulación de la muestra).

### 3.4 Diseño experimental para la evaluación de tres diferentes surfactantes.

El experimento consiste en un diseño factorial 3x4 en el cual se establecen 12 muestras con 3 réplicas, empleando la técnica de lavado del suelo (Soil washing/flushing). Esta se realiza con cada uno de los tres surfactantes y sus respectivas réplicas. Las variaciones se establecieron de acuerdo a las siguientes proporciones: 20/80%, 30/70%, 40/60%, 50/50% de Surfactantes/Agua, respectivamente (ver tabla 3).

Una vez realizados los lavados el lixiviado se almacena para su posterior tratamiento. Y se determinó la concentración del hidrocarburo antes y después de cada uno de los lavados para obtener el porcentaje de remoción mediante el método extracción Soxhlet por el Método 3540 A (EPA, 1996), empleado para la extracción de grasas y aceites.

**Tabla 3: Diseño experimental para el lavado a diferentes proporciones.**

Surfactantes líquidos domésticos									
Concentración	*S1			*S2			*S3		
	*R1	*R2	*R3	*R1	*R2	*R3	*R1	*R2	*R3
20/80%	1	5	9	13	17	21	25	29	33
30/70%	2	6	10	14	18	22	26	30	34
40/60%	3	7	11	15	19	23	27	31	35
50/50%	4	8	12	16	20	24	28	32	36

\*S1=Surfactantes Axió limón, S2=Surfactante Salvo limón, S3= Surfactante Roma.

\* R1= Replica 1, R2= Replica 2, R3 = Replica 3.

### 3.5 Técnica de lavado de suelo

Para esta técnica se pesaron 2.5 kg por muestra de suelo colocada en una bandeja de plástico de aproximadamente 15 cm de profundidad. Posteriormente se le agregó la proporción correspondiente de surfactante/agua respectivamente (20/80%, 30/70%, 40/60% y 50/50%). Ambas sustancias se fueron añadiendo en el recipiente para su integración con el suelo, para mejorar la homogenización de cada uno de ellos se precedió a agitar de manera constante durante 15 min y se estableció un tiempo 15 min para el reposo de los componentes. Transcurrido el tiempo de reposo, el contenido se vertió en un tamiz de acero inoxidable de #10 con apertura de malla de 0.0787 in de la marca Tyler, con la finalidad de eliminar el lixiviado y dar paso al proceso de enjuague del suelo.

Durante esta primera etapa se permitió que interactuara el surfactante con el agua y la grasa del suelo contaminado para su extracción. Durante este procedimiento se empleó un 1 L de agua que se le adiciono a la muestra, esta se agito nuevamente por 5 min y se procedió a tamizar para retirar nuevamente el lixiviado, Se realizaron en total dos enjuagues cada uno con 1 L de agua respectivamente. Al finalizar la técnica del lavado, el suelo retenido en el tamiz se coloca en papeles estraza con la finalidad de exponerlo a temperatura ambiente para su secado.



**Figura 13:** Técnica de lavado de suelos empleando surfactantes.

### 3.5.1 Determinación de grasas y aceites

La determinación de grasas se realizó con el método de reflujo con equipo Soxhlet propuesto por (Linares, 2006) consistió en extraer los hidrocarburos contenidos en el suelo mediante la acción de un solvente orgánico volátil apropiado, en este caso Diclorometano ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ), que recircula a través de la muestra en aproximadamente 25 veces durante un periodo de 8 horas.

Antes de realizar los procesos de extracción debemos de obtener el peso constante. Esta consiste en colocar un matraz de bola de 250 ml con las perlas de ebullición que se emplearan y es puesto en el horno de secado marca RIOSSA a una temperatura de  $125^\circ\text{C}$  por 2 hrs, se realizan el pesaje correspondiente hasta obtener el peso constante del matraz de bola.

Este procedimiento se realizó por duplicado para cada una de las réplicas debido a que se extrajo la cantidad de grasas y aceites al suelo contaminado, posteriormente se realizó la extracción al suelo que se obtuvo del proceso de lavado con surfactantes. De acuerdo a la metodología establecida (Linares, 2006). Se pesaron 10 gr de muestra de suelo a la cual se le agrego en un vaso de precipitado de 250 ml y posteriormente se le adiciono Sulfato de Sodio Anhídrido ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) en relación 1: 1. Con ayuda de una varilla de vidrio se agito hasta obtener una mezcla homogénea, a continuación se colocó en un cartucho de papel celulosa de 10 cm de largo.

El cartucho se insertó en la cámara de extracción del equipo con la solución antes mencionada, se adicionaron 125 ml de Diclorometano concentrado en el matraz de bola de 250 ml y se ensablo en el equipo Soxhlet para iniciar el calentamiento y mantener el reflujo durante 8 horas. Transcurrido el tiempo de recirculación se desmonto el matraz de bola y fue sometido a un proceso de recuperación del extraíble Diclorometano en un equipo de Rotavapor marca Buchi por un periodo de 10 min por muestra para llevar el material a sequedad y recuperar el extrayente.



**Figura 14:** Método de reflujo tipo Soxhlet para la extracción de grasas y aceites.

### 3.6 Elaboración de la composta

Para elaboración de la composta se llevó a cabo de acuerdo a la metodología sugerida por (Fraire, 2015). Esta consistió en la recolección de 75 kg de diferentes residuos orgánicos: 15 kg de materia negra (cascara de cacao), 15 kg de materia fecal (estiércol de ganado), 15 kg de materia verde (pasto) y 15 kg de materia vegetal (desechos de frutas y verduras) y 15 kg de materia seca (hojarasca de árboles), cada uno de los componentes fueron recolectados de las diferentes fruterías y parcelas del municipio de Comalcalco. Colocadas en costales de 25 kg para su almacenamiento temporal y su traslado, El pesaje de la materia fue con una balanza de gancho. Se determinó un área específica para colocar las camas de compostaje (ver figura 13).

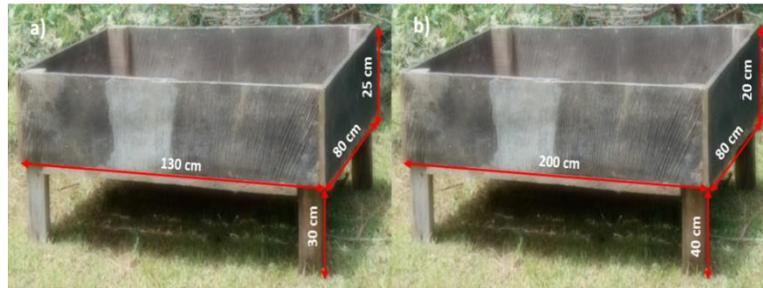
**Tabla 4: Componentes de la composta.**

Componentes de la composta	Peso total (kg)
Materia Vegetal	15
Materia Seca	15
Materia Verde	15
Materia Fecal	15
Materia Negra	15



**Figura 15:** Orden de los componentes empleados en el proceso de compostaje.

Las cajas de compostaje presentaron las siguientes medidas. La caja a) presenta dimensiones de 130 cm x 80 cm x 25 cm considerando una altura de las patas de 30 cm para evitar la presencia de plagas. La caja b) presenta medidas de 200 cm x 80 cm x 20 cm y una altura de 40 cm para las patas (Raiger *et al*, 2009).



**Figura 16:** Dimensiones de las cajas empleadas para el compostaje.

Se cubrieron las cajas con una lona de 6 m de largo y 3 m de ancho, para evitar condiciones climatológicas, así mismo la lona permite que la composta en su interior alcance temperaturas mayores de los 40 °C, permitiendo la eliminación de microorganismos patógenos que pueden estar presentes en la materia fecal. Esta se dejó reposar por una semana a partir del 14 de julio del 2017, posterior a una semana transcurrida se homogenizo y humedeció con aproximadamente 3 L de agua. Este procedimiento se realizó por semana durante 2 meses finalizando el proceso de compostaje el 14 de Septiembre del 2017. Al término se recolecta la composta.



**Figura 17:** Proceso de compostaje.

### 3.7 Bioensayos toxicológicos

#### 3.7.1 Prueba de germinación

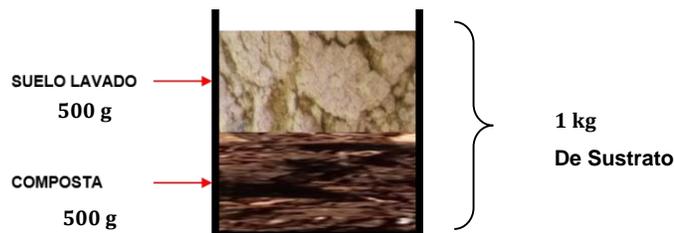
Se realiza la prueba de germinación de acuerdo a la metodología propuesta por García *et al*, (2016). Esta consiste en envolver en un papel tipo estraza 10 series de 10 de semillas de frijol (*Phaseolus Vulgaris L.*) evaluando un total de 100 semillas, cada una de estas fueron colocadas sobre algodón comercial para mantener la humedad. El paquete sellado fue llevado a una incubadora marca RIOSSA E-71 y expuesto a una temperatura de 35° durante 48 horas consecutivas, trascurrido el tiempo se evalúa el porcentaje de germinación contando el número de emergencias presentes en cada serie (García *et al*, 2016).



**Figura 18:** Prueba de germinación.

#### 3.7.2 Elaboración de bioensayos toxicológicos

Durante la elaboración de los bioensayos se pesaron 12 muestras con su 3 respectivas replicas, se pesa 500 gr de suelo que fue sometido a la técnica de lavado con surfactantes, estas fueron colocadas en bolsas de polietileno de 1kg, fueron agregados 500 gr de composta homogenizando haciendo un total de un kilogramos de sustrato por cada bioensayos y 3 bioensayos como blancos.



**Figura 19:** Composición del sustrato en cada uno de los bioensayos.

### 3.7.3 Siembra de frijol (*Phaseolus Vulgaris* L).

Los bioensayos toxicológicos se realizaron en el periodo comprendido a partir del día 11 de Enero al 22 de Febrero del 2018, Se monitorearon un total de 31 días hábiles. La siembra consistió en colocar 3 semillas de frijol en cada bolsa a 1cm de profundidad.

Surfactantes líquidos domésticos									
	*S1			*S2			*S3		
Blanco	B			B			B		
Proporciones	*R1	*R2	*R3	*R1	*R2	*R3	*R1	*R2	*R3
20/80%	1	5	9	13	17	21	25	29	33
30/70%	2	6	10	14	18	22	26	30	34
40/60%	3	7	11	15	19	23	27	31	35
50/50%	4	8	12	16	20	24	28	32	36

\*S1=Surfactantes Axió limón, S2=Surfactante Salvo limón, S3= Surfactante Roma.  
 \* R1= Replica 1, R2= Replica 2, R3 = Replica 3.

**Figura 20:** Distribución de los bioensayos en el invernadero.



**Figura 21:** Invernadero tipo plano.

### 3.7.3.1 Variable de estudio (largo del tallo)

El largo del tallo de las plántulas se midió con un Vernier marca MITUTOYO 150 mm, desde la base del tallo hasta la base del primordio foliar. Las mediciones se realizaron a partir de la primera emergencia que fue a partir del tercer día.



**Figura 22:** Medición de largo de tallo de la planta.

### 3.7.3.2 Determinación de la biomasa total seca

Al término de la fecha establecida de los bioensayos toxicológicos se realizó la determinación de la biomasa total seca de acuerdo a metodología sugerida por (Reyes, 2014), que consiste en extraer las plantas cuidadosamente de los bioensayos, estas fueron colocadas en bolsas de papel estraza etiquetadas y selladas. Se realiza el proceso de secado en un horno marca RIOSSA a una temperatura de 72°C durante 48 horas para eliminar la humedad, al término se obtiene el pesaje total de la materia seca (Reyes, 2014).

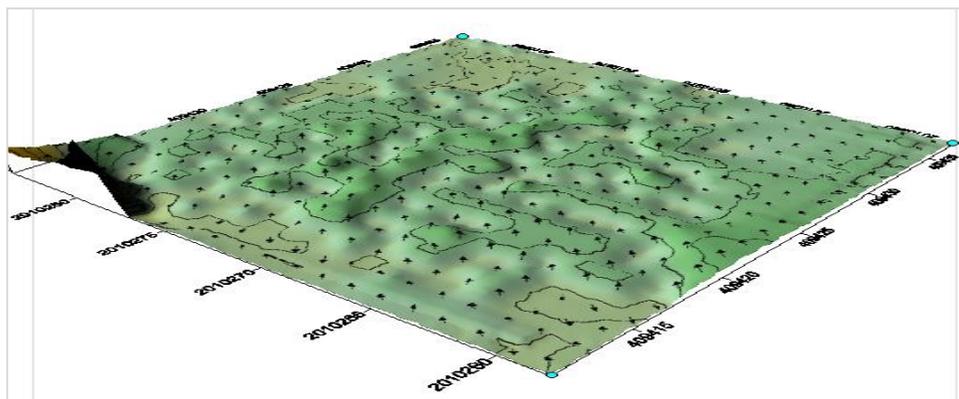


**Figura 23:** Procedimiento para la obtención de la biomasa total.

## CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sitio de estudio se localizó en el municipio de Cárdenas, Tabasco. Se determinó que este pertenece a la subregión Chontalpa, la cual se caracteriza por una vegetación donde predominan los pastizales, acahuales y cultivos agrícolas. En él en el Ejido “Ley de la Reforma Agraria”. Las viviendas se localizan a 5 km de la zona afectada. En sitio se encuentra poca vegetación a 100 m se encuentran un arroyo que presenta afectaciones por el derrame ocurrido en noviembre del 2016, su principal actividad productiva es la ganadería. Se realizó un muestreo de identificación seleccionar sitio para la toma de muestras. Estas fueron colectadas en una extensión de 348 m<sup>2</sup>. El área y los puntos de muestreo se geoposicionaron con la ayuda del equipo GPS marca Garmin, modelo Oregon 360.

Posteriormente se realizó una modelación del sitio con ayuda del Software Surfer 10, para representar las condiciones del terreno y observar si las diferentes profundidades de la zona favorecen la acumulación del contaminante. Se determinó que este cuenta con profundidades similares, esto nos permite considerar que el terreno no presenta un sitio específico de acumulación contaminante. A continuación, se muestra con ayuda de vectores la dispersión del contaminante en el sitio (ver figura 24) este presenta una uniformidad en la dispersión.



**Figura 24:** Modelación del sitio de estudio empleando el Software Surfer 10.

## 4.1 Parámetros fisicoquímicos

El suelo presente es de tipo arcilloso, lo cual genera una gran ventaja para el libre intercambio de nutrientes. Se evaluó el porcentaje de humedad del suelo contaminado presentando un 12.5%, valores considerados en un punto de marchitamiento. Posterior al proceso de lavado con diferentes surfactantes aniónicos los porcentajes varían en un rango de 32.5% a 62.5% de agua por kg de suelo (ver tabla 5). De acuerdo a (Silva, 1988) el porcentaje de agua para un suelo arcilloso bien estructurado presenta un rango de 30 – 50% de agua disponible por kg de suelo.

**Tabla 5: Resultados del porcentaje de humedad.**

Muestra	% de humedad	% de agua por kg
Suelo contaminado	0.5	12.5
Surfactante 1	1.3	32.5
Surfactante 2	1.3	32.5
Surfactante 3	2.5	62.5

El potencial de hidrogeno presente en el sitio contaminado se clasifica como moderadamente ácido. Posterior a la técnica de lavado genera un cambio en las condiciones físicas y químicas de manera favorable (ver tabla 6) cambia a medianamente alcalino, lo cual permite establecer un adecuado funcionamiento, favoreciendo también a un adecuado crecimiento de la flora microbiana.

**Tabla 6: Resultados de pH para cada una de las muestras.**

Muestras	Valor de pH
Suelo contaminado	6.56
Surfactante 1	7.46
Surfactante 2	7.20
Surfactante 3	8.24

De acuerdo a la técnica de (Franco, 2011), clasifica a la capacidad de intercambio catiónico van desde el más bajo a muy alto (ver tabla 8). Los valores resultantes presentan diferentes estimaciones de CICT. El suelo contaminado presenta un valor de  $110 \text{ cmol (+)}/\text{kg}^1$ , lo cual le otorga media capacidad de intercambio de nutrientes. El suelo resultado de la técnica de lavados con diferentes surfactantes aniónicos (ver tabla 8) se encuentran valores entre los 165 –  $221 \text{ cmol (+)}/\text{kg}^1$ .

**Tabla 7: Resultado de Criterios de CICT.**

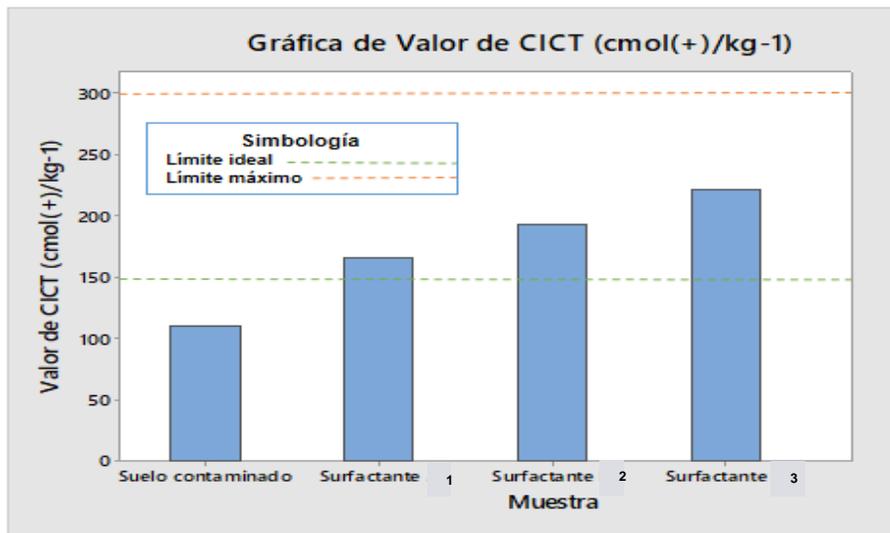
Categoría	Valor CICT $\text{cmol (+)}/\text{kg}^1$
Bajo	< 100
Medio	101-149
Alto	150-299
Muy alto	>300

Fuente: (UNNOBA, 2012).

**Tabla 8: Valores de CICT muestras.**

Muestras	Valor de CICT $\text{cmol (+)}/\text{kg}^1$
Suelo contaminado	110
Surfactante 1	165
Surfactante 2	193
Surfactante 3	221

Las muestras sometidas al tratamiento de lavado presentan un valor CICT alto, comparando los datos obtenido por la Universidad Nacional del Noreste de Buenos Aires (UNNOBA), los valores óptimos para suelos arcillosos tienen un rango de  $100 - 150 \text{ cmol (+)}/\text{kg}^1$ , lo que denota que las muestras tratadas se encuentran dentro de los valores establecidos como altos. Se consideran valores aceptables debido a que no se presentan mayores a los  $300 \text{ cmol (+)}/\text{kg}^1$ . Al encontrarse por encima de este valor puede afectar la disponibilidad de nutrientes (UNNOBA, 2012).



**Grafica 1:** Valores de CICT de las muestras de acuerdo a límite máximo UNNOBA (2012).

El sitio de estudio presenta las siguientes condiciones iniciales, la textura es de tipo arcillosa y cuenta con un pH moderadamente ácido (pH 6.56), y tiene un bajo nivel de CICT ( $110 \text{ cmol (+)}/\text{kg}^1$ ) lo que promueve poca movilidad de los nutrientes; (Perea, 2015)), establece que este tipo de suelos son capaces de absorber grandes cantidades de agua, pero de igual forma cuando se secan pierden volumen. Un suelo arcilloso tiene mayor capacidad de intercambio catiónico con valores de  $100 - 150 \text{ cmol (+)}/\text{kg}^1$ , posterior a la técnica de lavado se obtiene un rango del valor de CICT entre los  $110 - 221 \text{ cmol (+)}/\text{kg}^1$ , lo cual genera un suelo con condiciones adecuadas para el transporte de nutrientes.

## 4.2 Extracción de hidrocarburos

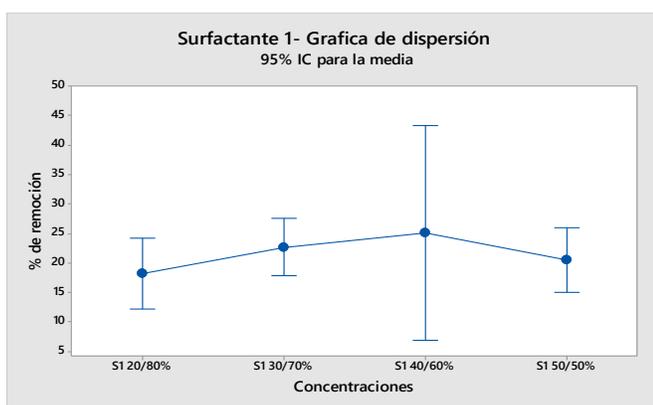
La determinación se realizó a través del método de reflujo con equipo Soxhlet, utilizando Diclorometano ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ) como solvente para el análisis. Dicha extracción se realizó en cada muestra antes y después de la técnica de lavado, para obtener con ello el porcentaje extraíble de grasa de la muestra, los resultados se analizaron a través del análisis de varianza (ANOVA simple) en el software Minitab 17.

### 4.2.1 Surfactante 1 (Axió limón)

El análisis de varianza (ANOVA simple) indica que no existen diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) entre las medias de las concentraciones del surfactante evaluado con un 95% de confianza (ver grafica 2). Aunque el análisis de varianza indica que no hay diferencias significativas entre las concentraciones, en la gráfica 1 se observa una tendencia a que la concentración 40/60% mantiene un porcentaje mayor en la remoción HTP's con una media de 25.02 %. En la tabla 9 se presenta el porcentaje de remoción para cada concentración

**Tabla 9: % de remoción para S1**

Concentraciones	% de Remoción
	15.5
20/80%	20.3
	18.53
	24.75
30/70%	20.91
	22.1
	20.65
40/60%	20.89
	33.52
	23.01
50/50%	19.01
	19.43



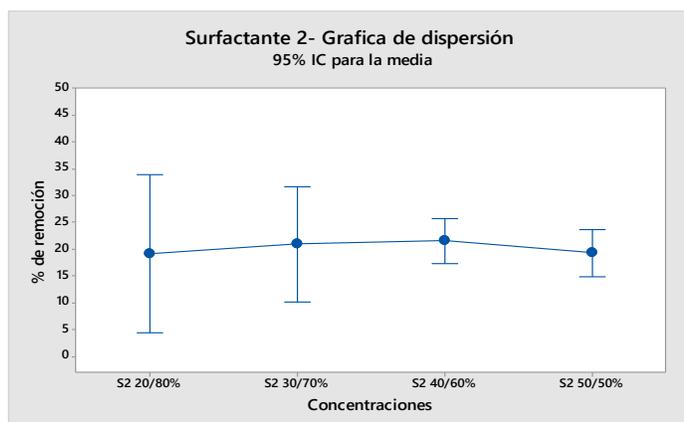
**Grafica 2: Porcentaje de remoción para S1.**

#### 4.2.2 Surfactante 2 (Salvo limón)

El análisis de varianza (ANOVA simple) indica que no existen diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) entre las medias de las concentraciones del surfactante evaluado con un 95% de confianza (ver grafica 3). Aunque el análisis de varianza indica que no hay diferencias significativas entre las concentraciones del surfactante, en la gráfica 2 se observa una tendencia a que la concentración 30/70% mantiene un porcentaje mayor en la remoción HTP's con una media de 20.85 %. En la tabla 10 se presenta el porcentaje de remoción para cada concentración

**Tabla 10: % de remoción para S2.**

Concentraciones	% de remoción
20/80%	13.03
	24.93
	19.26
30/70%	16.63
	20.63
	25.29
40/60%	22.57
	22.31
	19.56
50/50%	17.93
	18.45
	21.28



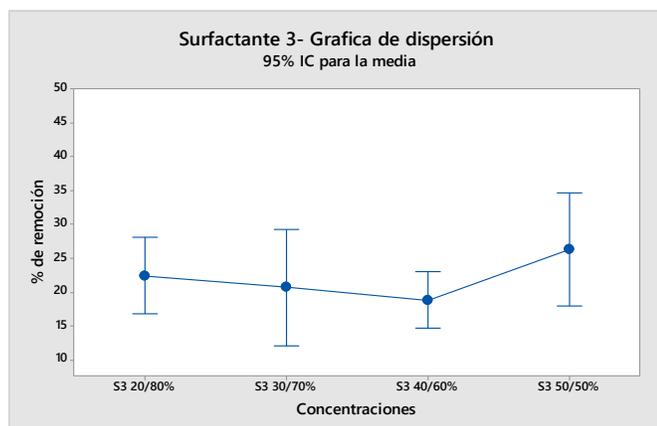
**Grafica 3 : Porcentaje de remoción para S2.**

#### 4.2.3 Surfactante 3 (Roma)

El análisis de varianza (ANOVA simple) indica que no existen diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) entre las medias de las concentraciones del surfactante evaluado con un 95% de confianza (ver grafica 4). Aunque el análisis de varianza indica que no hay diferencias significativas entre las concentraciones de surfactante, se observa una tendencia a que la concentración 50/50% mantiene un porcentaje mayor en la remoción HTP con una media de 26.29%. En la tabla 11 se presenta el porcentaje de remoción para cada concentración.

**Tabla 11: % de remoción para S3.**

Concentraciones	% de remoción
	19.74
20/80%	23.9
	23.43
30/70%	22.76
	22.5
	16.64
40/60%	17
	19.13
	20.29
	28.34
50/50%	22.42
	28.12



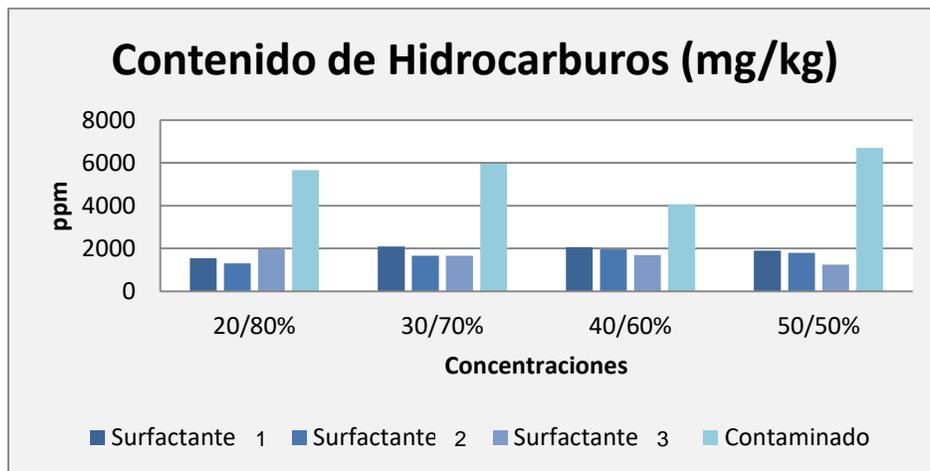
**Grafica 4:** Porcentajes de remoción para S3.

De acuerdo a la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 la cual establece los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos dependiendo a la fracción y la actividad que se realice en el sitio contaminado (ver tabla 12), las muestras de suelo resultantes de la técnica de lavado se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles, por lo que se evidencia que la técnica es una opción viable para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos fracción pesada (ver grafica 5).

**Tabla 12: Límites máximos permisibles para fracciones de hidrocarburos en suelo (NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012).**

Fracción de hidrocarburo	Uso de suelo predominante (mg/kg base seca)		
	Agrícola, forestal, pecuario y de conservación	Residencial y recreativo	Industrial y comercial
<b>Ligera</b>	200	200	500
<b>Media</b>	1200	1200	5000
<b>Pesada</b>	3000	3000	6000

Fuente: (NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012).



**Grafica 5:** Concentración (ppm) máxima posterior al técnica.

El análisis estadístico ANOVA no presenta diferencias significativas, en cuanto a las variaciones de concentración, sin embargo se ve una tendencia favorecedora para las 3 surfactantes en la concentración 50/50 %.

De acuerdo a (Piña, 2012), se observa que la técnica de lavado empleada tiene buenos resultados en suelos con contenidos de HTP's y diésel respectivamente, obteniendo un 48.64% para el agente Marinil y un 49.6% para el agente Sulfopón 30 en la remoción diésel, en comparación con este estudio, el S1 Axió Limón (S1) presento un 24.75%, Salvo Limón (S2) un 25.9% y un 28.34% para el Roma (S3).

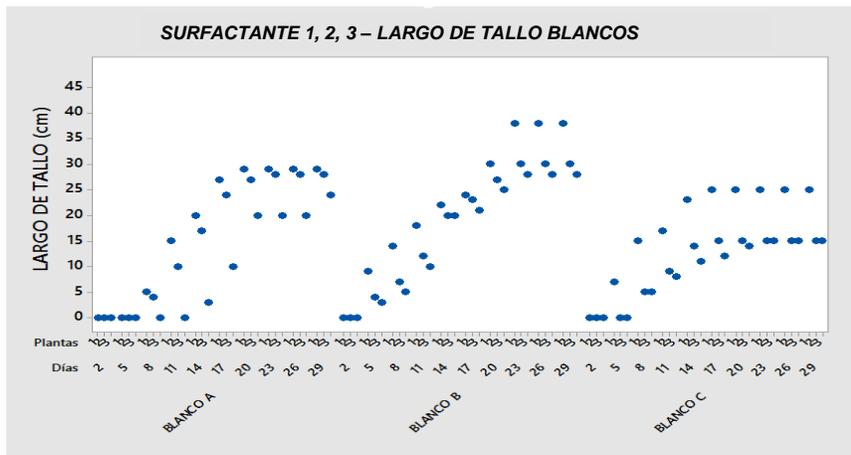
En ambos casos la eficiencia se atribuye a las características de cada surfactantes y al tipo suelo que favorecen la extracción. (Maldonado et al, 2010), Indica que el tipo de suelo con mejor remoción son los que tienen un porcentaje alto de arenas o arcillas. Se considera importante mencionar la necesidad de realizar estudios similares donde se presentes variaciones en el tipo de suelo para conocer el comportamiento de dicha técnica y el porcentaje de remoción que presentado.

### 4.3 Técnica de compostaje

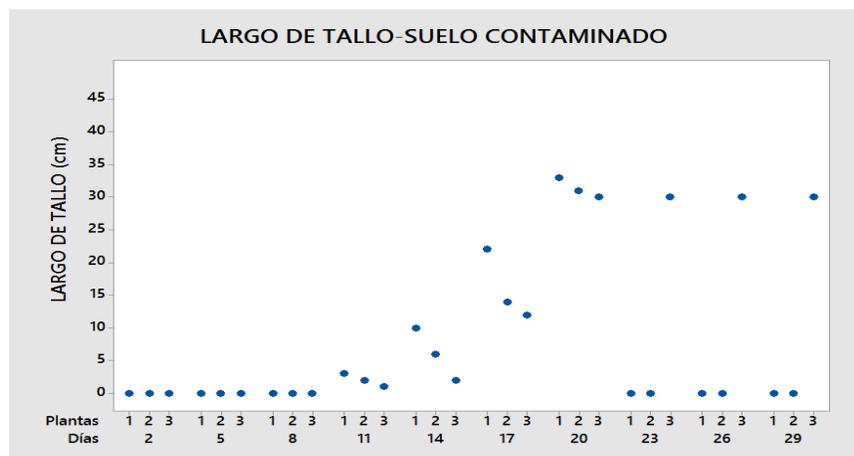
El proceso de degradación de la composta fue de un 12%, obteniendo 66 kg total de composta que fue empleada para la elaboración de los bioensayos. Se obtuvo un 95% de germinación, esto nos permitió identificar el lote de semillas que cumple con las características aceptables para su siembra.

#### 4.3.1 Resultado para blancos y suelo contaminado

En la gráfica 6, se observa que el crecimiento de las plantas control. Para los Surfactantes 2 y 3 fue de un rango de **28cm a 38cm**, mientras tanto en el blanco del surfactante 1 fue de **24cm a 29cm**, la germinación fue de un **100%** así como su sobrevivencia, quedando la mortalidad en **0%**.



**Grafica 6:** Crecimiento de las plantas de frijol (*Phaseolus Vulgaris L.*) blancos.

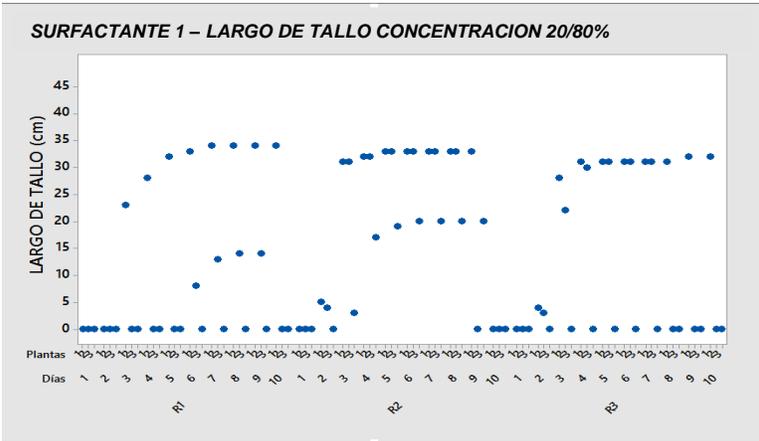


**Grafica 7:** Crecimiento de las plantas control en suelo contaminado.

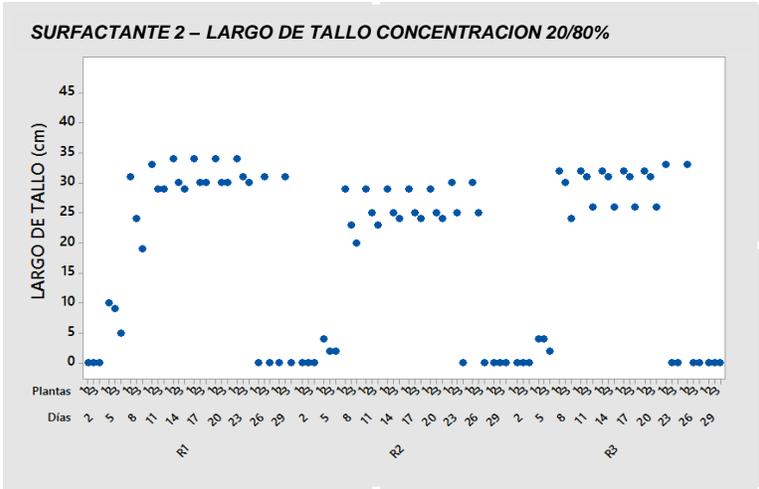
En la gráfica 7 se muestra el crecimiento de la planta en el suelo contaminado sin adición de composta observando un 100% de germinación pero solo un 33% de sobrevivencia, su rango de crecimiento fue de 30cm a 31cm, y en total una mortalidad del 67%.

**4.3.2 Resultado para la concentración 20/80%.**

En el surfactante 1 presenta un 67% de tasa de germinación, al final del monitoreo se obtuvo un 33% de sobrevivencia y un 67% de mortalidad, registrando un rango de altura entre 20 cm y 34 cm (ver grafica 8).

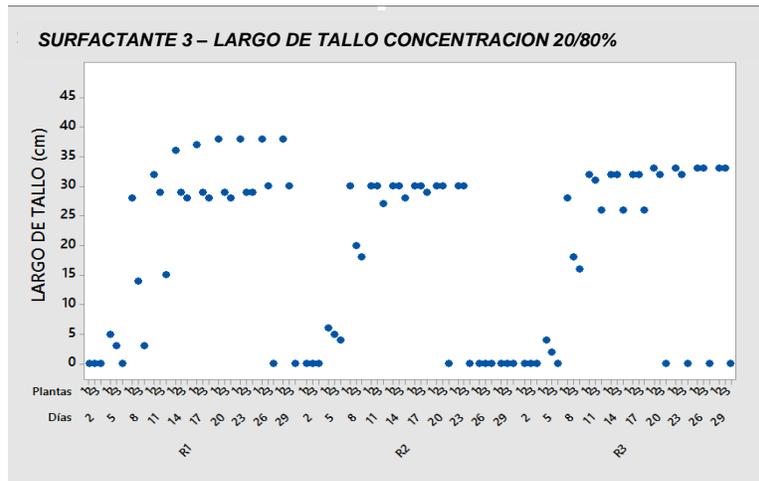


**Grafica 8:** Crecimiento de las plantas para el S1 a concentración de 20/80%.



**Grafica 9:** Crecimiento de las plantas para el S2 a concentración de 20/80%.

En la Grafica 9, se obtiene una tasa de germinación total del 100%, donde la mortalidad es de un 89%, y su sobrevivencia solo de un 11% tomando en cuenta que el rango de crecimiento fue de 24 *cm* a 34 *cm* esto en el Surfactante 2.



**Grafica 10:** Crecimiento de las plantas para el S3 a concentración de 20/80%.

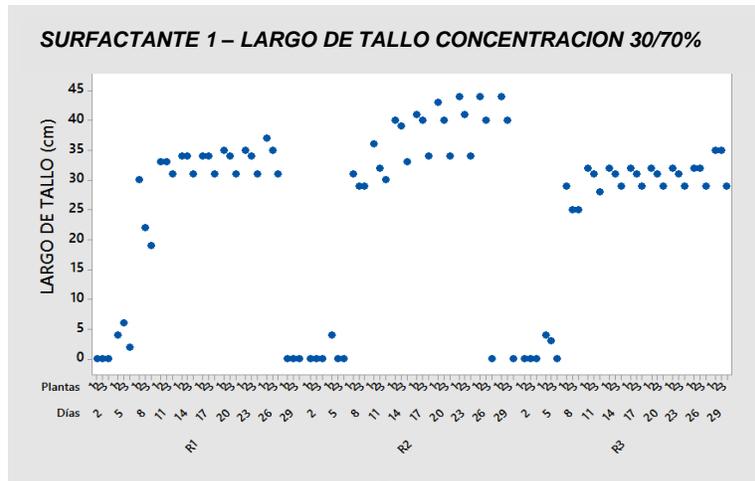
La grafica 10, nos muestra que en el surfactante 3 su tasa de mortalidad es de un 56% donde el 44% es de supervivencia, cuando en un principio se obtuvo un 100% de la taza de germinación, el rango de altura fue entre 26 *cm* y 38 *cm*.

**Tabla 13: Promedio de las variables analizadas para los surfactante 1, 2 y 3 a una concentración 20/80%.**

Variables	Valores
Germinación	89%
Sobrevivencia	29 %
Mortalidad	71%
Rango de crecimiento	23-35 cm

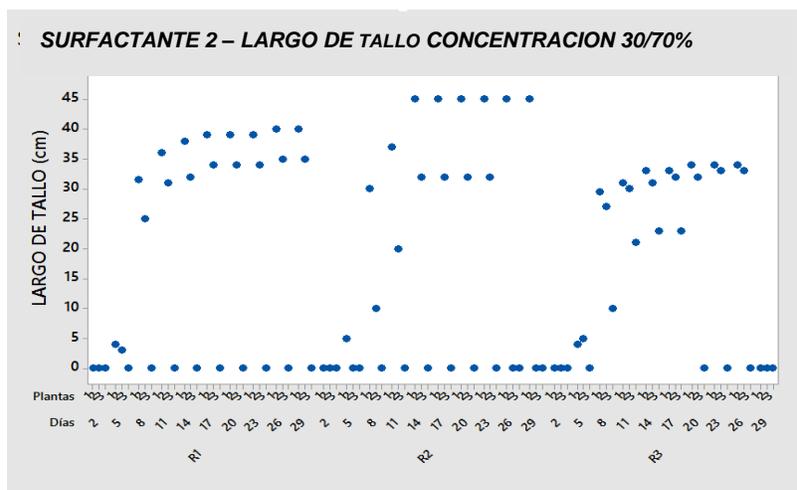
### 4.3.3 Resultado para la concentración 30/70%

En esta concentración en el surfactante 1, la mortalidad fue en un total del 44%, donde en un principio hubo un 100% de tasa de germinación, al finalizar se obtuvo un 56%de sobrevivencia (Ver grafica 11).



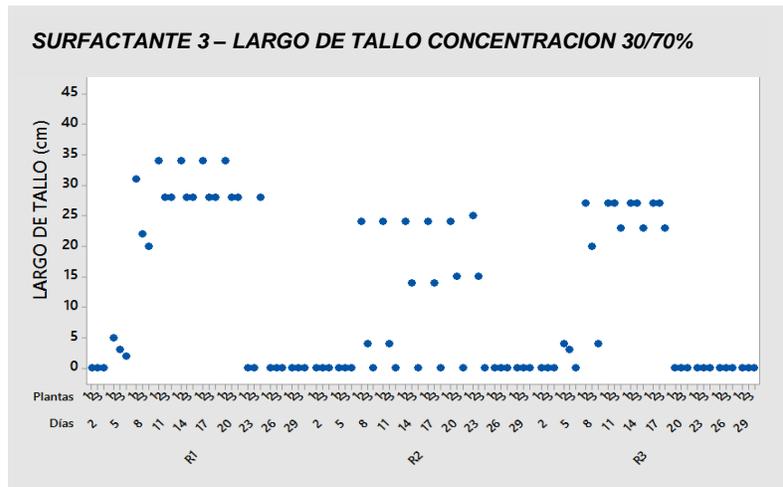
**Grafica 11:** Crecimiento de las plantas para el S1 a concentración de 30/70%.

La tasa de germinación en el surfactante 2, fue de un total del 78%, donde la sobrevivencia fue escasa siendo solo él42%, y la tasa de mortalidad de 58% y su rango de crecimiento entre 23 *cm* y 44 *cm* (Ver grafica 12).



**Grafica 12:** Crecimiento de las plantas para el S2 a concentración de 30/70%.

En la gráfica 13, el rango de altura de las plantas está entre 15 *cm* y 34 *cm*, su germinación total fue de un 89% que al termino de los días de monitoreo se convirtió en una tasa de mortalidad del 100% esto en el surfactante 3.



**Grafica 13:** Crecimiento de las plantas para el S3 a concentración de 30/70%.

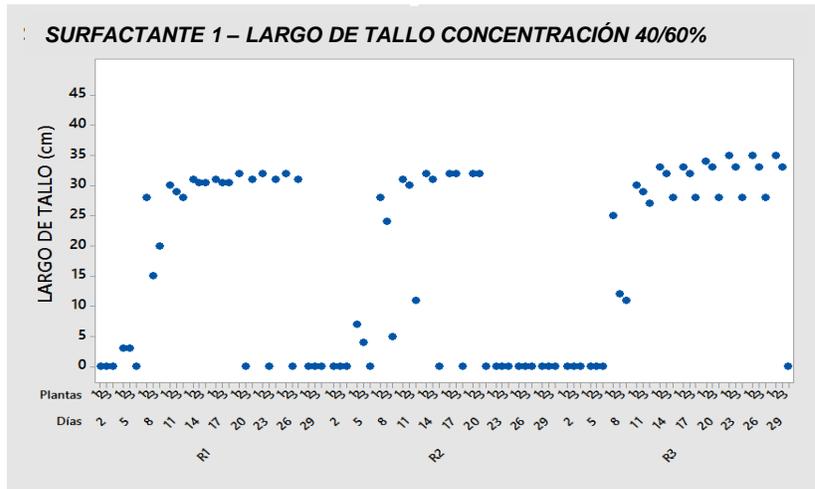
Al realizar un promedio total entre los 3 surfactantes 1, 2 y 3 a concentración 30/70%, se tienen los siguientes resultados:

**Tabla 14: Promedio de las variables analizadas para los surfactante 1, 2 y 3 a una concentración 30/70%.**

Variables	Valores
Germinación	89%
Sobrevivencia	33 %
Mortalidad	67%
Rango de crecimiento	22-41 cm

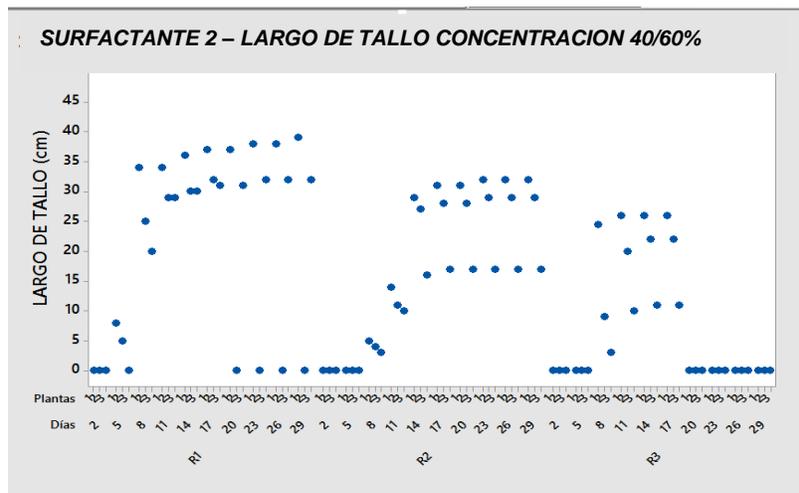
#### 4.3.4 Resultado para la concentración 40/60%

En el surfactante 1, de esta concentración la germinación fue de un total del 100%, donde a través de los días de monitoreo solo quedo el 22% de plantas sobrevivientes, ocupando la tasa de mortalidad un 78%, el rango de crecimiento que se encontró fue de 11 *cm* a 35*cm* (Ver Grafica 14).



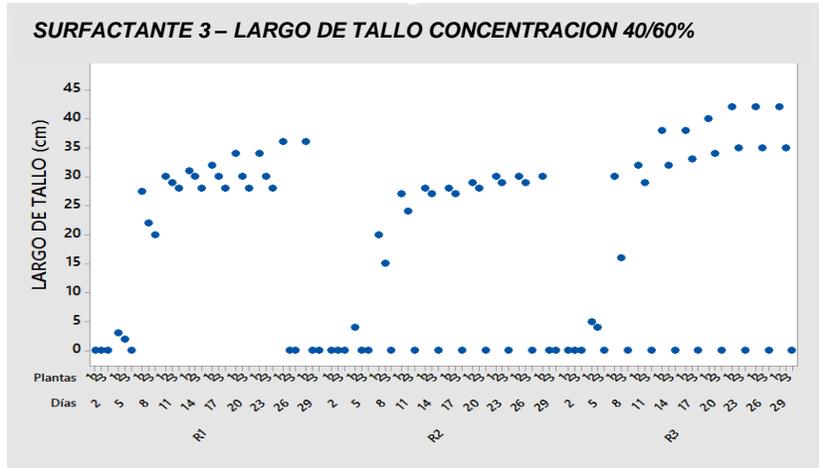
**Grafica 14:** Crecimiento de las plantas para el S1 a concentración de 40/60%.

La germinación que se obtuvo en el surfactante 2 fue de igual manera que en el anterior del 100%, solo que en este la tasa de sobrevivencia fue del 56% teniendo un 44% de tasa de mortalidad, el rango de la altura de la planta fue entre 11cm a 39cm (Ver grafica 15).



**Grafica 15:** Crecimiento de las plantas para el S2 a concentración de 40/60%.

En el caso del surfactante 3 la tasa de germinación fue del 78% y su mortalidad del 43% teniendo un total de solo el 57% de sobrevivencia de las plantas, su rango de crecimiento estuvo entre los 29 cm y 36 cm (ver grafica 16).



**Grafica 16:** Crecimiento de las plantas para el S3 a concentración de 40/60%.

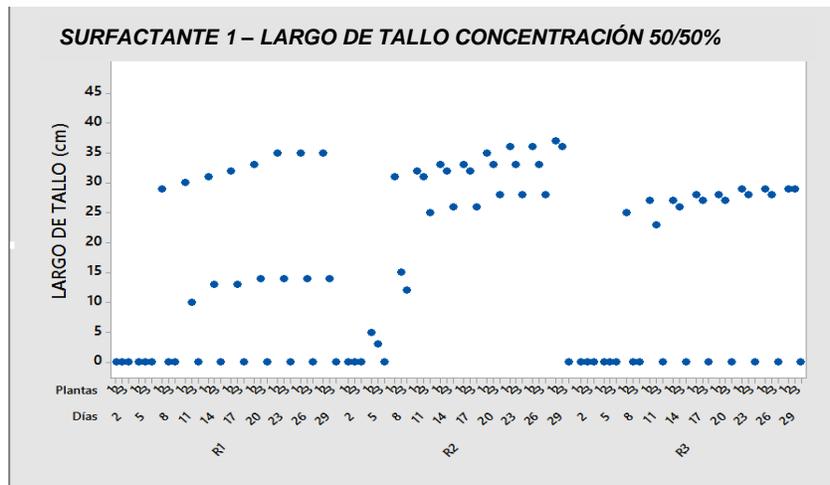
Al realizar un promedio total entre los 3 surfactantes 1, 2 y 3 a concentración 40/60%, se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla 15: Promedio de las variables analizadas para los surfactante 1, 2 y 3 a una concentración 40/60%.**

Variables	Valores
Germinación	93%
Sobrevivencia	45 %
Mortalidad	55%
Rango de crecimiento	17-37 cm

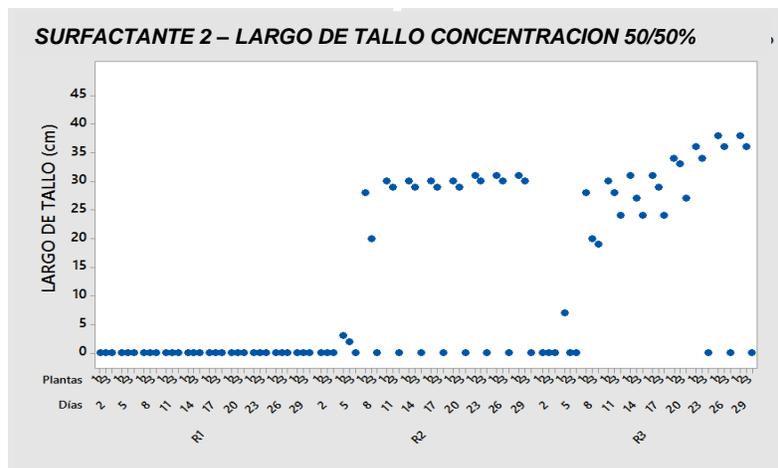
#### 4.3.5 Resultado para la concentración 50/50%

En esta concentración en el surfactante 1, la mortalidad de las plantas fue del 14%, obteniendo una sobrevivencia total del 86%, su germinación fue del 78% y el rango de crecimiento de 14 cm a 35 cm (ver grafica 17).



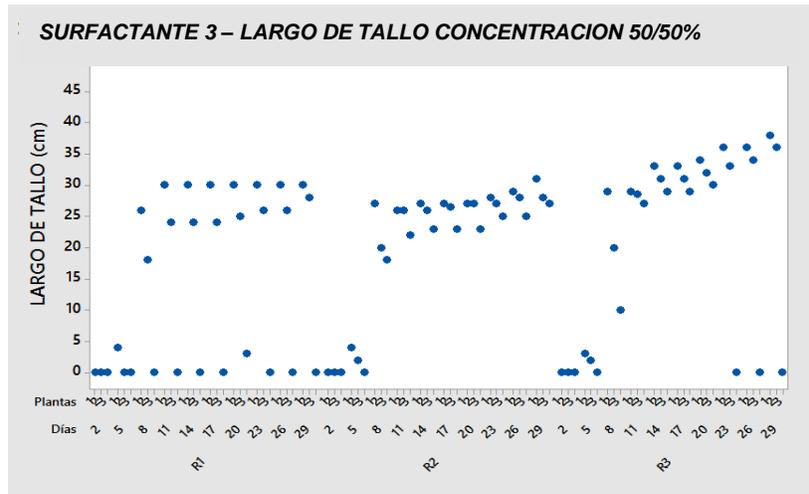
**Grafica 17:** Crecimiento de las plantas para el S1 a concentración de 50/50%.

En la Grafica 18, se muestra el crecimiento de las plantas en el surfactante 2 el rango fue entre 27 cm a 38 cm, tomando en cuenta que su tasa de sobrevivencia fue del 80%, su mortalidad de 14% y la germinación fue del 56%.



**Grafica 18:** Crecimiento de las plantas para el S2 a concentración de 50/50%.

En el surfactante 3, la germinación de las plantas fue del 100%, con una sobrevivencia final del 78%, en la tasa de mortalidad se observó un porcentaje del 22%, su rango de crecimiento estuvo entre 3 cm a 38cm (ver Grafica 19).



**Grafica 19:** Crecimiento de las plantas para el S3 a concentración de 50/50%.

Promedio total entre los 3 surfactantes a concentración 40/60%, se obtiene:

**Tabla 16: Promedio de las variables analizadas para los surfactantes 1, 2 y 3 a una concentración 50/50%.**

Variables	Valores
Germinación	78%
Sobrevivencia	81 %
Mortalidad	18%
Rango de crecimiento	15-37 cm

#### 4.4 Resultado de biomasa total seca

La concentración de 50/50% en promedio presento un peso contante y favorecedor en todos los tratamientos, esto nos da a conocer que en esta concentración la tasa de crecimiento es superior a las demás concentraciones estudiadas favoreciendo el crecimiento de la leguminosa en cuestión.

**Tabla 17: Biomasa total seca.**

Biomasa Total Seca				
Surfactantes	Concentraciones			
	20/80%	30/70%	40/60%	50/50%
S1	0.15 g	0.19 g	0.16 g	0.25 g
S2	0.10 g	0.15 g	0.20 g	0.24 g
S3	0.17 g	0.10 g	0.28 g	0.20 g

**Tabla 18: Biomasa total seca (blanco).**

Muestras Blancos	
Surfactantes	Biomasa Total (g)
S1	0.18
S2	0.13
S3	0.1

Se evaluó la técnica de compostaje en cuanto al crecimiento de la planta de Frijol (*Phaseolus Vulgaris L.*), en suelo resultante de la técnica de lavado. Determinando la altura del tallo para establecer las condiciones más adecuada para su crecimiento.

El suelo previamente tratado con surfactantes pudiera presentar condiciones poco óptimas para el crecimiento de la vegetación, (Pérez *et al*, 2006) menciona que en la aplicación de tecnologías de remediación fisicoquímicas el suelo sufre cambios en sus propiedades físicas que influyen en su productividad, por lo tanto hace mención de utilizar medidas de recuperación para aportar nuevamente nutrientes y mejorar su condiciones al suelo.

(Fraire, 2015) Determina que la composta es efectiva como técnica de biorremediación, ya que se favorece la germinación y crecimiento de las plantas por

el alto contenido de nutrientes que aporta la materia en descomposición. En este caso se favoreció el crecimiento de las plántulas de frijol en cada uno de los tratamientos teniendo el porcentaje más alto de sobrevivencia (81%) para el tratamiento procedente del surfactante 3 (Roma) a una concentración de 50/50% y presentando la mayor tasa de germinación (78%).

Así también se vio favorecida con el porcentaje de biomasa total teniendo resultados que oscilan. (Mujica *et al*, 2006) establece que la especie de Frijol (*Phaseolus Vulgaris L.*) muestra una gran capacidad de tolerancia en condiciones de suelos contaminados y tratados, superando a otras leguminosas, por lo tanto, este puede ser empleados en sitios agrícolas que han sido afectados por emergencias ambientales ocasionadas por hidrocarburos, después de un tratamiento fisicoquímico y biológico, como es el enriquecimiento con composta.

## CONCLUSIÓN

Se comparó la eficiencia de remoción de tres surfactantes utilizados en este estudio, obteniendo que los surfactantes 1 y 2 tengan similitud en los porcentajes de remoción, puesto que estos remueven un porcentaje promedio, mientras que el surfactante 3 presenta en un porcentaje ligeramente mayor

El análisis de varianza (ANOVA simple) indica que no existen diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) entre las medias de las concentraciones del surfactante evaluado con un 95% de confianza. Aunque el análisis de varianza indica que no hay diferencias significativas entre las concentraciones de surfactante, se observa una tendencia favorable en la concentración 50/50%

Se identificó que el surfactante 3 presenta cambios significativos después de la técnica de lavado. Este agente tensoactivo permite obtener suelo con un buen rendimiento agropecuario y un buen intercambio de nutrientes. Mientras que los surfactantes 1 y 2 presentan valores adecuados para actividades agropecuarias, pero presentan un menor intercambio de nutrientes. De acuerdo a lo anterior se determina que los surfactantes aniónicos son eficientes en la técnica de lavado de suelos para la remoción de hidrocarburos en suelos arcillosos, manteniendo una buena calidad en sus propiedades físicas y químicas.

Para la evaluación de los bioensayos toxicológico se consideró el porcentaje de germinación, sobrevivencia y mortandad de las plántulas de frijol, así como el porcentaje de crecimiento en cada una de las concentraciones. Al finalizar el experimento se observó que en todos los tratamientos el porcentaje de germinación fue mayor al 50%, sin embargo en la concentración 50/50% para cada uno de los surfactantes presenta un mayor porcentaje de sobrevivencia. De acuerdo a esto se considera que la técnica de compostaje aporta condiciones favorables de crecimiento para las plántulas de frijol en un suelo que fue sometido a un tratamiento con previo con agentes tensoactivos.

## FUENTES BIBLIOGRÁFICA

- Albert, L. A. (2013). *Curso Básico De Toxicología Ambiental*. México, D.F.: LIMUSA S.A. DE C.V.
- Arguelles, R. I. (2014). *Suelos y acuíferos contaminados: evaluación y limpieza*. México: Trillas.
- Balderas Cortes, J. d., & Gortáres Moroyoqui, P. ( Diciembre de 2010). Efectos de los surfactantes en la biorremediación de suelos contaminados con Hidrocarburos. *Química Viva*, Vol. 9(Núm. 3), pp. 120-145.
- Benavides, G. Q. (2006). *Bioremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo*. Dinamarca: Universidad de La Salle. Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.
- Cano Martagón, N., Peña Cervantes, E. D., Peña Ramos, F. M.-A., & Cervantes Lopez, R. D.-A. (2015). *Lavado de suelos contaminados con diesel utilizando surfactantes*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Div.Ingeniería-Ing. Agrícola y Ambiental-Licenciatura. Coahuila: UAAAN, Buenavista Saltillo Coahuila. Mexico.
- Cantera, H. E. (2010). *Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de san joaquin*. Queretaro: Universidad Autónoma de Queretaro.
- Chan et al, C. Q. (2015). *Evaluación de la degradación de hidrocarburos totales del petróleo por bioestimulación con bonos orgánicos asociados a especies arbóreas*. El Colegio de la Frontera Sur. Villahermosa, Tabasco.: ECOSUR.
- CONACYT. (29 de Enero de 2016). *Centros Públicos de Investigación CONACYT, Desarrollo de tecnología para remediar suelos contaminados*. Recuperado el 10 de Mayo de 2017, de <http://centrosconacyt.mx>.
- Cortón, E. V. (Septiembre- Diciembre de 2006). Solucionando grandes problemas ambientales con la ayuda de pequeños amigos:, las técnicas de biorremediación.,. (A. E. Terrestre, Ed.) *Ecosistemas*, Vol. 15(No. 3), pp.

- 148 157.Obtenido de  
[http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=446&Id\\_Categoria=4&ti](http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=446&Id_Categoria=4&ti)
- Daniel et al, D. G. (2000). Morfología de la planta de frijol comun. En R. H. Daniel G. Debouck, *Daniel G. Debouck, Rigoberto Hidalgo* (págs. 7-41).
- Díaz García Franci L, S. E. (2016). *Evaluación de tratamientos de remediación de un suelo contaminado con petróleo pesado combinando lavado con extracto de cáscaras de naranja (Citrus sinensis) y biopila aireada*. Tesis de licenciatura., Universidad de Oriente Núcleo Monagas, Escuela de ingeniería y ciencias aplicadas, Maturín,Venezuela.
- Doria et al, D. S. (2009). *Experimentos de química en microescala para nivel medio superior*. México: Centro Mexicano de Química.
- E. Petrascheck, P. W. (1995). *Yacimientos y Criaderos*. . Casanova, 220 Barcelona, 1965 : Ediciones Omega, S.A. de C.V.
- EPA. (1996). *EPA, (Environment Protection Agency). Method 3540C Mod. Soxhlet Extraction*. . 8 p. Washington, DC. USA.
- Forsythe, W. (1985). *Física de suelos: manual de laboratorio*. Costa Rica: IICA.
- Fraire, V. A. (2015). *Uso e implementación de composta como técnica de biorremediación de suelos*. Comalcalco, Tabasco: Instituto Tecnológico Superior De Comalcalco.
- Franco, J. L. (2011). *Ecología y conservación*. México: Trillas.
- Gallegos-Martínez, M., Gómez-Santos, A., González-Cruz, L., Montes de Oca-García, A., Yáñez-Trujillo, L., & Zermeño-Eguía Lis, J. y.-R. (2000). *Water Sci. Technol* 42, 377-384.
- García et al, G.-L. J.-T.-S.-R.-A. (2016). *Técnicas para evaluar germinación, vigor y calidad fisiológica de semillas sometidas a dosis de nanopartículas*. Saltillo, Coahuila: CONACYT.
- Gobat et al, G. J.-M. (2004). *The Living Soil. Fundamentals of Soil Science and Soil Biology*.. Enfield, NH, USA.
- Hamdan et al, P. A. (2005). *Biomonitoreo: Seguimiento De Poblaciones Microbians En Procesos De Biorremediación De Suelos Contaminados Con Hidrocarburos*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.

- Calz. del Hueso No. 1100., Departamentos de Sistemas Biológicos. León, Guanajuato: II encuentro. Participación de la mujer en la ciencia.
- INECC. (2007). *Instituto Nacional De Ecología y Cambio Climático: Restauracion de suelos contaminados*. Obtenido de [www.inecc.gob.mx](http://www.inecc.gob.mx): <http://www.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/372/tecnolog.html>
- Jiménez, A. C. (2007). *Suelos Tropicales*. Costa Rica: EUNED.
- LEGEEPA. (2016). *Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente*.
- Leyva, C. I. (2006). *Comparación de tecnicas de saneamiento en un suelo contaminado con hidrocarburo del petroleo de Tabasco*. Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Instituto de Ingenieria. Mexico: Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
- Linares, L. C. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediacion de sitios contaminados*. México: INE.
- Lladó, F. S. (2012). *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos pesados y caracterización de comunidades microbianas implicadas” .. Editorial; España de*. Universidad de Barcelona. Barcelona, España: Editorial; España de Creative Commons.
- Maldonado et al, -C. E.-C.-R.-L. (2010). Efectos de rizosfera, microorganismos y fertilización en la remediación y fitorremediación de suelos con petróleos crudo nuevo e intemperizado. *Universidad y Ciencia.*, pp 121-136.
- Martínez, D. G. (2010). *Descontaminación de agua de lavado de suelo contaminado con plaguicidas mediante procesos avanzados de oxidación*. Universidad de las Américas Puebla., Departamento de Ciencias Químico Biológicas. San Andrés Cholula, Puebla.: Direccion de Bibliotecas, UDLAP.
- Michael et al, M. S. (2003). *Evaluación de campo de la degradación de la tierra*. México: Mundi Prensa.
- Mujica Blanco C., J. R. (2006). *Crecimiento de Plántulas de Frijol (Vigna unguiculata (L.) Walp.) en Dos Suelos Contaminados con Petróleo*. Venezuela: Revista Tecnologica Espol.

- NMX-AA-134-SCFI-2006. (s.f.). *Suelos-Hidrocarburos fracción pesada por extracción y gravimetría-Método prueba*. México: Asociación Nacional de la Industria Química A.C.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. (s.f.). *Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis*. México: SEMARNAT.
- NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012. (s.f.). *Limites maximo permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterizacion y especificaciones para la remediacion*. México: SEMARNAT.
- Ortuño Arzate, S. (2009). *El mundo del petróleo. Origen, usos y escenario*. Mexico: FCE, CONACyT.
- Perea, M. d. (2015). *Manejo, riego y abonado de suelo*. España: España: Elearning S.L.
- Pérez et al, C. G. (2006). Cambio en las propiedades físicas de un suelo contaminado con hidrocarburos debido a la aplicación de una tecnología de remediación. *revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: investigación, desarrollo y práctica*, 1-10.
- Pérez, V. S. (Agosto de 2012). Uso de microemulsiones en la limpieza de suelos contaminados con hidrocarburos. (U. d., Ed.) *Revista Ingeniería UC.*, Vol. 19(No. 2), pp 61 - 68.
- Piña, P. M. (2012). *Lavado in situ de un suelo contaminado con diesel, asistido con surfactantes*. Escuela superior de ingeniería y arquitectura Zacatenco. Ciudad de México, México.: Instituto Politécnico Nacional.
- Pons et al, A. G.-P.-C. (2011). *Extraccion de hidrocarburos y compuestos derivados del petróleo en suelos con caracterizticas fisicas y quimicas diferentes*. Villahermosa: Colegio de postgraduados campus tabasco.
- PROFEPA. (2015). *Procuraduría Federal de Protección al ambiente. Informe de Actividades* . Recuperado el 16 de enero del 2017., de [www.profepa.gob.mx](http://www.profepa.gob.mx): [www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/8233/1/web\\_versionfinal.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/8233/1/web_versionfinal.pdf)
- Raiger et al, I. L. (22 de Diciembre de 2009). Los biosurfactantes y la industria petrolera. *Química Viva*, Vol. 8(Núm. 3), 146-161.

- Reyes, H. H. (2014). *Estudio fisiológico en familias prolíficas de un lote de producción de semilla de la variedad maíz jaguan* . Saltillo, Coahuila : Universidad Autónomas Agraria Antonio Narro .
- Rivera et al, C. M.-N.-R.-T.-L. (2016). Natural attenuation of weathered oil using aquatic plants in a farm in southeast Mexico. *International Journal of Phytoremediation*, pp. 877-884.
- Salager, J. L. (2002). Surfactantes Tipos y Usos. En S. J. Luis, & U. d. ANDES (Ed.), *Cuaderno FIRP 300 A, Modulo de enseñanza en fenomenos interfaciales* (Vol. Vol. 2, págs. pag. 2-4). Merida 5101, Venezuela: Laboratorio FIRP, ULA.
- SEMARNAT. (Octubre de 2014). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas*. Obtenido de [www.semarnat.gob.mx/](http://www.semarnat.gob.mx/)
- Seulgi Kim, W. L. (2016). *Ultrasonic and mechanical soil washing processes for the remediation of heavy-metal-contaminated soil*. Kumoh National Institute of Technology, Ultraso Department of Environmental Engineering. Korea: Gumi, Gyeongbuk 39177.
- Silva, A. (1988). *Aspectos metodologicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay*. Uruguay: Montevideo.
- Solís, J. N. (2000). *Fundamentos de Edafología*. Costa Rica: EUNED.
- Torres, L. G., Climent, M., Saquelares, J., R, B. ..., G, U., & Iturbide, R. (2007). Characterization and treatability of a contaminated soil from an oil exploration zone. *International Journal of Environmental Science and Technology (IJEST)*, Vol 4(No. 3), pp.311-322.
- Ulloa et al, U. J. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional. *Revista Fuente Año 3 No. 8*, 5-9.
- UNIOVIEDO. (2012). *Seminario de suelos*. Asturias: UNIOVIEDO.
- UNNOBA. (2012). *Calidad Ambiental de lo Suelos: Determinacion de Capacidad de Intercambio Cationico* . Buenos Aires: Universidad Nacional del Noreste de Buenos Aires.

- Uribe, H. R. (2008). *Ensayo de inhibición de la germinación y del alargamiento radicular en semillas de cebolla Allium cepa y Soya Glycine max*. México, D.F: Progreso, S.A. de C.V. (iepsa).
- Velasco, J. A., & Volke Sepúlveda, T. L. (Enero- Marzo de 2003). El composteo: una alternativa tecnológica para la biorremediación de suelos en México. *Gaceta Ecologica*(Núm. 66), Pag.41-53.
- Vreysen, S. &. (14 de Octubre de 2005). Remediation of a Diesel Contaminated, Sandy-Loam Soil Using Low Concentrated Surfactant Solutions. *Journal of Soils and Sediments*, Vol. 5(No.4), 240–244.
- Zagal et al, Z. E. (2007). *Protocolo de métodos y análisis para suelos y lodos*. Universidad de Concepción , Facultad de de Agronomía Chillán. Santiago, Chile: SAG: Servicio Agrícola y Ganadero.

## ANEXO 1: Sitio de muestreo

En el ejido “Ley de la Reforma Agraria” ubicado en Cárdenas, Tabasco.



**Promedio total de germinación, sobrevivencia, mortalidad y largo de tallo por cada surfactante.**

Promedio	Concentraciones para S1 (Axi3n Lim3n)			
	20/80%	30/70%	40/60%	50/50%
Germinaci3n	67%	100%	100%	78%
Sobrevivencia	33%	56%	22%	86%
Mortalidad	67%	44%	78%	14%
Largo de tallo	20-34 cm	29-44 cm	11-35 cm	14-35 cm

Promedio	Concentraciones para S2 (Salvo Lim3n)			
	20/80%	30/70%	40/60%	50/50%
Germinaci3n	100%	78%	100%	78%
Sobrevivencia	11%	42%	56%	86%
Mortalidad	89%	58%	44%	14%
Largo de tallo	24-34 cm	23-45 cm	11-39 cm	27-38 cm

Promedio	Concentraciones para S3 (Roma)			
	20/80%	30/70%	40/60%	50/50%
Germinaci3n	100%	89%	78%	100%
Sobrevivencia	44%	0%	57%	78%
Mortalidad	56%	100%	43%	22%
Largo de tallo	26-38 cm	15-34 cm	29-36 cm	30-38 cm

## ANEXO 2: Registros de mediciones para el surfactante 1 (S1)

### Registro de las medidas de largo de tallos de las plantas de Frijol.

SUELO LAVADO						
SURFACTANTE 1						
CONCENTRACION 20/80%						
FECHAS DE MONITOREO	R1		R2		R3	
	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)
12/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
17/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	5	PLANTA 1	4
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	4	PLANTA 2	3
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
22/01/2018	PLANTA 1	23	PLANTA 1	31	PLANTA 1	28
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	31	PLANTA 2	22
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	3	PLANTA 3	0
25/01/2018	PLANTA 1	28	PLANTA 1	32	PLANTA 1	31
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	32	PLANTA 2	30
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	17	PLANTA 3	0
30/01/2018	PLANTA 1	32	PLANTA 1	33	PLANTA 1	31
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	33	PLANTA 2	31
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	19	PLANTA 3	0
02/02/2018	PLANTA 1	33	PLANTA 1	33	PLANTA 1	31
	PLANTA 2	8	PLANTA 2	33	PLANTA 2	31
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	20	PLANTA 3	0
07/02/2018	PLANTA 1	34	PLANTA 1	33	PLANTA 1	31
	PLANTA 2	13	PLANTA 2	33	PLANTA 2	31
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	20	PLANTA 3	0
12/02/2018	PLANTA 1	34	PLANTA 1	33	PLANTA 1	31
	PLANTA 2	14	PLANTA 2	33	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	20	PLANTA 3	0
15/02/2018	PLANTA 1	34	PLANTA 1	33	PLANTA 1	32
	PLANTA 2	14	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	20	PLANTA 3	0
20/02/2018	PLANTA 1	34	PLANTA 1	0	PLANTA 1	32
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0

SUELO LAVADO  
SURFACTANTE 1  
CONCENTRACION 30/70%

FECHAS DE MONITOREO	R1		R2		R3	
	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)
12/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
17/01/2018	PLANTA 1	4	PLANTA 1	4	PLANTA 1	4
	PLANTA 2	6	PLANTA 2	0	PLANTA 2	3
	PLANTA 3	2	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
22/01/2018	PLANTA 1	30	PLANTA 1	31	PLANTA 1	29
	PLANTA 2	22	PLANTA 2	29	PLANTA 2	25
	PLANTA 3	19	PLANTA 3	29	PLANTA 3	25
25/01/2018	PLANTA 1	33	PLANTA 1	36	PLANTA 1	32
	PLANTA 2	33	PLANTA 2	32	PLANTA 2	31
	PLANTA 3	31	PLANTA 3	30	PLANTA 3	28
30/01/2018	PLANTA 1	34	PLANTA 1	40	PLANTA 1	32
	PLANTA 2	34	PLANTA 2	39	PLANTA 2	31
	PLANTA 3	31	PLANTA 3	33	PLANTA 3	29
02/02/2018	PLANTA 1	34	PLANTA 1	41	PLANTA 1	32
	PLANTA 2	34	PLANTA 2	40	PLANTA 2	31
	PLANTA 3	31	PLANTA 3	34	PLANTA 3	29
07/02/2018	PLANTA 1	35	PLANTA 1	43	PLANTA 1	32
	PLANTA 2	34	PLANTA 2	40	PLANTA 2	31
	PLANTA 3	31	PLANTA 3	34	PLANTA 3	29
12/02/2018	PLANTA 1	35	PLANTA 1	44	PLANTA 1	32
	PLANTA 2	34	PLANTA 2	41	PLANTA 2	31
	PLANTA 3	31	PLANTA 3	34	PLANTA 3	29
15/02/2018	PLANTA 1	37	PLANTA 1	44	PLANTA 1	32
	PLANTA 2	35	PLANTA 2	40	PLANTA 2	32
	PLANTA 3	31	PLANTA 3	0	PLANTA 3	29
20/02/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	44	PLANTA 1	35
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	40	PLANTA 2	35
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	29

SUELO LAVADO  
SURFACTANTE 1  
CONCENTRACION 40/60%

FECHAS DE MONITOREO	R1		R2		R3	
	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)
12/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
17/01/2018	PLANTA 1	3	PLANTA 1	7	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	3	PLANTA 2	4	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
22/01/2018	PLANTA 1	28	PLANTA 1	28	PLANTA 1	25
	PLANTA 2	15	PLANTA 2	24	PLANTA 2	12
	PLANTA 3	20	PLANTA 3	5	PLANTA 3	11
25/01/2018	PLANTA 1	30	PLANTA 1	31	PLANTA 1	30
	PLANTA 2	29	PLANTA 2	30	PLANTA 2	29
	PLANTA 3	28	PLANTA 3	11	PLANTA 3	27
30/01/2018	PLANTA 1	31	PLANTA 1	32	PLANTA 1	33
	PLANTA 2	30.5	PLANTA 2	31	PLANTA 2	32
	PLANTA 3	30.5	PLANTA 3	0	PLANTA 3	28
02/02/2018	PLANTA 1	31	PLANTA 1	32	PLANTA 1	33
	PLANTA 2	30.5	PLANTA 2	32	PLANTA 2	32
	PLANTA 3	30.5	PLANTA 3	0	PLANTA 3	28
07/02/2018	PLANTA 1	32	PLANTA 1	32	PLANTA 1	34
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	32	PLANTA 2	33
	PLANTA 3	31	PLANTA 3	0	PLANTA 3	28
12/02/2018	PLANTA 1	32	PLANTA 1	0	PLANTA 1	35
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	33
	PLANTA 3	31	PLANTA 3	0	PLANTA 3	28
15/02/2018	PLANTA 1	32	PLANTA 1	0	PLANTA 1	35
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	33
	PLANTA 3	31	PLANTA 3	0	PLANTA 3	28
20/02/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0	PLANTA 1	35
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	33
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0

SUELO LAVADO  
SURFACTANTE 1  
CONCENTRACION 50/50%

FECHAS DE MONITOREO	R1		R2		R3	
	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)
12/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
17/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	5	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	3	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
22/01/2018	PLANTA 1	29	PLANTA 1	31	PLANTA 1	25
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	15	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	12	PLANTA 3	0
25/01/2018	PLANTA 1	30	PLANTA 1	32	PLANTA 1	27
	PLANTA 2	10	PLANTA 2	31	PLANTA 2	23
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	25	PLANTA 3	0
30/01/2018	PLANTA 1	31	PLANTA 1	33	PLANTA 1	27
	PLANTA 2	13	PLANTA 2	32	PLANTA 2	26
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	26	PLANTA 3	0
02/02/2018	PLANTA 1	32	PLANTA 1	33	PLANTA 1	28
	PLANTA 2	13	PLANTA 2	32	PLANTA 2	27
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	26	PLANTA 3	0
07/02/2018	PLANTA 1	33	PLANTA 1	35	PLANTA 1	28
	PLANTA 2	14	PLANTA 2	33	PLANTA 2	27
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	28	PLANTA 3	0
12/02/2018	PLANTA 1	35	PLANTA 1	36	PLANTA 1	29
	PLANTA 2	14	PLANTA 2	33	PLANTA 2	28
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	28	PLANTA 3	0
15/02/2018	PLANTA 1	35	PLANTA 1	36	PLANTA 1	29
	PLANTA 2	14	PLANTA 2	33	PLANTA 2	28
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	28	PLANTA 3	0
20/02/2018	PLANTA 1	35	PLANTA 1	37	PLANTA 1	29
	PLANTA 2	14	PLANTA 2	36	PLANTA 2	29
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0

## ANEXO 3: Registros de mediciones para el surfactante 2 (S2)

### Registro de las medidas de largo de tallos de las plantas de Frijol.

SUELO LAVADO						
SURFACTANTE 2						
CONCENTRACION 20/80%						
FECHAS DE MONITOREO	R1		R2		R3	
	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)
12/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
17/01/2018	PLANTA 1	10	PLANTA 1	4	PLANTA 1	4
	PLANTA 2	9	PLANTA 2	2	PLANTA 2	4
	PLANTA 3	5	PLANTA 3	2	PLANTA 3	2
22/01/2018	PLANTA 1	31	PLANTA 1	29	PLANTA 1	32
	PLANTA 2	24	PLANTA 2	23	PLANTA 2	30
	PLANTA 3	19	PLANTA 3	20	PLANTA 3	24
25/01/2018	PLANTA 1	33	PLANTA 1	29	PLANTA 1	32
	PLANTA 2	29	PLANTA 2	25	PLANTA 2	31
	PLANTA 3	29	PLANTA 3	23	PLANTA 3	26
30/01/2018	PLANTA 1	34	PLANTA 1	29	PLANTA 1	32
	PLANTA 2	30	PLANTA 2	25	PLANTA 2	31
	PLANTA 3	29	PLANTA 3	24	PLANTA 3	26
02/02/2018	PLANTA 1	34	PLANTA 1	29	PLANTA 1	32
	PLANTA 2	30	PLANTA 2	25	PLANTA 2	31
	PLANTA 3	30	PLANTA 3	24	PLANTA 3	26
07/02/2018	PLANTA 1	34	PLANTA 1	29	PLANTA 1	32
	PLANTA 2	30	PLANTA 2	25	PLANTA 2	31
	PLANTA 3	30	PLANTA 3	24	PLANTA 3	26
12/02/2018	PLANTA 1	34	PLANTA 1	30	PLANTA 1	33
	PLANTA 2	31	PLANTA 2	25	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	30	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
15/02/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	30	PLANTA 1	33
	PLANTA 2	31	PLANTA 2	25	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
20/02/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	31	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0

SUELO LAVADO  
SURFACTANTE 2  
CONCENTRACION 30/70%

FECHAS DE MONITOREO	R1		R2		R3	
	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)
12/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
17/01/2018	PLANTA 1	4	PLANTA 1	5	PLANTA 1	4
	PLANTA 2	3	PLANTA 2	0	PLANTA 2	5
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
22/01/2018	PLANTA 1	31.5	PLANTA 1	30	PLANTA 1	29.5
	PLANTA 2	25	PLANTA 2	10	PLANTA 2	27
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	10
25/01/2018	PLANTA 1	36	PLANTA 1	37	PLANTA 1	31
	PLANTA 2	31	PLANTA 2	20	PLANTA 2	30
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	21
30/01/2018	PLANTA 1	38	PLANTA 1	45	PLANTA 1	33
	PLANTA 2	32	PLANTA 2	32	PLANTA 2	31
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	23
02/02/2018	PLANTA 1	39	PLANTA 1	45	PLANTA 1	33
	PLANTA 2	34	PLANTA 2	32	PLANTA 2	32
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	23
07/02/2018	PLANTA 1	39	PLANTA 1	45	PLANTA 1	34
	PLANTA 2	34	PLANTA 2	32	PLANTA 2	32
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
12/02/2018	PLANTA 1	39	PLANTA 1	45	PLANTA 1	34
	PLANTA 2	34	PLANTA 2	32	PLANTA 2	33
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
15/02/2018	PLANTA 1	40	PLANTA 1	45	PLANTA 1	34
	PLANTA 2	35	PLANTA 2	0	PLANTA 2	33
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
20/02/2018	PLANTA 1	40	PLANTA 1	45	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	35	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0

SUELO LAVADO  
SURFACTANTE 2  
CONCENTRACION 40/60%

FECHAS DE MONITOREO	R1		R2		R3	
	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)
12/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
17/01/2018	PLANTA 1	8	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	5	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
22/01/2018	PLANTA 1	34	PLANTA 1	5	PLANTA 1	24.5
	PLANTA 2	25	PLANTA 2	4	PLANTA 2	9
	PLANTA 3	20	PLANTA 3	3	PLANTA 3	3
25/01/2018	PLANTA 1	34	PLANTA 1	14	PLANTA 1	26
	PLANTA 2	29	PLANTA 2	11	PLANTA 2	20
	PLANTA 3	29	PLANTA 3	10	PLANTA 3	10
30/01/2018	PLANTA 1	36	PLANTA 1	29	PLANTA 1	26
	PLANTA 2	30	PLANTA 2	27	PLANTA 2	22
	PLANTA 3	30	PLANTA 3	16	PLANTA 3	11
02/02/2018	PLANTA 1	37	PLANTA 1	31	PLANTA 1	26
	PLANTA 2	32	PLANTA 2	28	PLANTA 2	22
	PLANTA 3	31	PLANTA 3	17	PLANTA 3	11
07/02/2018	PLANTA 1	37	PLANTA 1	31	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	28	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	31	PLANTA 3	17	PLANTA 3	0
12/02/2018	PLANTA 1	38	PLANTA 1	32	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	29	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	32	PLANTA 3	17	PLANTA 3	0
15/02/2018	PLANTA 1	38	PLANTA 1	32	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	29	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	32	PLANTA 3	17	PLANTA 3	0
20/02/2018	PLANTA 1	39	PLANTA 1	32	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	29	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	32	PLANTA 3	17	PLANTA 3	0

SUELO LAVADO  
SURFACTANTE 2  
CONCENTRACION 50/50%

FECHAS DE MONITOREO	R1		R2		R3	
	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)
12/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
17/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	3	PLANTA 1	7
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	2	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
22/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	28	PLANTA 1	28
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	20	PLANTA 2	20
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	19
25/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	30	PLANTA 1	30
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	29	PLANTA 2	28
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	24
30/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	30	PLANTA 1	31
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	29	PLANTA 2	27
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	24
02/02/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	30	PLANTA 1	31
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	29	PLANTA 2	29
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	24
07/02/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	30	PLANTA 1	34
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	29	PLANTA 2	33
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	27
12/02/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	31	PLANTA 1	36
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	30	PLANTA 2	34
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
15/02/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	31	PLANTA 1	38
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	30	PLANTA 2	36
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
20/02/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	31	PLANTA 1	38
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	30	PLANTA 2	36
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0

## ANEXO 4: Registros de mediciones para el surfactante 3 (S3)

### Registro de las medidas de largo de tallos de las plantas de Frijol.

SUELO LAVADO						
SURFACTANTE 3						
CONCENTRACION 20/80%						
FECHAS DE MONITOREO	R1		R2		R3	
	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)
12/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
17/01/2018	PLANTA 1	5	PLANTA 1	6	PLANTA 1	4
	PLANTA 2	3	PLANTA 2	5	PLANTA 2	2
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	4	PLANTA 3	0
22/01/2018	PLANTA 1	28	PLANTA 1	30	PLANTA 1	28
	PLANTA 2	14	PLANTA 2	20	PLANTA 2	18
	PLANTA 3	3	PLANTA 3	18	PLANTA 3	16
25/01/2018	PLANTA 1	32	PLANTA 1	30	PLANTA 1	32
	PLANTA 2	29	PLANTA 2	30	PLANTA 2	31
	PLANTA 3	15	PLANTA 3	27	PLANTA 3	26
30/01/2018	PLANTA 1	36	PLANTA 1	30	PLANTA 1	32
	PLANTA 2	29	PLANTA 2	30	PLANTA 2	32
	PLANTA 3	28	PLANTA 3	28	PLANTA 3	26
02/02/2018	PLANTA 1	37	PLANTA 1	30	PLANTA 1	32
	PLANTA 2	29	PLANTA 2	30	PLANTA 2	32
	PLANTA 3	28	PLANTA 3	29	PLANTA 3	26
07/02/2018	PLANTA 1	38	PLANTA 1	30	PLANTA 1	33
	PLANTA 2	29	PLANTA 2	30	PLANTA 2	32
	PLANTA 3	28	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
12/02/2018	PLANTA 1	38	PLANTA 1	30	PLANTA 1	33
	PLANTA 2	29	PLANTA 2	30	PLANTA 2	32
	PLANTA 3	29	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
15/02/2018	PLANTA 1	38	PLANTA 1	0	PLANTA 1	33
	PLANTA 2	30	PLANTA 2	0	PLANTA 2	33
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
20/02/2018	PLANTA 1	38	PLANTA 1	0	PLANTA 1	33
	PLANTA 2	30	PLANTA 2	0	PLANTA 2	33
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0

SUELO LAVADO  
SURFACTANTE 3  
CONCENTRACION 30/70%

FECHAS DE MONITOREO	R1		R2		R3	
	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)
12/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
17/01/2018	PLANTA 1	5	PLANTA 1	0	PLANTA 1	4
	PLANTA 2	3	PLANTA 2	0	PLANTA 2	3
	PLANTA 3	2	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
22/01/2018	PLANTA 1	31	PLANTA 1	24	PLANTA 1	27
	PLANTA 2	22	PLANTA 2	4	PLANTA 2	20
	PLANTA 3	20	PLANTA 3	0	PLANTA 3	4
25/01/2018	PLANTA 1	34	PLANTA 1	24	PLANTA 1	27
	PLANTA 2	28	PLANTA 2	4	PLANTA 2	27
	PLANTA 3	28	PLANTA 3	0	PLANTA 3	23
30/01/2018	PLANTA 1	34	PLANTA 1	24	PLANTA 1	27
	PLANTA 2	28	PLANTA 2	14	PLANTA 2	27
	PLANTA 3	28	PLANTA 3	0	PLANTA 3	23
02/02/2018	PLANTA 1	34	PLANTA 1	24	PLANTA 1	27
	PLANTA 2	28	PLANTA 2	14	PLANTA 2	27
	PLANTA 3	28	PLANTA 3	0	PLANTA 3	23
07/02/2018	PLANTA 1	34	PLANTA 1	24	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	28	PLANTA 2	15	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	28	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
12/02/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	25	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	15	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	28	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
15/02/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
20/02/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0

SUELO LAVADO  
SURFACTANTE 3  
CONCENTRACION 40/60%

FECHAS DE MONITOREO	R1		R2		R3	
	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)
12/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
17/01/2018	PLANTA 1	3	PLANTA 1	4	PLANTA 1	5
	PLANTA 2	2	PLANTA 2	0	PLANTA 2	4
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
22/01/2018	PLANTA 1	27.5	PLANTA 1	20	PLANTA 1	30
	PLANTA 2	22	PLANTA 2	15	PLANTA 2	16
	PLANTA 3	20	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
25/01/2018	PLANTA 1	30	PLANTA 1	27	PLANTA 1	32
	PLANTA 2	29	PLANTA 2	24	PLANTA 2	29
	PLANTA 3	28	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
30/01/2018	PLANTA 1	31	PLANTA 1	28	PLANTA 1	38
	PLANTA 2	30	PLANTA 2	27	PLANTA 2	32
	PLANTA 3	28	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
02/02/2018	PLANTA 1	32	PLANTA 1	28	PLANTA 1	38
	PLANTA 2	30	PLANTA 2	27	PLANTA 2	33
	PLANTA 3	28	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
07/02/2018	PLANTA 1	34	PLANTA 1	29	PLANTA 1	40
	PLANTA 2	30	PLANTA 2	28	PLANTA 2	34
	PLANTA 3	28	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
12/02/2018	PLANTA 1	34	PLANTA 1	30	PLANTA 1	42
	PLANTA 2	30	PLANTA 2	29	PLANTA 2	35
	PLANTA 3	28	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
15/02/2018	PLANTA 1	36	PLANTA 1	30	PLANTA 1	42
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	29	PLANTA 2	35
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
20/02/2018	PLANTA 1	36	PLANTA 1	30	PLANTA 1	42
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	35
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0

sSUELO LAVADO  
SURFACTANTE 3  
CONCENTRACION 50/50%

FECHAS DE MONITOREO	R1		R2		R3	
	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)
12/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
17/01/2018	PLANTA 1	4	PLANTA 1	4	PLANTA 1	3
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	2	PLANTA 2	2
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
22/01/2018	PLANTA 1	26	PLANTA 1	27	PLANTA 1	29
	PLANTA 2	18	PLANTA 2	20	PLANTA 2	20
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	18	PLANTA 3	10
25/01/2018	PLANTA 1	30	PLANTA 1	26	PLANTA 1	29
	PLANTA 2	24	PLANTA 2	26	PLANTA 2	28.5
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	22	PLANTA 3	27
30/01/2018	PLANTA 1	30	PLANTA 1	27	PLANTA 1	33
	PLANTA 2	24	PLANTA 2	26	PLANTA 2	31
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	23	PLANTA 3	29
02/02/2018	PLANTA 1	30	PLANTA 1	27	PLANTA 1	33
	PLANTA 2	24	PLANTA 2	26.5	PLANTA 2	31
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	23	PLANTA 3	29
07/02/2018	PLANTA 1	30	PLANTA 1	27	PLANTA 1	34
	PLANTA 2	25	PLANTA 2	27	PLANTA 2	32
	PLANTA 3	3	PLANTA 3	23	PLANTA 3	30
12/02/2018	PLANTA 1	30	PLANTA 1	28	PLANTA 1	36
	PLANTA 2	26	PLANTA 2	27	PLANTA 2	33
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	25	PLANTA 3	0
15/02/2018	PLANTA 1	30	PLANTA 1	29	PLANTA 1	36
	PLANTA 2	26	PLANTA 2	28	PLANTA 2	34
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	25	PLANTA 3	0
20/02/2018	PLANTA 1	30	PLANTA 1	31	PLANTA 1	38
	PLANTA 2	28	PLANTA 2	28	PLANTA 2	36
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	27	PLANTA 3	0

## ANEXO 5: Registro de medidas de los blancos

Registro de las medidas de largo tallos de las plantas de Frijol muestras blancos en cuanto a los 3 surfactantes.

FECHA DE MUESTREO	SUELO LAVADO SURFACTANTE 1 BLANCO		SUELO LAVADO SURFACTANTE 2 BLANCO		SUELO LAVADO SURFACTANTE 3 BLANCO	
	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)	PLANTA	TALLO LARGO(cm)
12/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0	PLANTA 1	0
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0	PLANTA 3	0
17/01/2018	PLANTA 1	0	PLANTA 1	9	PLANTA 1	7
	PLANTA 2	0	PLANTA 2	4	PLANTA 2	0
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	3	PLANTA 3	0
22/01/2018	PLANTA 1	5	PLANTA 1	14	PLANTA 1	15
	PLANTA 2	4	PLANTA 2	7	PLANTA 2	5
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	5	PLANTA 3	5
25/01/2018	PLANTA 1	15	PLANTA 1	18	PLANTA 1	17
	PLANTA 2	10	PLANTA 2	12	PLANTA 2	9
	PLANTA 3	0	PLANTA 3	10	PLANTA 3	8
30/01/2018	PLANTA 1	20	PLANTA 1	22	PLANTA 1	23
	PLANTA 2	17	PLANTA 2	20	PLANTA 2	14
	PLANTA 3	3	PLANTA 3	20	PLANTA 3	11
02/02/2018	PLANTA 1	27	PLANTA 1	24	PLANTA 1	25
	PLANTA 2	24	PLANTA 2	23	PLANTA 2	15
	PLANTA 3	10	PLANTA 3	21	PLANTA 3	12
07/02/2018	PLANTA 1	29	PLANTA 1	30	PLANTA 1	25
	PLANTA 2	27	PLANTA 2	27	PLANTA 2	15
	PLANTA 3	20	PLANTA 3	25	PLANTA 3	14
12/02/2018	PLANTA 1	29	PLANTA 1	38	PLANTA 1	25
	PLANTA 2	28	PLANTA 2	30	PLANTA 2	15
	PLANTA 3	20	PLANTA 3	28	PLANTA 3	15
15/02/2018	PLANTA 1	29	PLANTA 1	38	PLANTA 1	25
	PLANTA 2	28	PLANTA 2	30	PLANTA 2	15
	PLANTA 3	20	PLANTA 3	28	PLANTA 3	15
20/02/2018	PLANTA 1	29	PLANTA 1	38	PLANTA 1	25
	PLANTA 2	28	PLANTA 2	30	PLANTA 2	15
	PLANTA 3	24	PLANTA 3	28	PLANTA 3	15