

# Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol

## BIOREMEDIATION OF HYDROCARBON CONTAMINATED SOILS USING SAW DUST AND MANURE COMPOST

Hildebrando Buendía R.\*

RECIBIDO: 21/11/2012 – APROBADO 17/07/13

### RESUMEN

La biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos es una técnica que consiste en usar organismos vivos para el consumo de los hidrocarburos de petróleo en el suelo. Para descartar la disminución de Hidrocarburos Totales de Petróleo de un suelo de la Refinería la Pampilla, ubicado en la Carretera Ventanilla km 25, distrito de Ventanilla, provincia del Callao. Se instaló el experimento a nivel de bioensayo, en el Laboratorio de Fertilidad de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, aplicándose el modelo estadístico de Diseño Experimental Completamente al Azar (DCA), con tres repeticiones y doce tratamientos sumando un total de 36 macetas experimentales, para lo cual se empleó estiércol y aserrines como sustrato a la planta indicadora de "maíz" (*Zea mays* L.), sembrados y controlados por un periodo de dos meses. Los resultados de la dosificación del suelo contaminado por hidrocarburos, estiércol y aserrín en promedio disminuyó 22.5% el contenido de hidrocarburos en el suelo, empleando solo estiércol disminuyó 16.5% y usando solamente aserrines disminuyó 9.6%. Comparando los tratamientos del experimento el que mejor ha remediado los suelos fue el tratamiento (T3) suelo contaminado más vacaza más aserrín de bolaina, puesto que la concentración inicial de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) fue de 21.81 gr de TPH/kg de suelo, ha disminuido en 16.28 gr de TPH/kg de suelo, que representa una reducción del 25%. Siendo este tratamiento lo más recomendable a usar.

**Palabras clave:** biorremediación, hidrocarburos, estiércol orgánico, aserrín

### ABSTRACT

Bioremediation of contaminated soil by hydrocarbon is a technique which consists of using living organisms for petroleum hydrocarbon consumption. An experiment was carried out at bio test level for discarding total petroleum hydrocarbon in soil of La Pampilla Refinery located at Km 25 of Ventanilla highway, Ventanilla District, Callao Province. The experiment was set up at the soil fertility Laboratory of the National Agrarian University at La Molina. The statistical model used is called Experimental Design Completely at Random (DCA) with three repetitions and twelve treatments adding up to a total of 36 experimental groups. For this purpose, sawdust and manure compost were used as fertilizers of the indicator of corn *Zea mays* ground sown and controlled during a two month period. Dosification results of manure and sawdust, of contaminated soil by hydrocarbon, decreased by 22.5 percent the hydrocarbon content of soil by 22.5 percent. Using manure only, hydrocarbon reduction was 16.5 percent and if only sawdust is used, hydrocarbon decreased 9.6 percent. By comparing the experimental treatments, we found that treatment (T 3), contaminated soil plus saw dust, was the best. Considering that initial concentration of total hydrocarbon from petroleum (TPH) was 21.81 grams of TPH/kg of soil, reduction was 16.28 grams of TPH/Kg of soil which represents 25 percent decrease. This treatment is the most recommended to use.

**Keywords:** bioremediation, hydrocarbons, organic manure, sawdust

\* Docente de la EAP de Geografía de la UNMSM. E-mail: hbuendia@yahoo.es

## I. INTRODUCCIÓN

En el Perú y en el mundo existen refinerías de petróleo que producen compuestos derivados que son producidos y transportados para su uso en diferentes actividades industriales (grifos, cisternas y otros), que contaminan el suelo y a pesar del cuidado que puede tenerse en su manejo y almacenamiento, existe la posibilidad de que estos compuestos ingresen al suelo en cantidades que superen el cinco por ciento que es el nivel establecido por el Ministerio de Energía y Minas.

En el país sobre estos suelos contaminados, no existe información estadística oficial sobre la ubicación y extensión de las áreas afectadas y su disposición adecuada de los productos y residuos de la industria del petróleo, a pesar de la álgida tarea del Ministerio de Energía y Minas, autoridad ambiental competente para las actividades petroleras en nuestro país.

Esto es un problema muy importante que requiere que los suelos contaminados con hidrocarburos sean remediados con tecnologías de bajo costo y de fácil acceso y evitar la contaminación de las aguas subterráneas.

El Ministerio de Energía y Minas a través de su “Guía Ambiental para la Restauración de Suelos en Instalaciones de Refinación y Producción Petrolera” y su “Guía para el Manejo de Desechos de las Refinerías de Petróleo”, apoya y estimula el empleo de diferentes técnicas para la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos, entre las que se encuentran la biorremediación.

Existen otras técnicas biológicas que se basan en la capacidad de los microorganismos y las plantas para degradar, transformar o remover compuestos orgánicos tóxicos y transformarlos en productos metabólicos inocuos o menos tóxicos (Instituto Nacional de Ecología, 2003). Estas técnicas de biorremediación, no usan agentes químicos y tienen costos de implementación más bajos respecto a otras técnicas. Por estos motivos tienen una mayor aceptación y han sido empleadas con éxito en otros países. Navarro *et al.* (2001) manifiestan que en nuestro país ya se han empleado técnicas de remediación, la refinería La Pampilla inició en 1999 un proyecto de remediación empleando biopilas para tratar los suelos del área de playa afectados por la disposición de residuos de hidrocarburos y subproductos de petróleo, mientras que en Lobitos (Talara), se ha reportado la remediación de suelos con concentraciones de TPH del 30,5% empleando la técnica del *Landfarming* con buenos resultados y costo alto. El mismo autor agrega que el número de estudios de remediación para determinar un estándar ambiental para los hidrocarburos en el Perú es muy limitado. Pero se ha encontrado una mayor sensibilidad en los cultivos alimentarios realizados en otros países. En la mayoría de los casos para un suelo, dependiendo de su valor de uso debería ser menor a 5% de sólidos totales de hidrocarburos antes de ser incorporado en algún ambiente.

Por lo expresado la tecnología de la biorremediación de suelos es factible especialmente con materia prima simple como estiércol, aserrín, cuyos costos de remediación son bajos.

**Objetivo del estudio:** Determinar la recuperación de un suelo contaminado con hidrocarburos, usando aserrín y estiércol, empleando como planta indicadora al maíz (*Zea mays* L.) de la variedad Marginal T-28.

## II. MARCO TEÓRICO

Según Berkeley (2011), la biorremediación es el uso de seres vivos para restaurar ambientes contaminados.

Cooney *et al.* (1985) afirman que el petróleo es una mezcla altamente compleja compuesta por una gran variedad de hidrocarburos. Estos son compuestos orgánicos formados solamente por hidrógeno y carbono, tanto el petróleo crudo como sus derivados contienen diversos tipos 8 de hidrocarburos cuyas proporciones relativas varían entre las diferentes clases de estos compuestos.

Ocampo (2002) refiere que la utilización de la técnica de *Landfarming*, se disponen en áreas denominadas “unidades de tratamiento” o “celdas de tratamiento”, las cuales se construyen considerando medidas para evitar el transporte de contaminantes hacia otras áreas por infiltración. La base de las celdas de tratamiento se impermeabiliza colocando una capa de arcilla compactada, con un nivel de impermeabilidad de  $10^{-7}$  –  $10^{-8}$  cm/s, o una geomembrana de polietileno de 800 micras.

La USEPA (2003) recomienda que para a ejecución de evaluaciones periódicas sea necesaria para asegurar el avance del proceso de remediación y ajustar las principales variables del sistema. La medición continua del oxígeno, la concentración de nutrientes, la concentración de bacterias heterótrofas, el pH y el contenido de humedad permiten adecuar la frecuencia de las aireaciones, la tasa de aplicación de nutrientes, la frecuencia volumen de riego y el pH. Dichas evaluaciones deben incluir también la medición de las concentraciones del contaminante para determinar el progreso del sistema de tratamiento.

Escalante (2000) afirma que el hidrocarburo de petróleo crudo y sus productos refinados pueden dividirse en cuatro grupos: (i) hidrocarburos alifáticos, (ii) hidrocarburos cíclicos, (iii) hidrocarburos aromáticos y (iv) compuestos orgánicos polares.

Los hidrocarburos alifáticos o de cadena abierta se dividen a su vez en tres grupos, en función del enlace entre dos átomos de carbono: alcanos (enlace simple), alquenos (enlace doble) y alquinos (enlace triple). Los compuestos alifáticos más comunes son los alcanos, los cuales pueden encontrarse en el petróleo crudo.

Frick *et al.* (1999) afirman que las plantas que crecen en suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo pueden reducir la concentración de estos contaminantes mediante tres mecanismos: degradación, contención o transferencia.

Existe poca evidencia sobre la degradación directa de los hidrocarburos de petróleo por las plantas. La vía de degradación de alcanos en las plantas pueden ser generalizada como:



Donde:

$C_n H_{n+2}$ : Fórmula General de los alcanos  
(Hidrocarburos de cadena lineal)

$O_2$ : Oxígeno que proviene del medio ambiente  
(Proceso aeróbico)

$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ : Son los productos de la degradación del hidrocarburo (Residual)

J. Guerrero (2001) establece que es una forma de materia orgánica de excrementos descompuestos de animales (vaca, cerdo, ovino, gallina, caballo, aves guaneras, etc.)

Arbaiza *et al.*, (1999) consideran que el aserrín es una materia orgánica de origen vegetal, derivado del aserrío de especies maderables duras y suaves, como la bolaina, el pino, capirona y otros.

Juzcamaita (2009) refiere que la descomposición microbiana libera gran cantidad de energía en forma de calor, lo cual incrementa la temperatura. Es necesario mantener una temperatura del proceso en el rango adecuado (40 °C - 60 °C), por ello es importante la aireación.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Ubicación

El trabajo de investigación se instaló en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos de la Universidad Agraria La Molina, se aplicó el Diseño Completamente al Azar, con 12 tratamientos y 3 repeticiones, utilizando macetas experimentales con una capacidad de 1 kg c/u. Haciendo un total de 36 unidades experimentales, de suelo contaminado con hidrocarburos, proveniente del Complejo Industrial de la Refinería la Pampilla; ubicado en Ventanilla, provincia del Callao.

#### 3.2. Modelo matemático

El modelo matemático empleado fue el Diseño Completamente al Azar (Tabla N.º 1), cuyos requisitos se adecuan a la investigación experimental. El modelo matemático es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + Ti + \beta_j + e_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Observación realizada en el i-ésimo maceta en la repetición j-ésima

$\mu$  = Es la media general

$T_i$  = Denota el efecto del i-ésimo tratamiento

$j$  = Denota el efecto del j-ésimo bloque;

$y_{ij}$  = Denota el efecto aleatorio del error asociado a la observación  $y_{ij}$ .

Tabla N.º 1. Diseño Completamente al Azar (DCA)

Fuente de variabilidad	Grado de libertad
Tratamiento (T-1)	11
Error	24
Total (Total Unidades Experimentales-1)	35

La dosificación por maceta fue 150 gr de aserrín 150 gr estiércol orgánico, y 700 gr de suelo contaminado, para lo cual se utilizó estiércol de vaca, estiércol de cerdo, aserrín de bolaina, aserrín de capirona y aserrín de pino, los cuales se distribuyeron en 36 unidades. Según se aprecia en la Tabla N.º 2.

Tabla N.º 2. Combinaciones de los 12 tratamientos del experimento

TRATAMIENTOS	COMBINACIONES	REPETICIONES
$T_1$	SC <sup>1</sup>	3
$T_2$	SC+ <sup>2</sup> V+ Cap.	3
$T_3$	SC+V+ <sup>3</sup> B	3
$T_4$	SC+V+P	3
$T_5$	SC+ <sup>4</sup> C+B	3
$T_6$	SC+C+ <sup>5</sup> Cap	3
$T_7$	SC+C+ <sup>6</sup> P	3
$T_8$	SC+V	3
$T_9$	SC+C	3
$T_{10}$	SC+B	3
$T_{11}$	SC+Cap.	3
$T_{12}$	SC+P	3
Total		36 unidades experimentales

1 unidad experimental = 1 kg de tratamiento/maceta.

- 1 (SC) Suelo contaminado por hidrocarburos
- 2 (V) Vacaza
- 3 (B) Aserrín de bolaina
- 4 © Cerdaza
- 5 (Cap) Capirona
- 6 (P) Pino

La dosificación de los tratamientos de acuerdo al Diseño de Bloques Completamente al Azar establecido en campo fueron 12, con 3 repeticiones como se aprecia en la Tabla 3.

Tabla N.º 3. Dosificación por tratamiento (Kg)

Insumos (kg)	Tratamientos											
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>
Suelo contaminado	1	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Bolaina	0	0	0.15	0	0.15	0	0	0	0	0.3	0	0
Capirona	0	0.15	0.00	0	0	0.15	0.15	0	0	0	0.3	0
Pino	0	0	0	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0.3
Cerdaza	0	0	0	0	0.15	0.15	0.15	0	0.3	0	0	0
Vacaza	0	0.15	0.15	0.15	0	0	0	0.3	0	0	0	0

Para la instalación del bioensayo, en campo se consideró un testigo (puro suelo contaminado) y los tratamientos en macetas con 1 kg de muestra con las combinaciones respectivas, como se muestra en la Figura N.º 1.

TRATAMIENTOS	COMPOSICIÓN	REPETICIONES
Testigo	Suelo contaminado puro (SC)	
T <sub>2</sub>	Suelo contaminado con vacaza con capirona	
T <sub>3</sub>	Suelo contaminado con vacaza con bolaina	
T <sub>4</sub>	Suelo contaminado con vacaza con pino	
T <sub>5</sub>	Suelo contaminado con cerdaza con bolaina	
T <sub>6</sub>	Suelo contaminado con cerdaza con capirona	
T <sub>7</sub>	Suelo contaminado con cerdaza con pino	
T <sub>8</sub>	Suelo contaminado con vacaza	
T <sub>9</sub>	Suelo contaminado con cerdaza	
T <sub>10</sub>	Suelo contaminado con bolaina	
T <sub>11</sub>	Suelo contaminado con capirona	
T <sub>12</sub>	Suelo contaminado con pino	

Figura N.º 1. Distribución de tratamientos de acuerdo al DCA.

Durante el periodo que duró el experimento, tanto para la germinación y crecimiento del maíz, se procedió a controlar el riego cada dos días; para mantener su capacidad de campo. Tal como se aprecia en las Figura N.º 2 y 3.



Figura N.º 2. Crecimiento de la planta de maíz de acuerdo al DCA.



Figura N.º 3. Riego de plantas de maíz bajo condiciones naturales.

#### IV. RESULTADOS

Los resultados de laboratorio TPH inicial y TPH final de las concentraciones de hidrocarburos en los 12 tratamientos, se presenta en la Tabla N.º 4.

**Tabla N.º 4.** Concentración de TPH inicial y final del experimento y porcentaje de reducción de TPH.

Tratamientos	Dosificación	(**)TPH INICIAL (gr TPH/kg de suelo)	TPH FINAL (gr TPH/kg de suelo)	(%) de reducción
T1	Suelo C ontaminado	21.81	21.37	2.00
T2	SC+V+Cap.	19.90	16.92	22.00
T3	SC+V+B.	19.85	16.28	25.00
T4	SC+V+P	19.80	16.63	24.00
T5	SC+C+B	19.87	16.59	24.00
T6	SC+C+Cap	20.80	17.89	18.00
T7	SC+C+P	20.25	17.01	22.00
T8	SC+V	20.60	18.15	17.00
T9	SC+C	20.70	18.42	16.00
T10	SC+B	20.90	19.23	12.00
T11	SC+Cap.	21.20	20.14	8.00
T12	SC+P	21.10	19.83	9.00
<b>Promedio del % de Reducción de TPH</b>			<b>16.58</b>	<b>16.58</b>

(\*\*) Expresado en gr de TPH/kg de suelo. Laboratorio Envirolab -2007

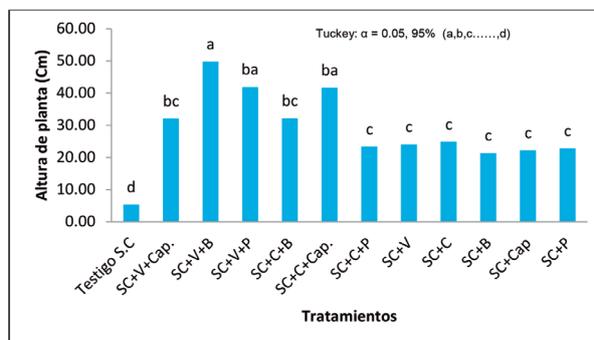
En la Tabla N.º 5. Se presenta los promedios de las variables; altura de planta, peso seco foliar y peso seco radicular, obtenidos en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos de la Universidad Agraria La Molina al culminar el experimento.

**Tabla N.º 5.** Promedios de altura de planta, peso seco foliar y peso seco radicular por tratamiento.

TRATAMIENTO	DE PLANTA (cm)	FOLIAR (gr)	RADICULAR R (gr)
Suelo contaminado	5.34	2.53	2.70
SC+V+Cap	32.09	6.03	4.07
SC+V+B	49.77	8.67	6.73
SC+V+P	41.88**	6.74**	4.46**
SC+C+B	32.12	5.88	3.68
SC+C+Cap	41.61	5.90	4.80
SC+C+P	23.36	5.32	3.30
SC+V	24.06	6.00	3.37
SC+C	24.90	5.38	3.41
SC+B	21.38	5.06	4.22
SC+Cap.	22.18	4.66	4.43
SC+P	22.85	4.66	3.53
C.V. (%)	9.67	10.73	11.74
Significación Estadística del ANVA	(**)	(**)	(**)

De acuerdo a la Tabla N.º 5, según el estadístico de Tuckey, arroja un coeficiente de variación (CV), para las variables altura de planta 9.67 %, para el peso seco foliar de 10.73 %, y para la variable peso seco radicular 11.74 %, respectivamente, lo cual indica que no hubo variación en cada uno de las repeticiones por tratamiento. Existe alta significancia estadística para las tres variables evaluadas, por lo que se considera que estas variables son

importantes para evaluar la concentración de los hidrocarburos en experimentos atípicos de biorremediación usando plantas de maíz. Seguidamente, en la Figura N.º 4 se presenta la altura promedio del maíz en los tratamientos evaluados.



**Figura N.º 4.** Altura promedio del maíz por tratamiento.

En la Figura N.º 4 se observa que el tratamiento T<sub>3</sub>, fue el que supero a todos los demás tratamientos en altura de planta (49.67 cm), por lo que la variable altura de planta es un buen indicador para evaluar el crecimiento de las plantas de maíz, con una concentración de hidrocarburos de 19.85 gr de TPH/kg de suelo contaminado, la menor altura lo obtuvo el tratamiento T<sub>1</sub>, Suelo contaminado puro (5.34 cm) según se muestra en la Tabla N.º 5, respectivamente.

A continuación se presenta en la Figura N.º 5 el promedio del peso seco foliar del maíz en los tratamientos evaluados.

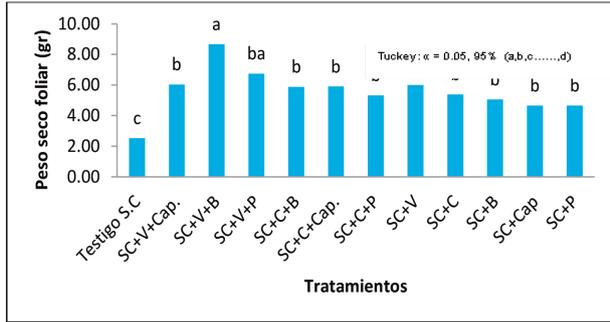


Figura N.º 5. Peso seco foliar promedio del maíz por tratamiento.

En la Figura N.º 5 se presenta la variable peso seco foliar, cuyo comportamiento ha sido similar, en comparación a la variable altura de planta, es decir el tratamiento T<sub>3</sub>, fue el que alcanzó el mayor peso seco foliar, sin embargo el T<sub>1</sub>. Suelo contaminado puro tuvo 2.53 gr de masa foliar seca. Lo que se muestra en la Tabla N.º 5 y Figura N.º 6, respectivamente.

A continuación se presenta en la Figura N.º 6 el promedio del peso seco radicular del maíz en los tratamientos evaluados.

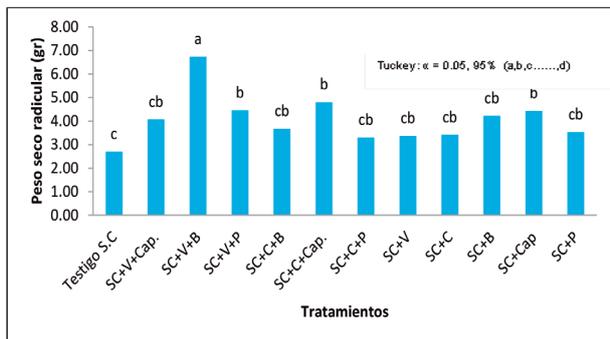


Figura N.º 6. Peso seco radicular promedio del maíz por tratamientos.

En la Figura N.º 6 se presenta la variable peso seco radicular, cuyo comportamiento ha sido similar, en comparación a la variable altura de planta, y peso seco foliar. Por lo que uno de los tratamientos que menor reducción tuvo fue el tratamiento T<sub>1</sub> con una reducción del 2%, lo que indica que una planta de maíz no desarrolla en un suelo con una concentración de 21.81 gr de TPH/kg de suelo. Sin embargo su escaso crecimiento se debió a las reservas de la semilla, mas no al suelo, según la Tabla N.º 5.

Finalmente presentamos el porcentaje de las concentraciones de hidrocarburos y ranking de reducción de TPH en el suelo, según la Tabla N.º 6.

Tabla N.º 6. Ranking de reducción

Tratamiento	Ranking	Combinacion	Porcentaje de reduccion
T3	1	SC+V+B.	25.00
T5	2	SC+C+B	24.00
T4	3	SC+V+P.	24.00
T7	4	SC+C+P	22.00
T2	5	SC+V+Cap	22.00
T6	6	SC+C+Cap	18.00
T8	7	SC+V	17.00
T9	8	SC+C	16.00
T10	9	SC+B	12.00
T12	10	SC+P	9.00
T11	11	SC+Cap.	8.00
T1	12	Suelo contaminado	2.00

El tratamiento T<sub>5</sub>, suelo contaminado, más cerdaza, más bolaina, muestran que el estiércol de cerdo por ser un animal monogástrico, la excreta posee materia orgánica semidescompuesta lo que retarda la absorción de los nutrientes por parte de los microorganismos, lo que se atribuye al segundo lugar en el ranking de reducción, según se muestra en la Tabla N.º 6.

Cabe indicar que el estiércol de vacaza tiene una función fijadora de bacterias, mientras que el aserrín es un elemento aireador de la estructura del suelo.

**V. CONCLUSIONES**

El tratamiento de mayor reducción en la concentración de los hidrocarburos totales de petróleo ha sido: suelo dosificado con vacaza más aserrín de bolaina (T<sub>3</sub>). Puesto que de 21.81 gr de TPH/kg de suelo se redujo a una concentración de 16.28 gr de TPH/kg de suelo, que representa una reducción del 25%.

Los suelos contaminados con hidrocarburos, tratados con aserrín y estiércoles orgánicos en promedio disminuyó 22.5 % del contenido de hidrocarburos en el suelo. Empleando solo estiércol disminuyó solamente 16.5% y usando solamente aserrines disminuyó 9.6%.

Los suelos contaminados tratados con estiércol orgánico más aserrines, utilizados como sustratos para la planta del maíz, tuvieron en promedio 36.80 cm de altura de planta, en comparación a los tratamientos de suelos contaminados usando solamente estiércol un promedio de 24.48 cm y utilizando solamente aserrín un promedio de 22.14 cm.

Los suelos contaminados tratados con estiércol orgánico, más aserrines, utilizados como sustratos para la planta del maíz, tuvieron en promedio 6.42 gr de peso seco foliar, en comparación a los tratamientos de suelos contaminados

usando solamente estiércol un promedio 5.68 gr y utilizando solamente aserrín un promedio de 4.79 gr.

Los suelos contaminados tratados con estiércol orgánico, más aserrines, utilizados como sustratos para la planta del maíz, tuvieron en promedio 4.50 gr de peso seco radicular, en comparación a los tratamientos de suelos contaminados usando solamente estiércol un promedio 3.39 gr y utilizando solamente aserrín un promedio de 4.06 gr.

La planta de maíz es un buen indicador para evaluar la reducción de la concentración de hidrocarburos en los suelos contaminados a través de sus variables la altura de la planta, peso seco foliar y peso seco radicular.

El cultivo de maíz ha tenido una mayor altura de planta, mayor peso seco foliar, y peso seco radicular, cuando los suelos contaminados con hidrocarburos han sido tratados de manera conjunta mediante estiércoles más aserrines y menos desarrollo cuando solamente han sido tratados con estiércol o aserrines.

## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de estiércoles orgánicos, como vacaza y cerdaza más aserrines de especies maderables del tipo suave (bolaina y pino) como fuente de remediación para suelos contaminados con hidrocarburos. Se recomienda el uso de estiércoles y aserrines porque es una tecnología de bajo costo y de fácil manejo, para mejorar la resiliencia del suelo.

Aplicar esta técnica de biorremediación a los suelos contaminados de la refinería la pampilla y otros lugares con condiciones similares.

Realizar la prueba piloto propuesta para la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos para una hectárea de terreno en campamentos con suelos contaminados; usando plantas nativas tolerantes a los hidrocarburos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arbaiza (2011). Centro Internacional de Tecnología y ransformación de la Madera. CITE. Ucayali. Perú.
2. Berkelley (2011). Laboratorio de biorremediación. EE.UU.
3. Cooney, J., Silver, S. Y Beck, E. (1985). Factor sin-fluencing hydrocarbons degradation in three freshwater lakes. *Microbial Ecology*, 11:127-237.
4. Escalante, E. (2000). Estudio de Ecotoxicidad de un suelo contaminado con hidrocarburos. Tesis para obtener el grado de maestro en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana, México. D. F.
5. Frick, C.M., R.E. Farrelly J.J. Germida (1999). Assessment of Phytoremediation as an in situ Technique for Cleaning Oil-Contaminated Sites. Petroleum Technology Alliance of Canada. Vancouver, British Columbia.
6. Guerrero, J. (2001). El compost y abono orgánico compuesto para mejorar y dar vida a nuestros suelos. Taller de conservación de suelos y agricultura sostenible. UNALM. Lima.
7. Instituto Nacional de Ecología (2003). Ambiente y Desarrollo. Lima, Perú.
8. Juzcamayta J. (2007). Biorremediación de suelos contaminados mediante el uso de organismos vivos. Lab. de Biorremediación de la UNALM. Lima. Perú.
9. Navarro, *et al.* (2001). La biorremediación en Perú. Lima-Perú.
10. Ocampo, J., Robles. (2002). El compostaje como método de bioremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Tesis UNALM. Lima, 81 pp.
11. USEPA OUST (2003). Environmental Fact Sheet: Analytical Métodos for Fuel Oxygenates, EPA 510-F-03-001. <http://www.epa.gov/OUST/mtbe/omethods.pdf>.