

# Remoción de hidrocarburos totales en suelos contaminados con petróleo mediante residuos de Cachaza y Bagazo de caña de azúcar

## *Removal of total hydrocarbons in soils contaminated with oil through waste of Cachaza and Bagazo of sugar cane*

RODRÍGUEZ MAGDA, Geldres Elena<sup>1</sup>

### RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el porcentaje de remoción de hidrocarburos Totales del petróleo utilizando como elementos biorremediadores los residuos de cachaza y bagazo de caña de azúcar. Para el proceso de experimentación, se trabajó con muestras de suelos recolectadas de regiones del norte del país (zonas petroleras); los sistemas de experimentación se trabajaron en proporciones de suelo/residuo con cachaza y bagazo de 95:5, 90:10 y 85:15. Adicionalmente se agregó nutrientes a la relación de Carbono/Nitrogeno/Fosforo de 100:10:1 utilizándose como fuente de nitrógeno  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  y de fósforo  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . El tiempo de experimentación fue de 15 días en condiciones ambientales. Para el proceso de medición de la efectividad del bagazo y cachaza se analizaron las concentraciones de Hidrocarburos tipo F1 (C5-C10), F2 (C10-C28) y F3 (C28-C40). Se concluyó en los sistemas de suelos analizados la mejor remoción se observó en la proporción de 85:15, obteniendo el bagazo una mejor proporción de remoción (61%) respecto a la cachaza (45%).

**Palabras clave:** bagazo, cachaza, caña de azúcar, hidrocarburos totales del petróleo.

### ABSTRACT

The objective of the present investigation was to determine the percentage of removal of Total hydrocarbons of the petroleum using as bioremediation elements the residues of cachaça and bagasse of sugar cane. For the experimentation process, samples were collected from soils harvested from regions of the north of the country (oil zones); The experimental systems were worked on soil / residue ratios with cachaça and bagasse of 95: 5, 90:10 and 85:15. In addition, nutrients were added at the Carbon / Nitrogen / Phosphorus ratio of 100: 10: 1 using as  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  nitrogen source and  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  phosphorus source. The experiment time was 15 days under ambient conditions. For the process of measuring the effectiveness of bagasse and cachaça, the hydrocarbon concentrations type F1 (C5-C10), F2 (C10-C28) and F3 (C28-C40) were analyzed. It was concluded in the analyzed soil systems the best removal was observed in the proportion of 85:15, obtaining the bagasse a better proportion of removal (61%) than the cachaça (45%).

**Key words:** Bagasse , cachaça, sugar cane, total petroleum hydrocarbons.

<sup>1</sup>Docente tiempo parcial de la Universidad César Vallejo

## INTRODUCCIÓN

La contaminación medioambiental de suelos producida por el derrame de hidrocarburos es un asunto cada vez más común. Esta contaminación es un hecho frecuente en las estaciones de servicio y parques de almacenamiento, producida principalmente por fugas en los tanques de almacenamiento o durante el proceso de descarga de cisternas (Intertek, 2011).

El interés por el destino de los residuos del petróleo es relativamente reciente. Las necesidades de una sociedad cada vez más consumista, han llevado a un crecimiento de la industria petroquímica con un fuerte impacto sobre la calidad del ambiente.

La contaminación por petróleo suele tener gran repercusión sociológica cuando es de carácter masivo; sin embargo, la proximidad cotidiana a la contaminación por petróleo no tiene su origen en estos episodios controversiales. Nuestro uso energético cotidiano, las redes de almacenaje y distribución de los productos energéticos, probablemente nos sitúan ante riesgos ambientales, no por desconocidos menos significativos. Tan es así que, son más frecuentes las actividades para descontaminar ambientes desconocidos por la opinión pública, que aquellos contaminados en episodios de mayor significación mediática.

El petróleo es una mezcla compleja de gases, líquidos y sólidos. Los componentes mayoritarios son los hidrocarburos (HCs). Además contiene algunos metales (hierro, níquel, vanadio y otros). Los HCs suelen distribuirse por su tamaño molecular en varias fracciones. La más pesada está representada por fracciones de 22 a 40 átomos de carbono (Fracción C22-C40) (Universidad de Granada, 2015).

Los hidrocarburos totales de petróleo (TPH, por sus siglas en inglés) son una mezcla de muchos compuestos diferentes. Todo el mundo está expuesto a los TPH de diferentes fuentes, incluyendo gasolineras, aceite derramado sobre el pavimento, y sustancias químicas usadas en el hogar y en el trabajo. Algunos compuestos de los TPH pueden perjudicar al sistema nervioso, produciendo dolores de cabeza y mareo (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2014).

Los términos hidrocarburos totales de petróleo (TPH) se usan para describir una gran familia de varios cientos de compuestos químicos originados de petróleo crudo. El petróleo crudo es usado para manufacturar productos de petróleo, los que pueden contaminar el ambiente. Debido a que hay muchos productos químicos diferentes en el petróleo crudo y en otros productos de petróleo, no es práctico medir cada uno en forma separada. Sin embargo, es útil medir la cantidad total de TPH en un sitio.

Los TPH son una mezcla de productos químicos compuestos principalmente de hidrógeno y carbono, llamados hidrocarburos. Los científicos han dividido a los TPH en grupos de hidrocarburos de petróleo que se comportan en forma similar en el suelo o el agua. Estos grupos se llaman fracciones de hidrocarburos de petróleo. Cada fracción contiene muchos productos químicos individuales.

Algunas sustancias químicas que pueden encontrarse en los TPH incluyen a hexano, combustibles de aviones de reacción, aceites minerales, benceno, tolueno, xilenos, naftalina, y fluoreno, como también otros productos de petróleo y componentes de gasolina. Sin embargo, es probable que muestras de TPH contengan solamente algunas, o una mezcla de estas sustancias químicas (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2014)

La contaminación de los suelos por los hidrocarburos es un problema importante en la mayor parte de los países productores de petróleo. La matriz suelo es espacialmente variable y está demostrado que las propiedades químicas, que juegan un papel importante en la adsorción del contaminante, tales como pH, textura y materia orgánica, muestran una distribución altamente variable.

La biorremediación es una técnica innovadora que se ha desarrollado en las décadas de los 80 y 90, la cual ha sido aplicada exitosamente en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos. Se caracteriza por ser una técnica de bajo costo de operación.

La biorremediación es considerada la vía más efectiva para la remediación de suelos contaminados, en contraste a alternativas más costosas como la incineración. Los tratamientos biológicos de degradación en suelos pueden ser eficientes y económicos si las condiciones de biodegradación son optimizadas (Álvarez, 2001) (Belloso, 1998) (Cursi y Calleja, 2000).

El Perú en su zona costera y por las características propias de la geografía y del clima tiene una muy elevada productividad para la producción de caña de azúcar. La productividad promedio de 110 toneladas registrada en el 2006 (MINAG, 2008); fue una de las más elevadas del mundo por encima de países con gran tradición cañera como Brasil y Colombia. Incluso en algunos proyectos se ha registrado productividades que alcanzan las 140 toneladas.

En relación a la cachaza y el bagazo de caña de azúcar, que son subproductos de la industria azucarera, con 30 y 300 kg por tonelada de materia prima procesada respectivamente (Zérega, 1993), el bagazo de caña de azúcar es parcialmente

utilizado en calderas o para la extracción de subproductos como alcohol, mientras que la cachaza es utilizada para el mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo (Serratia et al. 1990, Benedicto-Valdés et al. 2005). Sin embargo, el aprovechamiento de ambos residuos no es del todo eficiente por lo que se han considerado como fuentes de contaminación ambiental (Gutiérrez-Barba y Herrera-Colmenero 2002, Oswald y Oswald-Spring 2003).

Ante lo descrito, el presente proyecto tiene como problema de investigación determinar ¿Cuál es el porcentaje de remoción de Hidrocarburos Totales en un suelo contaminado con petróleo al usar cachaza y bagazo de caña de azúcar?

Como objetivo general se plantea: determinar el porcentaje de remoción de Hidrocarburos Totales en un suelo contaminado al usar residuos de cachaza y bagazo de caña de azúcar.

Y como objetivos específicos:

- Evaluar el contenido de Hidrocarburos Totales en suelo contaminado antes del proceso de biorremediación con residuos de cachaza y bagazo de caña de azúcar.
- Establecer la proporción adecuada de residuos de cachaza y bagazo de caña de azúcar para remover Hidrocarburos Totales en suelos contaminados
- Evaluar el contenido de Hidrocarburos Totales en suelo contaminado después del proceso de biorremediación con residuos de cachaza y bagazo de caña de azúcar

En el estudio realizado por Pastora y col, (2013), en la investigación denominada "Caracterización y evaluación del bagazo de caña de azúcar como biosorbente de hidrocarburos", analizaron diferentes parámetros físico-químicos del bagazo de caña de azúcar: humedad, densidad aparente, densidad real, porosidad, flotabilidad, capacidad máxima de sorción y microscopía electrónica de barrido. Definieron la fracción de interés (+1 -2 mm), en base al rendimiento en el tamizado (41%), la homogeneidad de dicha fracción y su capacidad de sorción (2g diesel/g BN). Los resultados obtenidos en los estudios de equilibrio de sorción fueron ajustados utilizando los modelos de isotermas de sorción Langmuir y Freundlich. Los estudios realizados demostraron que el BN tiene potencialidades como biosorbente de hidrocarburos a la granulometría estudiada (+1 -2 mm). Finalmente concluyen que el biosorbente de bagazo de caña de azúcar evaluado es efectivo en la remoción de los indicadores de la contaminación: grasas, aceites (98,5%) e hidrocarburos totales (94,8%).

Según Martínez P; Esperanza G; Rodríguez I. Monteagudo M. y Rodríguez R, (2009), en el estudio denominado "Factibilidad de aplicación de biomateriales sorbentes en la limpieza de aguas oleosas" evaluaron al bagazo de la caña de azúcar como material orgánico natural utilizado como sorbente en la operación de limpieza e aguas oleosas las cuales son aguas de la operación del

lavado del diesel utilizado como materia prima para la generación de energía eléctrica, tienen un alto contenido de grasas, aceites e hidrocarburos, siendo consideradas, por tanto, como residuos tóxicos y peligrosos. Los resultados obtenidos reflejan que, a una granulometría de 0,161-0,21 mm, a 24 h de contacto y con mezclado inicial, se obtienen los mayores valores de sorción, con lo cual se implementaría, de manera eficiente, económica y segura, una alternativa viable para la limpieza de aguas oleosas, y así disminuir su poder contaminante.

Danglad J. y Col. (2013), en la investigación "Partículas hidrofobadas de bagazo de caña de azúcar para el tratamiento de hidrocarburos en agua", indican que la aplicación de partículas hidrofobadas de bagazo de caña de azúcar en el tratamiento de agua contaminada con hidrocarburos derivados del petróleo, obtuvo un 94% de remoción de hidrocarburos por retención de partículas de bagazo, durante 30 min de operación discontinua, para un diámetro promedio de partículas de 457  $\mu\text{m}$  e hidrofobadas con 30% m/m de parafina; el mecanismo de adhesión del hidrocarburo sobre las partículas de bagazo se ajustó a un modelo potencial, con valores del coeficiente y el exponente de 0,011 y 0,559, respectivamente. Concluyen que la disposición del medio adsorbente utilizado se facilita por el potencial combustible tanto del bagazo como del hidrocarburo.

Montejo, M. (2009); en la investigación denominada "Medición de la calidad de un suelo biorremediado a través de la actividad enzimática de: lipasa, deshidrogenasa y ureasa"; realizó una biorremediación a nivel de microcosmos con residuos agroindustriales aplicando tratamientos de bagazo-cachaza para aplicar después enzimas específicas de lipasas, deshidrogenasas y ureasa. Dentro de sus resultados obtenidos indican que los sistemas aplicados con cachaza aportó grandes cantidades de amonio lo que contribuyó a que el efecto de las enzimas sea más óptimo, así mismo indican que para el tratamiento de suelos contaminados la relación suelo:cachaza presento un 48% de remoción de HTP.

Trujillo, A y Col (2014), en el trabajo de investigación denominado "Uso de fertilizantes orgánicos en la enmendación de un fluvisol restaurado tras la contaminación con petróleo" midieron la efectividad de la cachaza como enmendador en suelos contaminados con petróleo crudo. El efecto se midió en respuesta en plantas de rabanito, propiedades físicas, químicas del suelo, carbono de la biomasa microbiana y las densidades de rizobacterias fijadoras de N y solubilizadoras de fosfatos. Concluyen que la cachaza tiene potencial para mejorar suelos contaminados.

Actualmente la contaminación de suelos constituye una cuestión relevante para el medio ambiente, por eso es necesaria la aplicación de

alternativas nuevas que contribuyan a la disminución de este impacto significativo. No es ajena a nuestra realidad, que la contaminación de suelo con petróleo crudo, es una problemática que no deja de ser importante, debido a las consecuencias que produce.

Se están realizando estudios donde el uso de elementos orgánicos agroindustriales están tomando importancia en los tratamientos de suelos contaminados, tal es el caso de bagazo o cachaza, entre otros.

Por ello, esta investigación se justifica desde tres puntos de vista. Desde el punto de vista práctico,

ya que la misma propone al problema planteado una estrategia de acción que al aplicar residuos de cachaza y bagazo como elementos remediadores en la contaminación de suelos con petróleo crudo, desde el punto de vista teórico, esta investigación generará discusión tanto sobre el conocimiento existente del área investigada, como dentro del ámbito de la Ingeniería Ambiental. Desde el punto de vista metodológico, esta investigación está generando la aplicación de un nuevo método de investigación para generar conocimiento válido y confiable dentro del área de la Ingeniería Ambiental.

## MATERIAL Y MÉTODO

### Descripción del Tipo de Estudio y Diseño

- Tipos de estudio: Aplicado
- Diseño de investigación: Experimental

### Población y Muestra

**Población:** Suelos contaminados con petróleo de la zona Norte del Perú

**Muestra:** 50 Kg de suelo contaminado con petróleo de la ciudad de Talara, Piura.

### Metodología

#### Recolección de suelos contaminados

Al suelo contaminado se le trató mediante un secado a temperatura ambiental en el laboratorio, fue homogenizado, tamizado a través de una malla de 2 nm y almacenado a 4°C. Después de su proceso de almacenamiento se procedió a realizar los análisis de pH, conductividad y humedad como parte de su caracterización inicial.

#### Obtención de residuos de cachaza y bagazo de caña de azúcar

La recolección de las muestras de cachaza y bagazo de caña de azúcar se realizó en el Ingenio azucarero Sol de Laredo, mediante un muestreo aleatorio simple.

#### Sistemas de Experimentación

Se armaron 3 sistemas de experimentación, que consistieron en matraces de Erlenmeyer estériles de capacidad de 500 mL, a las cuales se les colocó la cantidad de suelo y su respectivo residuo, de acuerdo a las siguientes proporciones (%):

Grupo experimental	Relación suelo/cachaza (%)	Relación suelo/bagazo (%)
G <sub>0</sub>	100:0	100:0
G <sub>1</sub>	95:5	95:5
G <sub>2</sub>	90:10	90:10
G <sub>3</sub>	85:15	85:15

**Figura 1:** Sistemas de experimentación según cantidad de suelo y su respectivo residuo

Los ensayos se realizarán por triplicado para obtener datos más confiables.

Se realizó el ajuste de nutrimentos a la relación de

C:N:P (%) en la relación 100:10:1 utilizándose como fuente de nitrógeno NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> y de fósforo KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>

Relación de suelo/residuo	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (g)	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (g)
95:5	0.677	0.003
Suelo:cachaza 90:10	0.114	0.005
85:15	0.158	0.008
95:5	0.076	0.012
Suelo:bagazo 90:10	0.120	0.023
85:15	0.183	0.033

**Figura 2:** Ajuste de nutrimentos utilizando fuente de nitrógeno NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> y de fósforo KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>

Las muestras se mantuvieron a temperatura ambiental durante 15 días, con aireación a un flujo de 150 mL min<sup>-1</sup> cada tercer día durante 20 minutos (Mendoza-Cantú et al. 2000, Gautam et al. 2003, Akhmetov et al. 2008). Análisis de HTP Se determinó los contenidos iniciales y finales de HTP en cada unidad experimental mediante un laboratorio externo certificado.

Las fracciones de HTP que se midieron fueron las concentraciones de Hidrocarburos tipo F1 (C5-C10), F2 (C10-C28) y F3 (C28-C40).

Los ensayos de laboratorio para hidrocarburos en las muestras de suelo que se realizaron fue el de un sistema de extracción con solvente (hexano) y por cromatografía de gases, con un detector FID (Flame ionization detector), comparando los resultados con el patrón de hidrocarburos corrido previamente en la columna cromatográfica. Los ensayos de laboratorio para TPH se basaron en un método que consistió en la extracción de compuestos orgánicos no volátiles y semivolátiles de sólidos (Laboratorios Moncada Inspec EIRL, 2016)

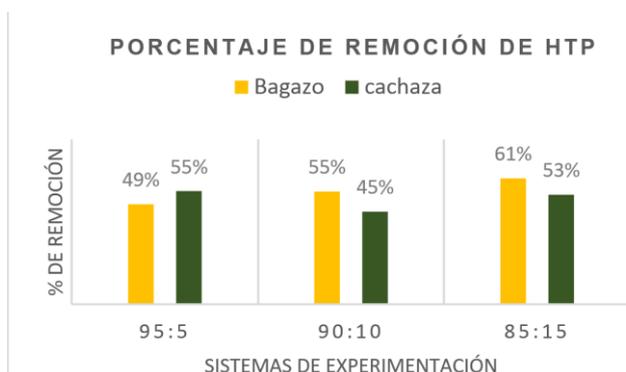
#### Método de análisis de datos

Los datos de las muestras fueron evaluados estadísticamente a fin de validar los valores obtenidos en las variables, a través de un Análisis de Varianza (ANOVA).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La concentración de HTP difirió significativamente entre los tratamientos aplicados a los suelos, de esta forma se registró que el suelo sin ningún tratamiento aplicado presentó la mayor concentración de HTP, y cachaza en relación 90:10

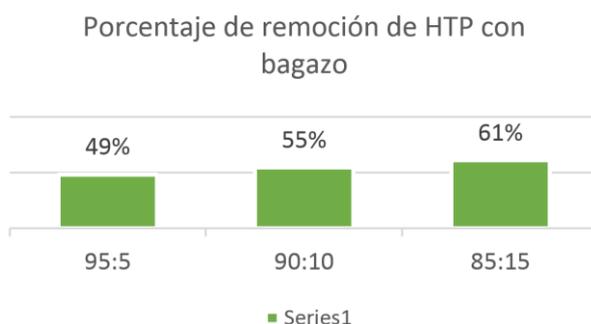
(45%) aunque estos difirieron significativamente. En contraste, el grupo en relación 85:15 para bagazo presentó un valor de HTP alto de 61% de remoción.



**Figura 3:** Resultados del porcentaje de remoción de HTP utilizando bagazo y cachaza de caña de azúcar

En la figura N° 03 correspondiente a los resultados de porcentaje de remoción de HTP utilizando bagazo y cachaza, se puede observar la concentración de HTP difirió significativamente entre los tratamientos aplicados a los suelos (García et al, 2010). Los sistemas de experimentación de bagazo presentaron mejor efecto removedor de HTP de hasta 61%, a diferencia de la cachaza que presentó 53% de efecto removedor. El sistema de tratamiento N°1 (95:5) es el que presentó el más bajo porcentaje de remoción a diferencia del sistema de tratamiento N°3 (85:15), la escasa remoción para el suelo sin residuos indica que tanto el bagazo como la cachaza contribuyen a la remoción de

hidrocarburos del suelo contaminado, este resultado es constatable con lo reportado por García y et al (2010); en la investigación "Uso de cachaza y caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelos contaminados", donde indican que la remoción de HTP fue de 60.1 % para bagazo y de 51.4 % para cachaza, así mismo en una investigación previa se demostró que la eliminación de los hidrocarburos de los suelos contaminados pueden mejorarse sinérgicamente por microorganismos de caña de azúcar Bagazo, alcanzando hasta el 60% de eliminación del total Hidrocarburos de petróleo (Pérez-Armendáriz Et al. 2004).



**Figura 4:** Porcentaje de Remoción de HTP utilizando sólo bagazo

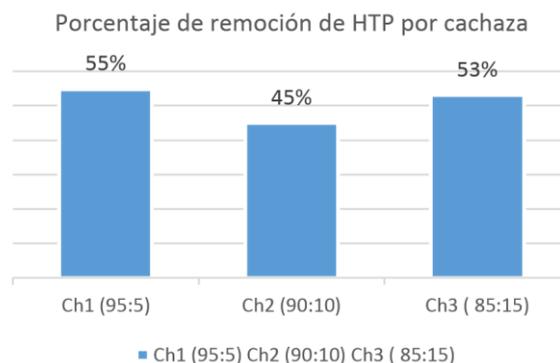
En la figura N° 04 correspondiente a los resultados del porcentaje de remoción de HTP utilizando diferentes concentraciones de bagazo se puede observar que el sistema de experimentación N°3 donde la dosis trabajada fue de 85: 15 de bagazo presentó un 61% de porcentaje de remoción de HTP, este resultado se debe a que el bagazo de caña de azúcar presenta un alto potencial de adsorción favorable para la remoción de hidrocarburos en

agua, además es un residuo de la industria azucarera que se consigue a bajo costo y por su alto valor calorífico puede ser aprovechado en la generación de energía, una vez utilizado en la limpieza de aguas aceitosas. Hussein et al. (2008) investigaron la capacidad de adsorción de fibras medulares de bagazo de caña, carbonizadas a 300°C, para eliminar contaminantes aceitosos del agua; encontrando que tienen una mayor

capacidad de adsorción en comparación con los adsorbentes comerciales. También se ha usado el bagazo modificado para la separación de metales pesados como cadmio, cobre y plomo (Karnitz et al. 2007, Gurgel et al. 2008).

Por otro lado, los resultados se ven diferidos a los encontrados por Danglad y col (2013), en la investigación "Partículas hidrofobadas de bagazo de caña de azúcar para el tratamiento de

hidrocarburos en agua" donde demostraron que el bagazo de caña de azúcar hidrofobado con parafina tiene potencialidades como adsorbente para la remoción de hidrocarburos en agua, dicho proceso de adsorción depende de la granulometría (a mayor diámetro promedio se desfavorece la adsorción) y del porcentaje de parafina (entre 0-30% m/m se incrementa la remoción de hidrocarburos, por encima de 30% m/m no hay un efecto significativo sobre ésta).



**Figura 5:** Porcentaje de Remoción de HTP utilizando sólo cachaza

En la figura N° 05 correspondiente a los resultados del porcentaje de remoción de HTP utilizando diferentes concentraciones de cachaza se puede observar que el sistema de experimentación N°1 donde la dosis trabajada fue de 95: 5 de cachaza presentó un 55% de porcentaje de remoción de HTP a diferencia del sistema N°3 (90:10) cuyo resultado de remoción fue de 45%, este resultado difiere con lo encontrado con los sistemas del bagazo debido a que la cachaza siendo un tipo de enmienda limitada efectividad en recuperar estos suelos y solamente puede ser útil en condiciones de moderados niveles de sodio (Chauhan, C. Tripathi, P. 1983) ; (Laura, R. ;Idnani, A. 1973) En suelos severamente afectados por el sodio, el uso enmiendas inorgánicas generalmente tiene mejores y más rápidos efectos que las enmiendas orgánicas, mejorando principalmente las características químicas, algunas propiedades físicas de esos suelos y aumentando

sustancialmente la producción de cultivos (Chad, 1977; Dragan, 1976; Manchada et col, 1985; SWARUP, A. 1985).

Se han reportado numerosas experiencias con cachaza en el mejoramiento de algunas propiedades físicas del suelo, tales como: tasa de infiltración, retención y distribución de la humedad en el perfil del suelo. Sin embargo, sus efectos perduran solo unos 2 ó 3 años; por ello lo más recomendable, particularmente en cultivos semipermanentes como la caña de azúcar, es mezclar la cachaza con enmiendas químicas como el yeso o fosfoyeso, o con otras enmiendas orgánicas de baja tasa de descomposición en el suelo, como el bagazo y restos de cosecha, para prolongar sus efectos residuales en el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo (Painuli, 1986; Pla, 1979; Weser, 1971; Zérega, 1990).

## CONCLUSIONES

En los sistemas de experimentación de suelos analizados la mejor remoción se observó en la proporción de 85:15, obteniendo el bagazo una

mejor proporción de remoción (61%) respecto a la cachaza (45%).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [ATSDR] (1998). *Reseña Toxicológica de Hidrocarburos totales de petróleo* (TPH) (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. [en línea] [fecha de consulta: 12 Setiembre 2015]. Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts123.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts123.html)
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). *Toxicological Profile for Benzene*. Atlanta: US Public Health Services; 2007. [en línea] [fecha de consulta: 12 Setiembre 2015]. Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp3.html>
- Akhmetov L. I., Filonov, A. E., Puntus, I. F., Kosheleva, I. A., Nechaeva, I. A., Yonge, D. R., Petersen, J. N. y Boronin, A. M. (2008). Horizontal transfer of catabolic plasmids in the process of naphthalene biodegradation in model soil Systems. *Microbiol.* 77, 23-32.
- Bayoumi R. A. (2009). Bacterial bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons in heavy oil contaminated soil. *J. Appl. Sci. Res.* 5, 197-211.
- Benedicto-Valdés G. S., Hidalgo-Moreno C., OrdazChaparro V., Sánchez-Hernández R. y López-David J. P. (2005). Cambios en las propiedades físicas de un suelo arcilloso por aportes de lombricomposto de cachaza y estiércol. *Interciencia.* 30(12), 775-779
- Belloso, C. (1998). *XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Biodegradación de Suelos Contenidos en Terrarios.*
- Cajthaml T., Batt M., Sasek V. y Mateju V. (2002) Bioremediation of PAH-contaminated soil by composting: A case of study. *Folia Microbiol.* 47, 696-700.
- Chand, M.; I. P. Abrol.; D. R. Bhumela. 1977. A comparison of the effect of eight amendments en soil properties and crop growth in a highly sodic soil. *Indian J. Sel.* 47(7): 348-54.
- Chauhan, C., y Tripathi, A.(1983). Reclamation studies on Highiy Saline-Sodic Soil of semi Arid Trae in Uttar Pradesh. *J. Indian Soc. Soil Sei.* 31:587-95.
- Cursi, E.; Calleja, C. (2000). *Biorremediación de suelos contaminados con Hidrocarburos*. U.E. Mendoza: Argentina.
- Danglad, J.; Marfisi, s.; Cova, J.; Enrique, G. (2013). *Partículas hidrofobadas de bagazo de caña de azúcar para el tratamiento de hidrocarburos en agua*. [en línea] [fecha de consulta: 12 Setiembre 2015]. Disponible en: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1315-01622013000100011](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622013000100011)
- Dragan, K.S.; L. Gaul; L. P. Abrol; D. R. Bhumela. 1976. Effect of gypsum. Farmyard manure and zinc on the yield of berseem, rice and maize grown in highly sodic soil. *Indian J. Agric. Sel.* 46(11): 535-41.
- García-Torres, R.; Rios, E.; Martínez, A.; Ramos, F.; Cruz, J.; Cuevas, M. (2010). *Uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelo contaminado*.
- Gautam K. S., Sharma R., Ahmad A. H. y Thakkur, S. I. (2003). Evaluation of pentachlorophenol-degrading potentiality of Pseudomonas sp in a soil microcosm. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 19, 73-78.
- Gutiérrez-Barba B. E. y Herrera-Colmenero N. I. (2002). *La ingeniería ambiental en México*. Limusa. ISBN: 9681861337. México, 27-29 pp.
- Hussein M, Amer A, y Sawsan I. (2008). Oil spill sorption using carbonized pith bagasse: trial for practical application. *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 5(2):233-242.
- INTERTEK. (2015). *Análisis de Suelos Contaminados con Hidrocarburos* [en línea] [fecha de consulta: 12 Setiembre 2015]. Disponible en: <http://www.intertek.es/medioambiente/analisis-de-suelos-contaminados-con-hidrocarburos/>
- Karnitz O Jr, Gurgel LVA, Melo JCP, Botaro VR, Melo TMS, Gil RPF, Gil LF (2007). Adsorption of heavy metal ion from aqueous single metal solution by chemically modified sugarcane bagasse. *Bioresour. Technol.* 28:1291-1297.
- Kästner M. y Mahro B. (1996). Microbial degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil affected by the organic matrix of compost. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 44, 668-675.
- Laura, R. D.; y Idnani, A. (1973). A study on the ameliorative effects of addition of farm compost, charcoal dust and sawdust in saline and alkali soil. *Agrochimica* 17(5): 480-88.
- Manchada, H. R.; R. N. Garg; S. K. Sharma; y J. R. Singh (1985). Effect of the continuous use of sodium and bicarbonate rich irrigation water gypsum and farmyard manure on soil properties and the yield of wheat in a fine loamy soil. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 33: 876-83.
- Mendoza-Cantú A., Albores A, Fernández-Linares L. y Rodríguez-Vázquez R. (2000). Pentachlorophenol biodegradation and detoxification by the white rot fungus Phanerochaete chrysosporium. *Environ. Toxicol.* 15, 107-113.
- MINAG (2008). *La Industria Azucarera Nacional 1999-2006*, pp. 75
- Montejo, M. (2009). *Medición de la calidad de un suelo biorremediado a través de la actividad enzimática de: lipasa, deshidrogenasa y ureasa*.

- Oswald U. y Oswald-Spring U. (2003). *El recurso agua en el alto balsas*. UNAM, México, 148 pp.
- Painuli, D. K.; L. P. Abrol. 1986. Role of some organics in improving sodic soils. *Indian J. Agríc. Sel.* 56(4): 267-76.
- Pastora, M; Rodríguez, R.; Esperanza, G.; Leiva, J. (2013). *Caracterización y evaluación del bagazo de caña de azúcar como biosorbente de hidrocarburos* [en línea] [fecha de consulta: 12 Setiembre 2015]. Disponible en: [www.raco.cat/index.php/afinidad/article/download/276504/364436](http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/download/276504/364436)
- Pérez-Armendáriz B., Loera-Corral O., Fernández-Linares L., Esparza-García F. and Rodríguez-Vázquez R. (2004). Biostimulation of microorganisms from sugarcane bagasse pith for the removal of weathered hydrocarbon from soil. *Lett. Appl. Microbiol.* 38, 373-377.
- PLA, I. (1979). Calidad y uso de agua para riego. Suelos Ecuatoriales. *Soc. Colombia C. del Suelo* 10(2): 26-50.
- Serratia P., Solano A. y Preston T. R. (1990). *Utilización de jugo de caña y cachaza panelera en la alimentación de cerdos*. Livestock Research for Rural Development [en línea] [fecha de consulta: 12 Setiembre 2015]. Disponible en: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd2/2/sarria>.
- Swarup, A. (1985). Yiel and nutrition of rice as influenced by Presubmergence and amendmets in a highiy sodic soil. *J. Indian Soc. Sel.* 33:352-57.
- Swarup, A. (1985). Yiel and nutrition of rice as influenced by Presubmergence and amendmets in a highiy sodic soil. *J. Indian Soc. Sel.* 33:352-57.
- Trujillo-Narcía A, Rivera-Cruz MC, Lagunes-Espinoza LC, Palma-López DJ, Soto-Sánchez S, Ramírez-Valverde G (2012) Efecto de la restauración de un Fluvisol contaminado con petróleo crudo. *Rev. Int. Contam. Amb.* 28: 361-374.
- Universidad de Granada. (2015) *Suelos Contaminados por Hidrocarburos*. [en línea] [fecha de consulta: 12 Setiembre 2015]. Disponible en: [http://www.pomif.com/pages/practicas/micro\\_ambiental/suelos\\_hidrocarburos](http://www.pomif.com/pages/practicas/micro_ambiental/suelos_hidrocarburos)
- Weser, H. W.; P. C. Van Rooyen. (1971). Polysaccharides in molasses weal as an ameliorant for saline-sodic compared to other reciamation agents. *Geoderma.* 6: 233-253.
- Zérega M. L. (1993). Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. *Caña de azúcar.* 11, 71-92.
- ZÉREGA, L. (1993). *Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. Caña de azúcar*, Vol 11 N°2. FONAIAP- Venezuela. [en línea] [fecha de consulta: 7 de Octubre 2015]. Disponible en: [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_ci/canadeazucar/cana1102/texto/manejo.htm](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/canadeazucar/cana1102/texto/manejo.htm)
- ZEREGA, L.; M. ADAMS. (1991). Efectos de la Cachaza y el Azufre sobre un suelo salino sódico de Estado Carabobo bajo condiciones de invernadero. *Rev. Caña de Azúcar.* 9(2): 110-126.
- ZEREGA, M., L. (1990). *Manejo de Suelos y Uso de Fertilizantes en el cultivo de la Caña de Azúcar en Venezuela*. Primera Conferencia sobre manejo de Suelos y Uso de Fertilizantes en el cultivo de Caña de Azúcar en los Países de América Latina y del Caribe. Geplacea (Cuba) 23-27 Marzo. 27 p.

Recibido: 16 marzo 2017 | Aceptado: 03 mayo 2017