

TOXICIDAD DE SUELOS CONTAMINADOS CON PETRÓLEO PESADO SOBRE PLÁNTULAS DE LA PALMA MORICHE *Mauritia flexuosa* L. f.

Ismael Hernández-Valencia¹, Daniel Guitián¹ y Valois González¹

RESUMEN

Se realizó una prueba de toxicidad aguda con plántulas de *Mauritia flexuosa* expuestas a suelos contaminados en concentraciones de 0, 4, 8, 16, 32 y 64 % de un crudo pesado bajo condiciones controladas. Concentraciones de hasta 16 % no afectaron significativamente la sobrevivencia de las plántulas, mientras que a 64 % no sobrevivió ninguna. En correspondencia con la sobrevivencia, la biomasa del vástago y total disminuyeron a partir de una concentración de petróleo pesado de 16 %, mientras que la biomasa de raíces y la relación vástago/raíz no evidenciaron diferencias dentro del rango de concentraciones en las que hubo sobrevivencia de plántulas. Los resultados indican una alta tolerancia del moriche a la contaminación del suelo con petróleo pesado, lo que muestra su potencial en labores de revegetación de áreas contaminadas con este tipo de crudo.

Palabras clave adicionales: Biomasa, contaminación del suelo, crudo pesado, revegetación, sobrevivencia de plántulas

ABSTRACT

Toxicity of contaminated soils with heavy oil on seedlings of moriche palm *Mauritia flexuosa* L. f.

An acute test of toxicity was performed with seedlings *Mauritia flexuosa* exposed to contaminated soils in concentrations of 0, 4, 8, 16, 32 y 64 % of heavy crude oil under greenhouse conditions. Concentrations of up to 16 % did not significantly affect the survival of seedlings, while at the maximum concentration of 64 % did not survive any seedling. In correlation with survival, stem biomass and total biomass did not decreased until a concentration of heavy oil of 16 %, while root biomass and shoot/root ratio showed no differences between concentrations where seedlings survived. The results show a high tolerance *M. flexuosa* to soil contamination with heavy crude oil and its potential to reforest contaminated soils with such type of hydrocarbon.

Additional key words: Biomass, heavy crude oil, reforestation, seedling survival, soil pollution

INTRODUCCIÓN

En Venezuela, los palmares donde participa *Mauritia flexuosa* L. f. son conocidos como morichales constituyen una comunidad de plantas dominada por individuos de esta especie. Los morichales están asociados a suelos hidromórficos u orgánicos presentes en las tierras bajas de las cuencas de los ríos Amazonas y Orinoco, al este de la isla de Trinidad, así como en las áreas costeras sub-recientes de la región oriental de América del Sur desde Guyana a Brasil (Lasso et al., 2013; González, 2016). Estas comunidades brindan diversos beneficios socioeconómicos y ecológicos, ya que sirven como hábitats, corredores ecológicos y fuente de agua para la

fauna asociada, algunas de ellas con valor cinegético o amenazadas (Rodríguez y Rojas, 2015). Los palmares de pantano de *M. flexuosa* también funcionan como sumideros de carbono y reguladores del régimen hidrológico (González y Rial, 2011). Proveen agua para consumo humano y áreas de recreación, transporte fluvial y valor paisajístico para turistas y residentes. Además, estos sistemas actúan como un recurso que proporciona alimentos, medicamentos y fibras para la construcción de viviendas, utensilios y artesanías (González y Rial, 2011, Koolen et al., 2012).

En los Llanos Orientales venezolanos la ubicación de los morichales en la zona más baja del relieve de valle que colinda con las

Recibido: Noviembre 20, 2019

Aceptado: Abril 16, 2020

¹ Centro de Ecología Aplicada, Instituto de Zoología y Ecología Tropical. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. e-mail: ismael.hernandez@ciens.ucv.ve (autor de correspondencia); guitiandaniel@gmail.com; valois.gonzalez@gmail.com

altiplanicies y su íntima asociación con los ejes fluviales los hacen susceptibles a la contaminación por sustancias que pueden ser transportadas por gravedad o por el agua. Ejemplo de ello es la contaminación producida por la exploración, producción, transporte y refinación del petróleo que se generan a través de fugas, derrames y disposición inadecuada (Hernández et al., 2018). Es por ello que las actividades petroleras deben contar con medidas para mitigar, prevenir y controlar los efectos adversos producidos por la contaminación con petróleo sobre estas comunidades, para reducir su impacto ambiental y social.

Aun conociendo la alta vulnerabilidad de los ecosistemas de morichal y su importancia, ecológica y socioeconómica, son muy escasos los trabajos relativos a los efectos de las actividades antrópicas sobre estos, especialmente los producidos por la contaminación con petróleo.

Tomando en cuenta lo anterior, el objetivo de este estudio fue conocer el impacto de la contaminación por petróleo sobre la sobrevivencia de plántulas y parámetros biométricos de *M. flexuosa*. Esta información es relevante para establecer los intervalos de concentración en el suelo tolerables por la planta y además establecer prácticas de revegetación efectivas en los morichales degradados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una prueba de toxicidad aguda con plántulas de *Mauritia flexuosa* expuestas a diferentes concentraciones en el suelo de un crudo pesado de 16 ° API en una casa de cultivo. El crudo utilizado tenía una composición de 21,2 % de saturados, 15,3 % de aromáticos, 11,5 % de resinas y 21,4 % de asfaltenos, composición determinada por el método 5520 del APHA (1998). Su selección se basó en las grandes reservas de crudos pesados existentes en la Faja Petrolífera del Orinoco, Venezuela, en donde abundan comunidades de morichales. Las plántulas se obtuvieron a partir de semillas colectadas del Morichal Lambedero, en la localidad de Mapipe, al sur del estado Anzoátegui y fueron germinadas en suelo arenoso no contaminado proveniente del mismo morichal hasta obtener plántulas entre 20 y 25 cm de altura con hojas expandidas y buena condición

(Hernández et al., 2017 a). Posteriormente, las plántulas fueron expuestas a concentraciones crecientes del mismo suelo arenoso mezclado con petróleo en concentraciones gravimétricas de 0, 4, 8, 16, 32 y 64 %. Estas mezclas de suelo y petróleo se lograron combinando y removiendo ambos componentes con una pala de jardinería hasta obtener una mezcla homogénea. Cada tratamiento constó de tres réplicas de 10 plántulas.

Las plántulas fueron trasplantadas en envases plásticos de 13 cm de alto y 10 cm de diámetro, a las cuales se agregaron 1 kg de la mezcla de suelo y petróleo en las concentraciones establecidas. Las condiciones microclimáticas promedio de la casa de cultivo durante el ensayo fueron 23,2 °C de temperatura, 450 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de radiación, 85 % de humedad relativa y durante el desarrollo del ensayo se aplicó riego diariamente. Luego de 60 días se contó el número de plántulas sobrevivientes y posteriormente fueron cosechadas y secadas en estufa por tres días a 70 °C para la estimación de la biomasa total, del vástago y de las raíces.

Dado que los datos no cumplieron los supuestos de homogeneidad de varianza y normalidad, el análisis estadístico se realizó mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y como prueba posterior comparaciones por pares de Mann-Whitney (Siegel, 2009). La concentración letal media (CL_{50}) se calculó con ayuda del programa Trimmed Spearman-Kärber (TSK), versión 1.5 de uso frecuente por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de Norteamérica (USEPA, 1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentraciones de hasta 16 % de petróleo pesado no afectaron significativamente ($P>0,05$) la sobrevivencia de plántulas de moriche (Figura 1), la cual fue de 100 % a los 60 días. A 32 % de la concentración de crudo, la sobrevivencia se redujo a 64,3 %, mientras que en la máxima concentración de hidrocarburo empleada de 64 % no sobrevivió ninguna plántula. Vale destacar que la mortalidad de plántulas se observó posterior a un mes de iniciado el ensayo para la máxima dosis empleada de 64 %.

La concentración letal media o concentración que produjo la mortalidad del 50 % de las plántulas con su intervalo de confianza al 95 %

Hernández et al. Efecto de suelos contaminados con petróleo sobre palma moriche

fue de $31,34 \pm 2,57$ %. Este valor supera ampliamente al límite de limpieza que deben alcanzar los suelos contaminados con hidrocarburos en Venezuela, el cual, según decreto, es de 1 % de aceites y grasas para desechos de hidrocarburos esparcidos en el suelo y 3 % para desechos de hidrocarburos confinados (República de Venezuela, 1998). En lo que respecta a las concentraciones que usualmente se

encuentran en los sedimentos de fosas petroleras, Deuel y Holliday (1997) encontraron para fosas del estado de Oklahoma en los Estados Unidos, que estas oscilan entre 0 y 20 % de aceites y grasas en más del 90 % de los casos, lo que podría ser un indicativo de la alta tolerancia de *M. flexuosa* a los intervalos de contaminación típicos de lugares de acopio y de suelos afectados por la contaminación con hidrocarburos de petróleo.

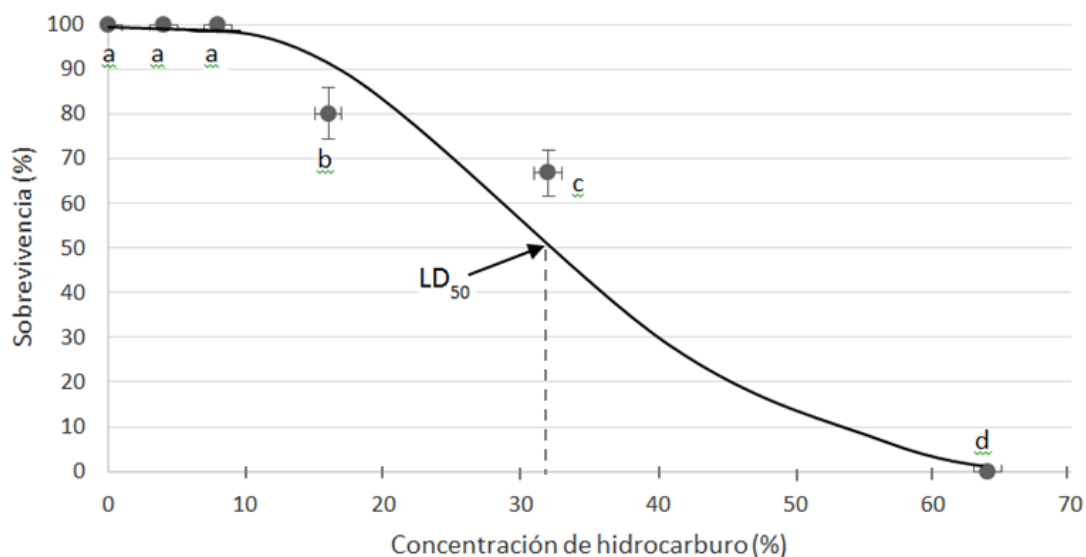


Figura 1. Sobrevivencia de plántulas de *Mauritia flexuosa* bajo diferentes concentraciones de petróleo pesado. Letras diferentes corresponden a medias diferentes (prueba no paramétrica de Kruskal Wallis y comparación por pares de Mann-Whitney $P \leq 0,05$)

En correspondencia con la sobrevivencia, la biomasa del vástago y la biomasa total disminuyeron a partir de una concentración de petróleo pesado de 16 %, mientras que la biomasa de raíces y la relación vástago/raíz no mostraron diferencias entre las concentraciones en donde sobrevivieron las plántulas (Cuadro 1). Los efectos tóxicos crónicos y agudos observados a concentraciones superiores a 16 % pueden estar relacionados a factores variados como: a) el agotamiento del oxígeno generado con el incremento de la actividad microbiana (Abu y Atu, 2008), b) la interferencia física que produce el petróleo en la raíz, lo cual limita la incorporación de agua y nutrientes (Mathew et al., 2006; Hernández et al., 2017b), y c) en condiciones extremas puede producir la lisis de la membrana celular (Figueroa y Dávila, 2004),

con la consecuente pérdida del contenido celular, además del bloqueo de los espacios intercelulares, reducción del transporte de solutos y de la tasa de respiración (Pezeshki et al., 2000).

Lieth y Markert (1990) destacan que la contaminación por petróleo puede impedir o retardar el crecimiento de la vegetación sobre el área afectada, lo cual dependerá de la magnitud del impacto, como también de los constituyentes y cantidad de petróleo derramado, condiciones ambientales y de la especie de planta. Se ha señalado que los petróleos livianos, los cuales poseen mayor contenido de compuestos tóxicos (aromáticos y saturados), producen daños agudos o rápidos, mientras que los petróleos pesados con menor contenido de éstos, ocasionan daños crónicos o lentos (Prof. Fernando Morales, Universidad Simón Bolívar, Venezuela).

Comunicación personal). Ello justificaría los resultados obtenidos en este estudio en donde se observó un amplio intervalo de tolerancia a la contaminación por parte de *M. flexuosa* atribuible al uso de un petróleo pesado.

Bevilacqua y González (1994) estudiaron los cambios en la composición florística y otros atributos comunitarios de un morichal, luego

de tres años de haber sido afectados por un derrame de petróleo de características desconocidas. Los autores encontraron que el derrame produjo mortalidad de algunas formas de crecimiento herbáceas, pero no produjo efectos adversos sobre los componentes arbóreos, arbustivos, palmas y hierbas gigantes en estado juvenil y adulto.

Cuadro 1. Biomasa del vástago, raíces y total por plántula de *Mauritia flexuosa*, expuesta a diferentes dosis de petróleo pesado durante 60 días

Concentración de petróleo (%)	Biomasa vástago (g)	Biomasa raíces (g)	Biomasa total (g)	Relación vástago/raíz
0	2,1 a	2,4 a	4,5 a	0,9 a
4	1,8 a	2,3 a	4,1 a	0,9 a
8	1,9 a	2,1 a	4,0 a	0,9 a
16	1,6 ab	2,0 a	3,6 b	0,8 a
32	1,2 b	1,9 a	3,2 b	0,6 a
64	No hubo sobrevivencia			

Medias dentro de la misma columna con ninguna letra en común indican diferencias estadísticamente significativas. Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis y comparación por pares de Mann-Whitney ($P \leq 0,05$)

Por su parte, Urich et al. (2008) midieron varios parámetros fisiológicos en morichales luego transcurridos 2 y 15 años de haber sido contaminados por petróleo, y los compararon con un morichal prístino. Los resultados mostraron que, el potencial hídrico, la tasa de transpiración y el contenido de carbohidratos solubles fueron más bajos en los morichales contaminados recientemente mientras que aquellos en los que transcurrió mayor tiempo desde la ocurrencia del evento no mostraron diferencias significativas con el morichal no contaminado, lo cual refleja la capacidad de recuperación de *M. flexuosa* dentro del ecosistema perturbado.

Estos hallazgos muestran el potencial de esta especie para tolerar y recuperarse de los impactos producidos por derrames de petróleo y su posible uso en labores de reforestación de áreas contaminadas, en especial aquellas contaminadas con petróleo pesado.

CONCLUSIONES

La exposición a concentraciones de hasta 16 % de petróleo pesado de plántulas de *Mauritia flexuosa* no afectó significativamente su sobrevivencia, mientras que a 64 % no sobrevivió ninguna plántula. En correspondencia con la sobrevivencia, la biomasa del vástago y la

biomasa total disminuyeron a partir de una concentración de petróleo pesado de 16 %, mientras que la biomasa de raíces y la relación vástago raíz no mostraron diferencias entre las concentraciones en donde sobrevivieron las plántulas. Los resultados indican una alta tolerancia del moriche a la contaminación del suelo con petróleo pesado, lo que muestra su potencial en labores de revegetación de áreas contaminadas con este tipo de crudo.

AGRADECIMIENTO

Esta investigación fue financiada por el Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Investigación de Venezuela, Proyecto Misión Ciencias No 2007001401.

LITERATURA CITADA

1. Abu, G.O. y N.D. Atu. 2008. An investigation in oxygen limitation in microcosm model in the bioremediation of a typical Niger Delta soil ecosystem impacted with crude oil. *J. Applied Sciences and Environmental Management* 12(1): 13-22.
2. APHA. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20ed. American Public Health Association.

- Washington. 1325 p.
3. Bevilacqua, M. y V. González. 1994. Consecuencia de derrames de petróleo y acción del fuego sobre la fisionomía y composición florística de una comunidad de morichal. *Ecotrópicos* 7: 23-34.
 4. Deuel Jr., L.E y G.H. Holliday. 1997. Soil remediation for the petroleum extraction industry. Penn Well. Tulsa, Oklahoma. 242 p.
 5. Figueruelo, J.E. y M. Dávila. 2004. Química física del medio ambiente y de los procesos ambientales. Editorial Reverté. México DF. 614 p.
 6. González-Boscán, V. y A. Rial. 2011. Las comunidades de morichales en los llanos orientales de Venezuela, Colombia y el Delta del Orinoco: Impactos de la actividad humana sobre su integridad y funcionamiento. *In*: C.A. Lasso et al. (eds.). Biodiversidad de la Cuenca del Orinoco. II Áreas Prioritarias para la Conservación y Uso Sostenible. Instituto de Estudios de la Orinoquia, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. pp. 125-146.
 7. González-Boscán, V. 2016. Los palmares de pantano de *Mauritia flexuosa* en Suramérica. *In*: C.A. lasso et al. (eds.). Morichales, Cananguchales y Otros Palmares Inundables de Suramérica. II: Colombia, Venezuela, Brasil, Perú, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Argentina. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá. pp. 45-83.
 8. Hernández-Valencia, I., D. Guitián y V. González. 2017 a. Efectos del tamaño de la semilla y escarificación del endocarpio sobre la germinación de *Mauritia flexuosa* L. f. (Arecaceae). *Acta Bot. Venezuel.* 40 (1): 97-118.
 9. Hernández-Valencia, I., L.M. Lárez y J.V. García. 2017 b. Evaluación de la toxicidad de un suelo contaminado con diferentes tipos de crudos sobre la germinación de dos pastos tropicales. *Bioagro* 29(2): 73-82.
 10. Hernández-Valencia, I., V. González-Boscán, E. Zamora-Ledezma, V. Carrillo-Carrillo y A. Zamora-Figueroa. 2018. Environmental impacts of the oil industry on the *Mauritia flexuosa* Swamp palm groves (Morichales) in Venezuela. *In*: E. Potter y A. Vega (eds.). Oil Contamination: Impacts and Offsets. Nova Science Pub. pp. 33-72.
 11. Koolen, H.H.F., F.M.A Silva, F.C. Gozzo y A.Q. Filho Souza. 2012. Triterpenes and flavonoids in roots of *Mauritia flexuosa*. *Revista Bras. Farmacogn.* 22: 189-192.
 12. Lasso, C.A., A. Rial y V. González-Boscán. 2013. Morichales y Cananguchales de la Orinoquia y Amazonia: Colombia - Venezuela. Parte I. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá. 344 p.
 13. Lieth, H. y B. Markert. 1990. Element concentration Cadasters in ecosystems. *Methods of Assessment and Evaluation*. VCH, Weinheim. New York, USA. 448 p.
 14. Mathew, M., X. Yang, M. Baxter y E. Senior. 2006. Bioremediation of 6 % (w/w) diesel contaminated mainland soil in Singapore: Comparison of different biostimulation and bioaugmentation treatments. *Eng. Life. Sci.* 6 (1): 63-67.
 15. Pezeshki, S., M. Hester, Q. Lin, y J. Nyman. 2000. The effects of oil spill and clean-up on dominant US Gulf coast marsh macrophytes: a review. *Environ Pollut.* 108: 129-139.
 16. República de Venezuela. 1998. Decreto No. 2635. Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Peligrosos. *Gaceta Oficial de la República de Venezuela* No.5.245 Extraordinario.
 17. Rodríguez, J.P. y F. Rojas-Suárez. 2015. Libro Rojo de la Fauna Venezolana. Provita y Empresas Polar. Caracas. 470 p.
 18. Siegel, S. 2009. Estadística no Paramétrica Aplicada a las Ciencias de la Conducta. Editorial Trillas. México DF. 344 p.
 19. USEPA. 1992. User's guide-Trimmed Spearman-Kärber (TSK)" Version 1.5, Environment Monitoring Systems Laboratory. Ecological Monitoring Research Division. USEPA. Cincinnati, USA.
 20. Urich, R., I. Coronel, A. Cáceres, W. Tezara, C. Kalinhoff, V. Carrillo, A. Quillice y E. Zamora. 2008. Respuesta fotosintética y relaciones hídricas de especies de un bosque

Hernández et al. Efecto de suelos contaminados con petróleo sobre palma moriche

seco tropical y de morichales afectados por el
impacto ambiental. Memorias del Instituto de

Biología Experimental. Universidad Central de
Venezuela 5: 229-232.