POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Comportamiento de factores abióticos en la biorremediación de residuos petrolizados mediante biopilas utilizando texturizantes locales

Original
Comportamiento de factores abióticos en la biorremediación de residuos petrolizados mediante biopilas utilizando texturizantes locales / Casals, Enmanuel; Rabassa, Dayana; Viera, Orlando; Gutiérrez, Omar; Castro Rodriguez David, Javier.. - In: REVISTA CENTRO AZÚCAR. - ISSN 2223-4861. - ELETTRONICO. - 47:3(2020), pp. 36-46.

Availability:
This version is available at: 11583/2870192 since: 2021-02-08T22:21:57Z

Publisher:
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

12 October 2024

Revista Centro Azúcar
VOL 47, Julio-Septiembre, 2020
ISSN: 2223- 4861

Una Publicación de la Editorial Feijóo

Disponible en: http://centroazucar.uclv.edu.cu

Artículo Original

COMPORTAMIENTO DE FACTORES ABIÓTICOS EN LA BIORREMEDIACIÓN DE RESIDUOS PETROLIZADOS MEDIANTE BIOPILAS A ESCALA SEMI-PILOTO

ABIOTIC FACTORS BEHAVIOR IN PETROLIZED RESIDUES BIORREMEDIATION BY BIOPILES AT SEMI-PILOT SCALE

Enmanuel Casals Pérez [1*] https://orcid.org/0000-0003-2385-8846
Dayana Rabassa Rabassa [1] https://orcid.org/0000-0003-3392-6486
Orlando Manuel Viera Ribot [1] https://orcid.org/0000-0002-9735-0431
Omar Gutiérrez Benítez [1] https://orcid.org/0000-0002-3644-6245
David Javier Castro Rodríguez [1] https://orcid.org/0000-0002-7609-3229

[1] Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, carretera Castillo de Jagua km 1 ½, Juraguá, Cienfuegos, Cuba.

Recibido: Noviembre 19, 2019; Revisado: Diciembre 8, 2019; Aceptado: Enero 6, 2020

RESUMEN

Introducción:
La biorremediación mediante la técnica de biopilas tiene como propósito degradar la mayor cantidad de hidrocarburo y la restauración de la calidad de los suelos tratados mediante el empleo de texturizantes, cuyo proceso es afectado por factores abióticos.

Objetivo:
Evaluar el comportamiento de los factores abióticos y su relación con variables climáticas y el tipo de material texturizante en el proceso de biorremediación de residuos petrolizados mediante la ecotecnología de biopilas a escala semi-piloto.

Materiales y Métodos:
Los factores abióticos se tomaron del monitoreo semanal durante 365 días del proceso de biorremediación de residuos petrolizados, según un diseño experimental multifactorial categórico donde de evaluaron siete tipos de tratamientos. Las variables climáticas fueron tomadas de los registros de la estación meteorológica "La Piedra" perteneciente a la provincia de Villa Clara, Cuba.

Resultados y Discusión:
Los cambios en el pH de los tratamientos están relacionados con la capacidad tampón del suelo y con de los texturizantes empleados y no presentan relación con las variables climáticas. Los tratamientos con mejor retención de agua fueron *Thalassia testudinum* y

Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Enmanuel Casals, Email: ecperez@gestion.ceac.cu

Bagazo, este último mantuvo como promedio sus valores de humedad por encima del 20% prestablecido. No se encontraron diferencias estadísticas entre las temperaturas de los tratamientos y estas tuvieron una relación directa moderadamente fuerte con la temperatura del proceso.

Conclusiones:

Debido a las características favorables de absorción de agua por el bagazo éste resultó el mejor tratamiento para mantener los requerimientos necesarios de humedad en las biopilas llegándose hasta valores de 35% de humedad.

Palabras clave: biopilas; biorremediación; factores abióticos; residuos petrolizados; texturizantes.

ABSTRACT

Introduction:

Bioremediation using biopile technique is intended to degrade the hydrocarbon greatest amount and restore treated soil quality using texturizers whose process is affected by abiotic factors.

Objective:

To evaluate the abiotic factors behavior and their relationship with climatic variables and texturizing material type in bioremediation of petrolized waste process through the biopile ecotechnology at semi-pilot scale.

Materials and Methods:

Abiotic factors were monitoring weekly during 365 days in petrolized residues bioremediation process, according to a categorical multifactorial experimental design where seven types of treatments were evaluated. Climatic variables were taken from records of “La Piedra” weather station belonging to Villa Clara, Cuba province.

Results and Discussion:

Changes in treatments pH are related to soil buffer capacity and used texturizers, it’s have no relation with climatic variables. The best water retention treatments were Bagasse and *Thalassia testudinum*. Bagasse treatment maintained its average humidity values above preset 20%. No statistical differences were found between treatments' temperatures and they had a moderately strong direct relationship with process temperature.

Conclusions:

Due to the favorable characteristics of bagasse water absorption, this proved to be the best treatment to maintain the necessary moisture requirements in biopiles, observing up to 35% humidity values.

Keywords: biopiles; bioremediation; abiotic factors; petroleum waste; texturizers.

1. INTRODUCCIÓN

La biorremediación es un método de saneamiento ambiental dentro de las estrategias de remediación basado en el uso de organismos para degradar desechos orgánicos o inorgánicos peligrosos y transformarlos en compuestos menos contaminantes o no contaminantes, como parte de su metabolismo (Abad, 2017). Estos cambios en las propiedades físico-químicas son importantes, ya que en términos generales

determinarán la toxicidad de los hidrocarburos y el comportamiento de éstos (Van Deuren et al., 1997). La biorremediación mediante el empleo de biopilas involucra interacciones complejas de procesos biológicos, químicos y físicos debido a la oxidación aeróbica de los hidrocarburos que requieren de la integración de fenómenos que ocurren a escala microscópica como a gran escala (Rodríguez, 2017). Estas consisten en un proceso de descomposición biológica desarrollado en una pila aireada donde la tierra se mezcla con agentes de modificación en un área de tratamiento (EPA, 2017). El compostaje efectivo se puede lograr proporcionando condiciones ambientales óptimas para los descomponedores. La temperatura, contenido de humedad, relación carbono-nitrógeno, nivel de pH, velocidad de aireación y la estructura física de los materiales orgánicos son factores importantes que influyen en la velocidad y la eficiencia del compostaje (Mustafić et al., 2017).

Los cambios en la temperatura ambiental provocan variaciones en la temperatura de la pila, por lo que habrá ciertos períodos en el año en el cual el crecimiento bacteriano y por tanto la degradación de constituyentes aumentará o disminuirá, según el comportamiento de la temperatura ambiental. El contenido de humedad pude verse alterado por las precipitaciones que caen en el área de la biopila y a su vez causan erosión. También es afectada por los vientos en diferentes condiciones climáticas la cual puede ser limitada aplicando humedad periódicamente a la superficie de la biopila (Martínez et al., 2017). Esta es de vital importancia ya que cantidades suficientes de agua deben estar presentes en el suelo para garantizar la actividad microbiológica. La ausencia de esta puede inhibir la actividad de los microorganismos, mientras que un exceso de la misma puede evitar la difusión de oxígeno hacia los microorganismos (Bahmani et al., 2018).

Dentro de la problemática descrita, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el comportamiento de los factores abióticos y su relación con variables climáticas y el tipo de material texturizante en el proceso de biorremediación de residuos petrolizados mediante la ecotecnología de biopilas a escala semi-piloto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso de monitoreo y control de los factores abióticos fue realizado en el marco correspondiente a la primera fase del proyecto: “Evaluación a escala piloto de la ecotecnología de biopilas para la biorremediación de residuos petrolizados utilizando texturizantes locales”. En esta primera fase del proyecto se evaluó, en un período de 365 días, la biodegradación de grasas y aceites (GyA) e hidrocarburos totales del petróleo (HTP) en un suelo pardo grisáceo con características arena-arcillo-limoso de baja plasticidad con una permeabilidad (Kf) de $1x10^{-1}$ a $1x10^{-5}$, pH=5,72, con una concentración total de metales pesados de 1 951,49 mg/kg y con un contenido de nitrógeno y fósforo de 1,98 y 1,24 mg/g respectivamente. El mismo fue contaminado con 26230,4 mg/kg y 10626,8 mg/kg de GyA e HTP respectivamente, de un residuo petrolizado característico de la Refinería “Camilo Cienfuegos”. Se realizaron 7 tratamientos en forma de pirámide truncada con una altura de 20 cm y un ángulo de 45°, los cuales estuvieron constituidos por una mezcla de suelo, hidrocarburo y un tipo de texturizante en base húmeda (pulpa de café (PC), estiércol vacuno (EV), cachaza, serrín, *Thalassia testudinum* y bagazo), en una relación 10:1,5:1. El otro tratamiento utilizado

fue el nombrado "control", que estuvo constituido solamente por la mezcla de suelo e hidrocarburo. Los tratamientos fueron homogenizados y aireados manualmente en una frecuencia de 15 días y se humectaron los mismos cada 4 días.

Para la evaluación del comportamiento de los factores abióticos, tales como la temperatura (T), humedad (H) y el potencial de hidrógeno (pH), se realizó un monitoreo semanal de los mismos correspondientes al período de un año el cual fue registrado en una hoja de chequeo. La temperatura fue medida con un termómetro de escala de 0-50°C con un error de estimación de ±0,1^{o}C, marca Silber Brand, en el centro de la biopila, cuidando que el orificio de introducción del termómetro no tuviese un diámetro muy ancho para que no se disipara la temperatura. El valor de la temperatura fue tomado aproximadamente 10 minutos después de haber introducido el termómetro para garantizar la estabilización de la medición.

Para el monitoreo del pH y de la humedad se tomaron pequeñas submuestras de profundidad y superficie alternando en 5 puntos dispuestos en las diagonales que se correspondan, cuatro de ellos en las esquinas y uno en el centro de las biopilas. A partir de estas submuestras se conformó una muestra compuesta homogenizando bien las porciones de suelo tomadas y realizando un cuarteo para la selección de 3 g para el análisis de pH y para la determinación del porcentaje de humedad. La caracterización con respecto a los valores de pH y el porcentaje de humedad se realizaron de acuerdo con las normas cubanas 2001: 2015 y 110: 2011 de calidad del suelo respectivamente. Además, se tomaron datos semanales correspondientes a las variables de temperatura media (°C), humedad relativa media (%), precipitación (mm) y viento medio (km/h) durante el período experimentación, de los registros de la estación meteorológica "La Piedra" ubicada en Carretera a Jibacoa, km 4, Manicaragua, Villa Clara.

Los datos fueron procesados estadísticamente utilizando el software *Statgraphics Centurion* versión 16.1.18. Se llevó a cabo un análisis de varianza ANOVA para cada variable de análisis con el objetivo de determinar las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos. Se realizaron análisis para la identificación de datos aberrantes aplicando la Prueba de Grubb. Se realizaron gráficas de cajas y bigotes para conocer cuáles eran las medias significativamente diferentes de otras. Además, se utilizaron pruebas gráficas y tabulares para verificar el cumplimiento de supuestos subyacentes al análisis de varianza. Para evaluar la incidencia de las variables climáticas sobre el comportamiento de los factores abióticos se aplicó el procedimiento de análisis multivariado para verificar la relación de las variables T, H y pH de las biopilas, con las variables climáticas analizadas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del análisis de varianza realizado se obtuvo que no existen diferencias estadísticas significativas entre los diferentes tratamientos para la variable temperatura (valor-p>0,05 con un 95% de confianza). Lo anterior sugiere que dicha variable no está influenciada por el tipo de material texturizante. Sin embargo, las variables pH y H no se comportaron de igual manera, puesto que presentaron valores-p iguales a 0, indicando la existencia de diferencias estadísticas significativas. Por tanto, el tipo de material texturizante en la mezcla se relaciona con la existencia de cambios significativos en las variables H y el pH con un 95% de confianza. A continuación, se

realiza un análisis por separado de cada una de las variables en la frecuencia pH, Humedad y Temperatura respectivamente.

3.1. pH

En la Figura 1 se muestra el comportamiento de los valores de pH de todos los tratamientos en función de los muestreos semanales consecutivos. En el período correspondiente a los primeros 135 días, se observó irregularidad en los valores de pH con una tendencia de la disminución de estos. Este resultado podría explicarse por la producción de ácidos orgánicos, CO_2 disuelto en el medio y subproductos de la degradación de compuestos fácilmente biodegradables (Ma et al., 2016). A partir de los 135 días se comienza a observar un aumento progresivo en el comportamiento del pH para todos los tratamientos, lo cual pudiera estar relacionado con la producción de amoniaco a partir de la degradación de las aminas (Majbar et al., 2018), como producto del agotamiento de los carbohidratos disponibles como fuente de energía. Por lo general, el pH se comportó en el intervalo de 6 a 8 marcado como los límites inferior y superior, requerido para la ecotecnología de biopilas (Osoria, 2018), con excepción del Control que superó frecuentemente el valor de 8, predominando en el período un pH básico para dicho tratamiento. Lo anterior, podría indicar una baja capacidad tampón del suelo contaminado, la cual es dependiente de la cantidad de materia orgánica y las arcillas, quienes reducen los cambios en el pH (Vallejo y col., 2016).

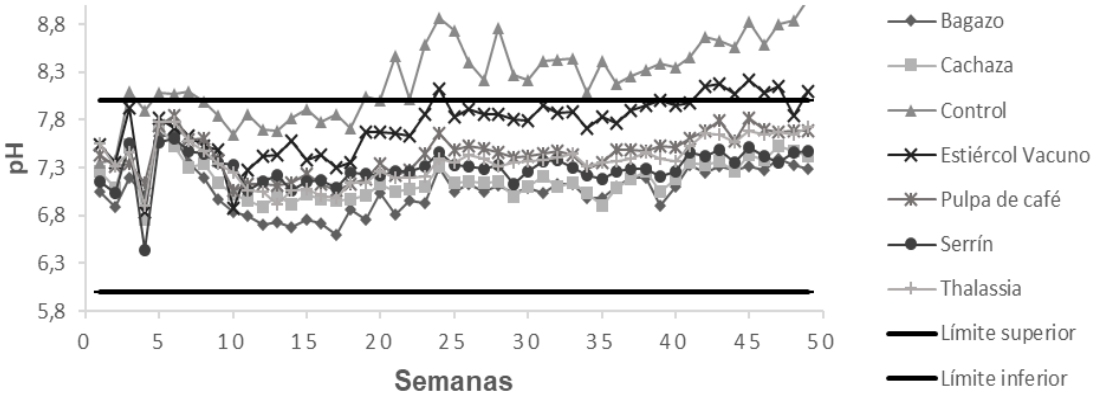


Figura 1. Gráfica de los valores de pH de Tratamientos vs. Semanas

En la Figura 2 se muestran los diagramas de caja y bigotes para determinar qué medias son significativamente diferentes de cuáles otras.

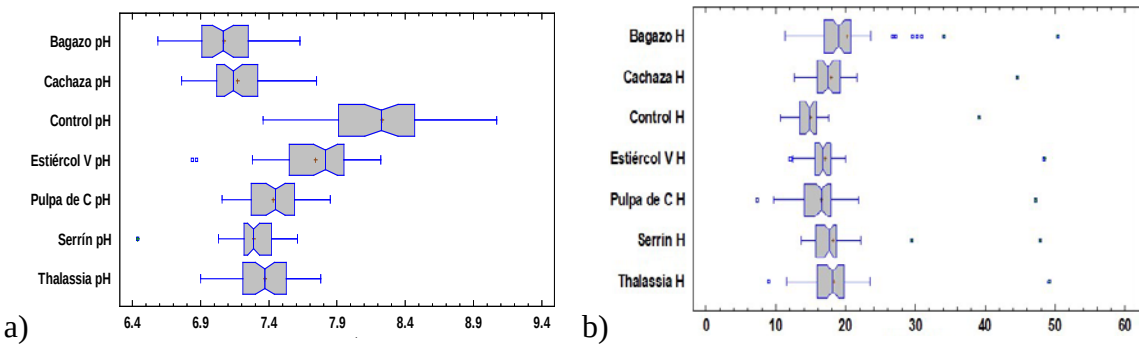


Figura 2. Diagramas de caja y bigotes, a) diagramas de caja y bigote para el pH entre tratamientos, b) diagramas de caja y bigote para la humedad entre tratamientos

Del análisis de la Figura 2a se lograron identificar 5 grupos homogéneos según la coincidencia de las muescas de cada par de medianas para cada tratamiento. Este comportamiento del pH entre tratamientos puede estar relacionado con el tamaño de partícula de cada texturizante ya que a mayor tamaño la degradación es más lenta y los cambios en el pH producidos por la fermentación son menores (Ordaz y col., 2011).

3.2. Humedad

En la Figura 3 se muestra cada uno de los porcientos de las humedades registradas en los monitoreos correspondientes a los 365 días estudiados. Se aprecia que existen dos observaciones menos debido a que no se pudieron realizar las mediciones correspondientes por problemas técnicos y debido a que la humedad reportó para todos los tratamientos valores por encima del 40% en uno de los monitoreos. Esto último pudo ser identificado mediante el análisis de la Figura 2b, en la cual se aprecian 9 puntos muy alejados que pueden indicar valores aberrantes La razón por la cual esta semana fue excluida del análisis es que: según la prueba de Grubb para la identificación de valores atípicos (valor-p < 0,05), dicha observación para cada uno de los tratamientos constituyó un valor aberrante significativo con un nivel de confianza del 95%. Ello significa que existió una causa de variación que influyó en el comportamiento de la variable humedad.

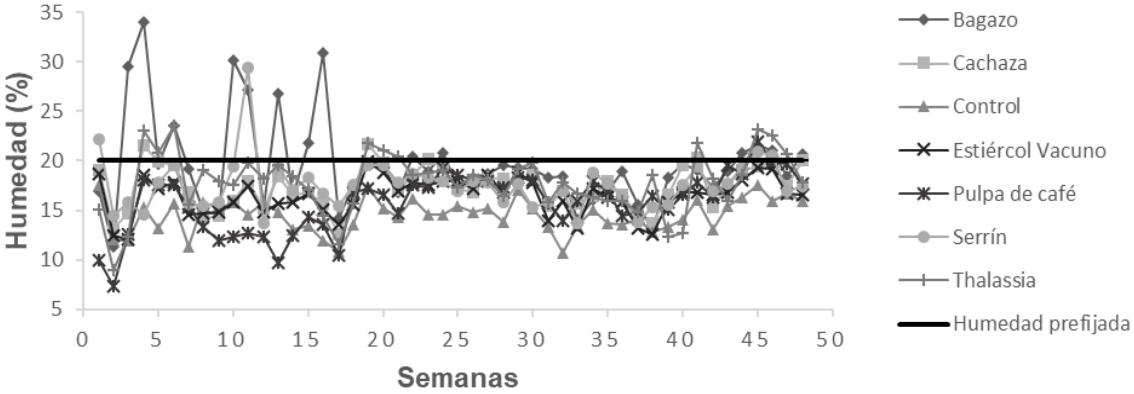


Figura 3. Gráfica de los valores de Humedad de Tratamientos vs. Semanas.

Se observa que la humedad no fue constante durante el tratamiento, registrándose valores mínimos de 7% para el tratamiento con pulpa de café y valores máximos de 34% para el tratamiento con bagazo. El aumento de la humedad puede estar relacionado con la actividad metabólica de los microorganismos ya que se pueden producir de 0,5-0,6 g de H_2O por gramo de sólidos volátiles descompuestos. Las biopilas, a su vez, se secan producto de los flujos de aire producidos por la convección natural evaporando parte del agua presente en los poros del material, el cual se favorece durante las operaciones de homogenización y aeración de la biopila (EPA, 2017; Richard et al., 2002).

De manera análoga al análisis realizado con el pH, se identificaron 3 grupos homogéneos del análisis de la Figura 2b, dentro de los cuales, los tratamientos de *Thalassia testudinum* y Bagazo coexisten en el grupo que posee los mayores valores medios de humedad. Sin embargo, al analizar sus respectivos intervalos de confianza para la media 17,4228-19,4148 y 19,227-21,219 se aprecia que solo coincidirán sus medias desde el valor 19,227 hasta 19,4148. Se observa además que el único

tratamiento que mantuvo como promedio sus valores de humedad por encima del 20% prestablecido fue el bagazo. El comportamiento del bagazo se explica dada su morfología ya que es capaz de absorber de 5 a 10 veces su peso en agua y es capaz de contener de una a dos partes de agua por una parte de fibra. El agua presente en el bagazo es retenida a través de mecanismos de absorción y de capilaridad (Hugot, 1989).

3.3. Temperatura

La evolución de la temperatura de los diferentes tratamientos durante el proceso de biorremediación de residuos petrolizados mediante las biopilas, se muestra en la Figura 4. Junto con las temperaturas de los tratamientos también se graficaron las temperaturas ambientales registradas en el período de experimentación. Se graficaron dos observaciones menos debido a que por la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos no fue posible la medición de la temperatura en esos días. Se observó un comportamiento similar en el tiempo entre todos los tratamientos empleados en el estudio.

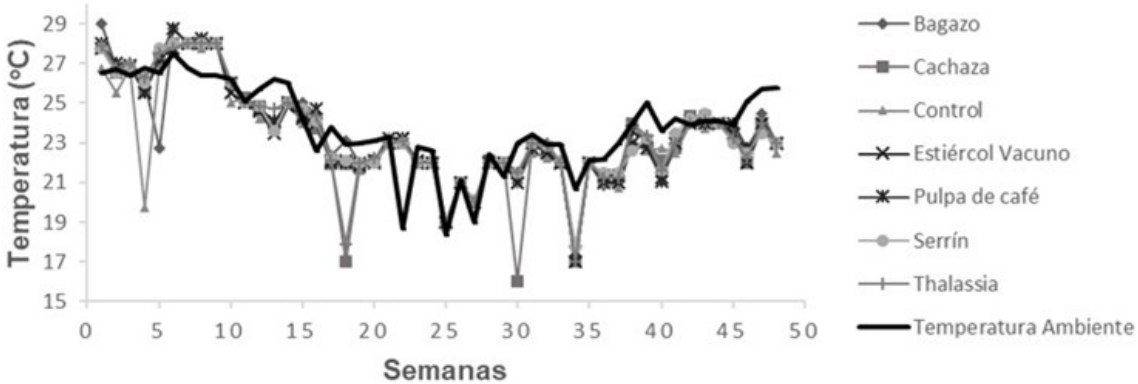


Figura 4. Gráfica de los valores de Temperatura de Tratamientos y Temperatura ambiental vs. Semanas

A lo largo del proceso los valores de T de los tratamientos oscilaron entre en un rango de 16 a 30°C con una ligera tendencia en la disminución de la temperatura. Anza et al., (2016) mencionan que la temperatura ideal para el proceso de biorremediación debe estar entre 25 y 35°C y resaltan la importancia de la temperatura para el desarrollo de microorganismos. Sin embargo, los criterios expuestos por Behrentz y Giraldo, (1999) exponen que, en pequeñas escalas, como es el caso del presente estudio, existe un valor grande para la razón existente entre el área superficial de las biopilas y el volumen reaccionante. Lo anterior, impide que no se acumule el calor de reacción y por lo tanto no se logran las temperaturas que caracterizan este tipo de sistemas en condiciones reales de operación.

3.4. Relación con variables ambientales

Se realizaron análisis multivariados para las variables climáticas sin arrojar en su mayoría relación lineal ni ningún otro patrón o comportamiento. Solamente se comprobó significación estadística (valores-p<0,05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95%.) de la variable ambiental temperatura ambiente respecto a las temperaturas de las biopilas. Es oportuno

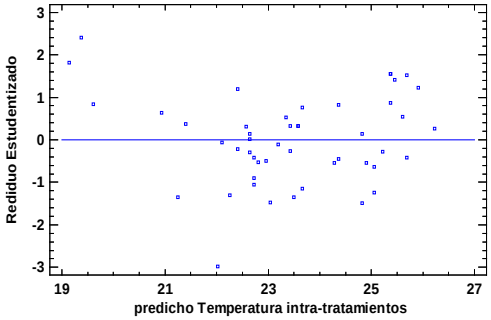
destacar que los coeficientes de Pearson obtenidos, corresponden con relaciones directas y moderadamente fuertes.

En correspondencia con lo anterior y como se muestra en la Figura 4, el comportamiento de la temperatura ambiental se ajustó a un comportamiento similar con las temperaturas de cada tratamiento. Teniendo en cuenta el comportamiento similar de ambas temperaturas se realizó un análisis de regresión lineal entre la temperatura ambiente como variable independiente, para determinar en qué proporción influyó sobre la temperatura de las biopilas, que actuaría como variable dependiente. Dado que se comprobó que no existen diferencias estadísticas significativas entre las temperaturas de cada tratamiento, y como estos poseen la misma cantidad de observaciones; se promediaron todos los valores para obtener la temperatura de biopilas promedio y realizar una regresión lineal simple respecto a la temperatura ambiente.

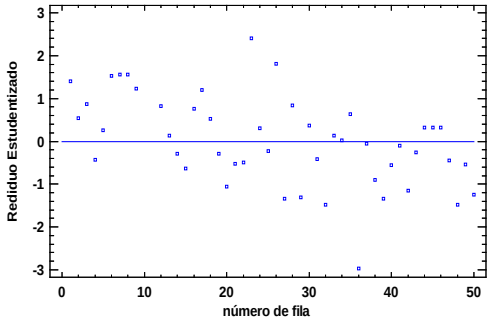
Basados en los resultados obtenidos del análisis de varianza realizado se obtuvo un valor-p=0, resultando entonces que el modelo de regresión es significativo para un 95% de confianza, con un coeficiente de correlación igual a 0,70, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables y una R-Cuadrada que indica que el modelo ajustado explica 49,251 % de la variabilidad en Temperatura intra-tratamientos. El modelo explica aproximadamente la mitad de la dispersión que regula la temperatura de las biopilas. Si bien, los valores de R-cuadrado no se consideran altos respecto a otras aplicaciones de ingeniería, logran justificar casi la mitad de la variación existente en la temperatura de en un proceso que además se encuentra influenciado por otros parámetros como pueden ser: actividad metabólica de los microorganismos; régimen de homogenización, aireación y volteo; frecuencia de humectación, entre otros factores no estudiados. Por tanto, se considera válida la ecuación (1) del modelo ajustado como herramienta de monitoreo y estimación de la temperatura de las biopilas a escala semipiloto.

$$\text{Temperatura biopilas} = 4{,}80918 + 0{,}77901 \cdot \text{Temperatura ambiente} \qquad (1)$$

En la Figura 5 se muestra el análisis gráfico para la verificación de los supuestos del modelo de regresión. Como se aprecia en las Figuras 5a y b, no existen patrones que indiquen heteroescedasticidad en los datos ni una influencia exterior sobre los mismos. En las figuras 5c y d se puede comprobar un buen ajuste a la distribución normal. Por tanto, se cumplen los supuestos del modelo de regresión lineal simple.



a)



b)

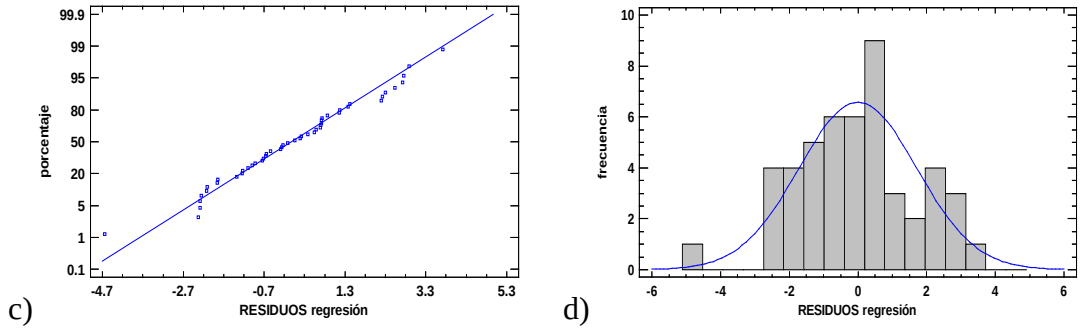


Figura 5. Análisis de supuestos de la regresión Temperatura intra-tratamientos vs. Temperatura ambiente (a) Residuos vs. Predicho (Igualdad de varianza), (b) Residuos vs. Número de fila (Independencia), (c) Gráfica de probabilidad normal, (d) Histograma de frecuencia ajustado a la campana de Gauss (normalidad)

4. CONCLUSIONES

1. Los cambios en el pH de los tratamientos no se ven afectado por ninguna de las variables climáticas empleadas en el estudio. Estos cambios están relacionados con la capacidad tampón del suelo y con el tamaño de partícula de los texturizantes empleados.
2. Para las condiciones de estudio, las variables climáticas tampoco tuvieron relación con en el comportamiento de la humedad de los tratamientos y debido a las características favorables de absorción de agua por el bagazo este resultó ser el mejor tratamiento para mantener los requerimientos necesarios de humedad en las biopilas llegándose a observar hasta valores de 35% de humedad.
3. La temperatura de los tratamientos tuvo un comportamiento similar entre cada uno de ellos sin mostrar diferencias estadísticamente significativas y mostró una relación lineal directa moderadamente fuerte con respecto a la temperatura ambiente, cuya ecuación del modelo obtenido puede ser considerada como herramienta de estimación de la temperatura de las biopilas a escala semipiloto.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Programa de Ciencia de Interés Nacional “Uso sostenible de los componentes de la Diversidad Biológica en Cuba” por el financiamiento aportado para las investigaciones pertinentes. A los técnicos de la Unidad Científico Tecnológica de Base (UCTB) Suelos de Cienfuegos que permitieron realizar las determinaciones de los parámetros estudiados, en especial al técnico Noelio Valdés Morales por su aporte.

REFERENCIAS

Abad, Y., Caracterización, identificación y evaluación de microorganismos autóctonos biorremediadores de suelos contaminados por agroquímicos en la provincia de Loja., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Máster en Ciencias, Especialidad Agroecología y Ambiente en la Universidad de Cuenca, Ecuador, 2017.

Anza, H., Orantes P., González R., Ruíz A., Espinoza E., Martínez R.I., García C., Vera P., Biorremediación de suelos Contaminados con aceite Automotriz usados mediante Sistema de biopilas., Espacio I + D, Vol. 5, No. 12, 2016, pp. 49-77.

Bahmani, F., Ataei, S., Mikaili, M., The Effect of Moisture Content Variation on the bioremediation of Hydrocarbon Contaminated Soils: Modeling and Experimental Investigation., Environmental Analytical Chemistry, Vol. 5, No. 2, 2018, pp. 1-6.

Behrentz, E., Giraldo, E., Modelación a escala del proceso de compostaje aerobio, en Pila estática y con aireación forzada., Revista colombiana de Biotecnología, Vol. 2, No. 2, 1999, pp. 51-59.

EPA., How to evaluate alternative cleanup technologies for underground storage tank sites. A guide for corrective action plan reviewers., Chapter IV, Biopiles, No. 510-B-17– 003, Environmental Protection Agency, Washington D.C., United States of America, 2017, pp. 1-31.

Hugot, E., Manual para ingenieros azucareros., La Habana, Cuba, Editorial Pueblo y Educación, 1989, pp. 113-125.

Ma, J., Yang, Y., Dai, X., Chen, Y., Deng, H., Zhou, H., Guo, S., Yan, G., Effects of adding bulking agent, inorganic nutrient and microbial inocula on biopile treatment for oil-field drilling waste., Chemosphere, Vol. 1, No. 150, 2016, pp. 17-23.

Majbar, Z., Lahlou, K., Abbou, M.B., Ammar, E., Triki, A., Abid, W., Nawdali, M., Bouka, H., Taleb, M., Haji, M.E., Rais, Z., Co-composting of olive mill waste and wine-processing waste: an application of compost as soil amendment., Journal of Chemistry, Vol. 2018, No. Especial, 2018, pp. 1-9.

Martínez, L.M., Ruberto, L.A.M., Lo Balboa, A., Mac Cormak, W.P., Bioremediation of hydrocarbon-contaminated soils in cold regions: Development of a pre-optimized biostimulation biopile-scale field assay in Antarctica., Science of the Total Environment, Vol. 590-591, 2017, pp. 194-210.

Mustafić, N., Petrić, I., Karić, E., Application of validated mathematical model of composting process for study the effect of air flow rate on process performance., Enginnering & Processing Management, Vol. 9, No. 1, 2017, pp. 62-68.

Ordaz, J.A., Toledo, A.M., Morales, F.R., Díaz, L.F., Martínez, A.J., López, J.A., Díaz, M., Biorremediación de un suelo contaminado con petróleo mediante el empleo de bagazo de caña con diferentes tamaños de partícula., Multiciencias, Vol. 11, No. 2, 2011, pp. 136-145.

Osoria, F., Proyecto de investigación de descontaminación de suelos por Diesel en el laboratorio de construcción Eptisa., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Master en Ciencias, Especialidad Química Industrial, Universidade da Coruña, España, 2018.

Richard, T., Hamelers, B., Veeken, A., Silva, T., Moisture Relationships in Composting Processes., Compost Science & Utilization, Vol. 10, No. 4, 2002, pp. 286-302.

Rodríguez, A., Biorremediación de aguas contaminadas con hidrocarburos mediante sistemas bio-absorbentes., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias, Instituto de investigación del agua, Universidad de Granada, España, 2017.

Vallejo, V.E., Sandobal, J.J., Garagoa, S.C., Bastos, J., Evaluación del efecto de la biorremediación sobre la biorremediación de hidrocarburos en suelo contaminado con arquitrán en soacha, Cundinamarca - Colombia., Acta agronómica, Vol. 65, No. 4, 2016, pp. 354-361.

Van Deuren, J., Wang, Z., Ledbetter, J., Remediation Technologies Screening Matrix

and Reference Guide., 4th ed., Report by Platinum International, Inc. for US Army Environmental Center, Report No. SFIM-AEC-ET-CR-97053, EEUU, 1997, pp. 15-32.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Ing. Enmanuel Casals Pérez. Realizó el estudio, análisis y escritura del artículo.
- M.Sc. Dayana Rabassa Rabassa. Realizó el monitoreo y registro de los datos.
- M.Sc. Orlando Manuel Viera Ribot. Colaboró con el análisis de los resultados y la escritura del artículo.
- M.Sc. Omar Gutiérrez Benítez. Colaboró con el análisis de los resultados y la escritura del artículo.
- M.Sc. David Javier Castro Rodríguez. Realizó la corrida de los datos en el Software Statgraphics Centurion versión XVI versión 16.1 y colaboró con la escritura del artículo.