

Sensibilidad de la *lemna obscura* a la presencia de fenoles e hidrocarburos livianos

Cárdenas Carmen
Ochoa Danny
Labrador Mirian
Yabroudi Suher
Araujo Ismenia
Angulo Nancy
Flores Paola

Centro de Investigación del Agua
Facultad de Ingeniería
Universidad del Zulia
chcarden@gmail.com
Venezuela-Zulia

Fecha de recepción: 19-03-2014 Fecha de aceptación: 26-02-2014

Resumen

El objetivo de este estudio fue relacionar los derrames petroleros con la superfloración de *Lemna obscura* en el Lago. Se realizaron seis ensayos, durante diez días; cada uno, usando recipientes de vidrio de 25cm x 15cm x 15cm, con agua del Lago de Maracaibo con 50 plantas de Lemna de dos frondes cada una y fotoperíodo 12:12 horas, para cultivar *Lemna obscura* en 5 concentraciones de fenol (0,25 a 2,5mg/l) y 5 de hidrocarburo liviano (30 a 45mg/l). Durante

cada ensayo se midió diariamente los parámetros: pH, conductividad, oxígeno disuelto, DQO, turbidez. En los días 1, 5 y 10 se midió fósforo, nitrógeno total, hidrocarburos y fenoles. El patrón de crecimiento fue exponencial. La tasa de crecimiento más alta (0,2041 frondes/d-1) y el menor tiempo de duplicación (3,4días) se obtuvo en los ensayos con fenol, la menor tasa (0,1151 frondes/d-1) y el mayor tiempo (6 días) en los ensayos con hidrocarburo liviano. El mayor consumo de fósforo (72%) y NTK (85%) y remoción de materia orgáni-

ca DQO (20%) se obtuvo con fenol. La planta absorbió mayor cantidad de hidrocarburos livianos y a medida que se incrementó su concentración, la inhibición del crecimiento de las plantas fue mayor que con el fenol. Con este estudio se puede inferir que los derrames de crudo ocurridos en el Lago de Maracaibo no son un factor activador para estimular el crecimiento de Lema obscura.

Palabras clave: *Lema obscura*; Lago de Maracaibo; nutrientes; hidrocarburos; factor de crecimiento

Sensitivity of the *lemna obscura* to the presence of phenols and hydrocarbons light

Abstract

The objective of this study was to relate the oil spills with the overflow of *Lemna obscura* in the Lake. Six trials were conducted, for ten days; each, using glass containers of 25cm x 15cm x 15cm, with water from Lake Maracaibo with 50 *Lemna* plants of two fronds each and photoperiod 12:12 hours, to grow *Lemna obscura* in 5 concentrations of phenol (0.25 to 2.5mg / l) and 5 of light hydrocarbon (30 to 45mg / l). During each test the parameters were mea-

sured daily: pH, conductivity, dissolved oxygen, COD, turbidity. On days 1,5 and 10, phosphorus, total nitrogen, hydrocarbons and phenols were measured. The growth pattern was exponential. The highest growth rate (0.2041 fronds / d-1) and the lowest doubling time (3.4 days) were obtained in the phenol trials, the lowest rate (0.1151 fronds / d-1) and the longest time (6 days) in the trials with light hydrocarbon. The highest consumption of phosphorus (72%) and NTK (85%) and removal of organic matter COD (20%) was obtai-

ned with phenol. The plant absorbed more light hydrocarbons and as its concentration increased, the inhibition of plant growth was greater than with phenol. With this study it can be inferred that the oil spills that occurred in Lake Maracaibo are not activating factor to stimulate the growth of *Lemna obscura*.

Keywords: Dark motto; Lake Maracaibo; nutrients; hydrocarbons; growth factor

Introducción

Las Lemnáceas son plantas acuáticas vasculares monocotiledóneas, capaces de cubrir extensas áreas en cuerpos de agua eutróficos. Durante los primeros meses del año 2004, se observó, por primera vez, un crecimiento masivo de *Lemna obscura* identificada como *Lemna obscura* [Medina *et al.*, 2006], en las zonas del sur y centro del Lago de Maracaibo, que logró cubrir hasta cerca del 20% del espejo lacustre y en las áreas litorales se formaron capas de hasta 20 cm. de espesor, bloqueando la transferencia de oxígeno de la atmósfera al agua, trayendo como consecuencia malos olores, afectación de las actividades productivas: pesca, actividad petrolera, generación de energía eléctrica, actividades de recreación; disminuyendo el valor paisajístico y estético y causando problemas de salud indirectos, ocasionando la proliferación de nichos de mosquitos y moscas, capaces de originar afecciones como diarreas y vómitos. Las lluvias generan un incremento de los caudales de los ríos que alteraron la hidrodinámica del centro de la masa de agua del saco del Lago, produciendo la ruptura de la estratificación (cono hipolimnético) existente en esa zona, lo que conduce a la liberación interna de nutrientes, especialmente de los compuestos nitrogenados, los cuales al disponer de oxígeno, producto de la ruptura de la estratificación logran transformarse

de las formas amoniacales a nitratos por un proceso de desnitrificación. Por otra parte una de las más importantes fuentes de contaminación en el Lago de Maracaibo es la actividad petrolera; específicamente los derrames de petróleo, los cuales causan daños al ecosistema [Herrera *et al.*, (2004); Landolt (1986); Ramírez (2004)].

La *Lemna obscura* es una planta vascular acuática flotante, conocida como “lenteja de agua”. Su tamaño aproximado es de unos 0,5 cm. Tiene una estructura modificada llamada “fronde”, que es una especie de fusión entre el tallo y las hojas (Barboza, 1991). De cada fronde pueden producirse, vegetativamente, hasta 5 plantas nuevas. En condiciones óptimas, esta planta puede duplicar su población en apenas tres días. El intervalo óptimo de salinidad en la que se desarrolla la planta es de 0,8 a 4,0 ‰ (González y Gordon, 2004). Otras condiciones que facilitan su reproducción óptima son una temperatura alrededor de 27° C y pH entre 6,5 y 7,5. La planta también requiere de nutrientes tales como el fósforo y nitrógeno en forma de amonio, de aguas cálidas y quietas, a fin de poder reproducirse (Gijzen, 1998). El crecimiento de estas plantas en presencia de nutrientes es extremadamente rápido.

Con esta investigación se pretende relacionar el problema de la

contaminación del lago por derrames petroleros con el problema de la superfloración de *Lemna obscura*, para lo cual se evaluó el efecto de hidrocarburos livianos y el fenol sobre el crecimiento de *Lemna obscura* con el fin de determinar si éstos hidrocarburos representan un factor activador o inhibidor en la cinética de crecimiento de la *Lemna obscura*.

Materiales y Métodos

Condiciones para la realización de los ensayos

Los ensayos que consistieron en cultivar 50 plantas de Lemna de dos frondes, en cada recipiente de vidrio (25 cm x 15 cm x 15 cm), utilizando agua del Lago de Maracaibo. El agua utilizada se preparó con diferentes concentraciones de fenol e hidrocarburo liviano (10%, 25%, 50%, 75% y 100 %), tres controles: agua del lago filtrada sin plantas ni fenol e hidrocarburos (A), agua del lago filtrada con plantas sin fenol e hidrocarburos (AL), agua del lago filtrada sin plantas y con fenol (AF) e hidrocarburos (AH) a la máxima concentración, se utilizaron cinco réplicas para cada condición (Tablas 1 y 2). Se aplicó fotoperíodo de 12:12 horas para la reproducción de la planta, simulando las condiciones ambientales reales. Los ensayos tuvieron una duración de diez días continuos

Tabla 1. Tratamientos con Fenol

Tratamiento	Descripción
A (Control)	Agua del lago de Maracaibo filtrada
AL (Control)	Agua del lago de Maracaibo filtrada con <i>Lemna obscura</i>
AF (Control)	Agua del lago de Maracaibo filtrada con fenol a 2,5 mg/l
ALF _{10%}	Agua del lago de Maracaibo filtrada con <i>Lemna obscura</i> y fenol al 10%
ALF _{25%}	Agua del lago de Maracaibo filtrada con <i>Lemna obscura</i> y fenol al 25%
ALF _{50%}	Agua del lago de Maracaibo filtrada con <i>Lemna obscura</i> y fenol al 50%
ALF _{75%}	Agua del lago de Maracaibo filtrada con <i>Lemna obscura</i> y fenol al 75%
ALF _{100%}	Agua del lago de Maracaibo filtrada con <i>Lemna obscura</i> y fenol al 100%

Según las Normas para la Clasificación y Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos, Decreto 883, concentración máxima permitida para ser descargada en cuerpos de agua es de 0,5 mg/l para el fenol y 20

mg/l para hidrocarburos, por lo que se utilizó, una concentración un poco mayor a estos valores. Se usó una concentración de fenol de 2,5 mg/l (100 %) y para hidrocarburo de 45,3 ± 2,5 mg/l (100 %) y se procedió a diluir con agua del lago hasta conse-

guir concentraciones de 10%, 25%, 50%, y 75%, de cada uno, en un volumen total de tres litros en cada pecera, se adicionó 3 ml de nutrientes (NH₄CL 0,5 mg/l; KNO₃ 4,5 mg/l; KH₂PO₄ 4,0 mg/l), necesarios para el desarrollo de las plantas.

Tabla 2. Tratamientos con Hidrocarburo Liviano

Tratamiento	Descripción
A (Control)	Agua del lago de Maracaibo filtrada
AL (Control)	Agua del lago de Maracaibo filtrada con <i>Lemna obscura</i>
AH (Control)	Agua del lago de Maracaibo filtrada con hidrocarburo liviano a 45,3 mg/l
ALH _{10%}	Agua del lago de Maracaibo filtrada con <i>Lemna obscura</i> e hidrocarburo liviano al 10%
ALH _{25%}	Agua del lago de Maracaibo filtrada con <i>Lemna obscura</i> e hidrocarburo liviano al 25%
ALH _{50%}	Agua del lago de Maracaibo filtrada con <i>Lemna obscura</i> e hidrocarburo liviano al 50%
ALH _{75%}	Agua del lago de Maracaibo filtrada con <i>Lemna obscura</i> e hidrocarburo liviano al 75%
ALH _{100%}	Agua del lago de Maracaibo filtrada con <i>Lemna obscura</i> e hidrocarburo liviano al 100%

En cada recipiente se marcó el volumen inicial con la finalidad de observar la evaporación del agua durante la duración del estudio, se agregó agua destilada para mantener el volumen total del recipiente. Diariamente se midió: pH (4500- H+. B Electrodo selectivo), Conductividad (2510-B Electrodo selectivo), Oxígeno Disuelto (Electrodo selectivo), Turbidez (2130.B), DQO (5220-D), N° de plantas y N° de frondes (Observación directa) (APHA, 2005).

Los nutrientes, fenol e hidrocarburo liviano se midieron al inicio (T0), a los 5 (T5) y 10 (T10) días de cada ensayo, mientras que la demanda biológica de oxígeno se determinó al inicio y al final del ensayo. Los métodos utilizados fueron: Fenoles (5530-D Método Colorimétrico), Hidrocarburos (5530-B Método Gravimétrico), Nitrógeno (4500- Norg Método Volumétrico), Fósforo (4500-P.B. E Método Colorimétrico) (APHA, 1999). Al final de cada ensayo se tomó *Lemna obscura* contenida en cada recipiente y se determinó la concentración de fenoles e hidrocarburos livianos, con la finalidad de conocer la absorción de éstos compuestos por parte de la planta.

Determinación de la velocidad específica de crecimiento

Se calculó la velocidad de crecimiento (k), graficando el número de frondes vivos y el tiempo (días) para obtener las curvas de crecimiento. La ecuación obtenida obedece a la ecuación cinética irreversible de primer

orden que se adapta al crecimiento de las frondes de *Lemna obscura* (Barboza, 2007). La ley de velocidad en función del producto (número de frondes F) se expresa de acuerdo a la ecuación (1):

$$\frac{dF}{dt} = kF \quad (1)$$

La integración de esta ecuación conduce a una expresión logarítmica de acuerdo a la ecuación (2):

$$\ln \frac{F}{F_0} = kt \quad (2)$$

Representando frente al tiempo (t) se obtiene una curva de pendiente igual a k y con ordenada en el origen igual a. En procesos gobernados por leyes de primer orden, la cantidad de producto F aumenta exponencialmente como se expresa en la ecuación (3):

$$F = F_0 e^{kt} \quad (3)$$

Donde:

F: Número de frondes a tiempo (t)

F₀: Número de frondes a tiempo (t₀)

k: velocidad específica de crecimiento (frondes / día -1)

t: tiempo de crecimiento (día)

Determinada la ecuación que representa la velocidad de crecimiento de *Lemna*, se procedió a determinar el tiempo de duplicación (td) de la planta. En el caso de una reacción de primer orden de acuerdo a la ecuación (4):

$$t_d = \ln 2. (k)^{-1} \quad (4)$$

Resultados y Discusión

pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto y Turbidez

Los valores de pH para los ensayos con fenol se encontraron en el rango de $7,6 \pm 0,1 - 9,2 \pm 0,6$ y para los ensayos con hidrocarburo liviano, valores muy similares con un rango entre $7,7 \pm 0,1 - 9,4 \pm 0,2$. La conductividad aumenta al transcurrir los días, por a la descomposición de la materia orgánica producida por la muerte de *Lemna*. La muestra con menor conductividad correspondió con la mayor cantidad de plantas, es decir, el control AL con una conductividad de $6,4 \pm 1,5$ MS para los ensayos con fenoles y $9,4 \pm 1,9$ MS para los ensayos con hidrocarburos livianos, éstos valores son para T10. Los valores de oxígeno disuelto disminuyeron con respecto a los valores iniciales para los tratamientos con fenoles ($6,8$ a $7,4$ mg/l al inicio y $6,7 - 6,9$ mg/l al final) y para el caso de los tratamientos con hidrocarburos livianos los valores finales resultaron ligeramente mayores que los iniciales ($7,3 - 7,6$ mg/l a $7,4 - 7,8$ mg/l). En los tratamientos con fenoles hubo mayor cobertura de *Lemna* en la superficie del agua impidiendo la penetración de la luz y la reaeración del medio, lo que da como resultado una baja en la concentración de oxígeno disuelto [Morales *et al.*, (2004)]. Los valores de turbidez no presentaron gran diferencia entre el inicio y el final de los ensayos, estando los va-

lores entre 9,0 – 10,0 NTU para los tratamientos con fenoles y 3,0 – 5,0 NTU para los tratamientos con hidrocarburos.

Demanda Química de Oxígeno

Los valores oscilan en un rango comprendido entre 61 ± 5 y 143 ± 19 mg/l para los ensayos con fenol y entre 90 ± 16 y 169 ± 13 mg/l para los ensayos con hidrocarburos livianos. La diferencia entre el valor promedio inicial de la DQO presentado para los ensayos con fenol respecto a los ensayos con hidrocarburo liviano, es debido a la variación del contenido de algas, metales y otros compuestos presentes en el agua del lago. El valor más bajo de la DQO fue para el control AL, ya que no se le agregó ninguna cantidad de fenol ni hidrocarburo liviano, además de poseer la mayor cantidad de plantas capaces de producir una mayor remoción de la materia orgánica, por tal motivo es el único control que reveló una disminución de la DQO de $73 \pm 4,5$ mg/l a $61 \pm 4,8$ mg/l representando una remoción del 20% para el trata-

miento con fenoles y una disminución de $100 \pm 16,2$ a $90 \pm 15,9$ mg/l con remoción del 10% para el tratamiento con hidrocarburos livianos.

Número de plantas y frondes

El rango para el número de plantas en presencia de fenol, estuvo entre 50 y 256 ± 28 y para el número de frondes los valores estuvieron entre 100 y 655 ± 55 . Con respecto a los ensayos con hidrocarburo liviano, las plantas oscilaron entre 50 y 90 ± 17 y las frondes entre 100 y 436 ± 32 . Tanto el número de plantas como de frondes en presencia de fenol fueron mayores, indicando que el fenol a las concentraciones utilizadas tiene un efecto menos inhibitor y tóxico para el crecimiento de las plantas que las concentraciones utilizadas en presencia de hidrocarburo liviano. El control AL presentó el mayor crecimiento tanto de plantas como de frondes, ya que a este control no se le agregó fenol ni hidrocarburo liviano, por lo tanto, las plantas no estaban expuestas al efecto tóxico de éstos compuestos y pudieron desarrollarse normalmente.

Velocidad de crecimiento y Tasa de duplicación de *Lemna obscura*

Las mayores tasas de crecimiento se dieron en AL con 0,2041 frondes/d-1 para los ensayos con fenoles y de 0,1472 frondes/d-1 para los ensayos con hidrocarburo, y las menores velocidades de crecimiento para ALH100% con fenoles 0,1151 frondes/d-1 y 0,1956 frondes/d-1 con hidrocarburos (Tablas 3 y 4).

Se observa que el tiempo de duplicación más alto lo presenta el tratamiento ALH100% con 6,02 días y el tratamiento ALF100% con 3,54 días, mientras que los menores valores se presentaron en el tratamiento AL, tanto para los ensayos con fenoles como para hidrocarburos, con 3,40 y 4,71 días, respectivamente. Este comportamiento está relacionado con las velocidades de crecimiento, a mayor tasa de crecimiento menor es el tiempo de duplicación.

Tabla 3. Velocidades específicas de crecimiento y tiempo de duplicación de *Lemna obscura* para los tratamientos con fenol

Tratamientos	Velocidades específicas (frondes/d ⁻¹)	Tiempo de duplicación (días)
Control AL	0,2041	3,40
ALF _{10%}	0,2006	3,45
ALF _{25%}	0,1969	3,52
ALF _{50%}	0,1967	3,52
ALF _{75%}	0,1959	3,54
ALF _{100%}	0,1956	3,54

Tabla 4. Velocidades específicas de crecimiento y tiempo de duplicación de *Lemna obscura* para los tratamientos con hidrocarburos livianos

Tratamientos	Velocidades específicas (frondes/d ⁻¹)	Tiempo de duplicación (días)
Control AL	0,1472	4,71
ALH 10%	0,1378	5,03
ALH 25%	0,133	5,21
ALH 50%	0,1221	5,68
ALH 75%	0,1199	5,78
ALH 100%	0,1151	6,02

Las investigaciones realizadas con *Lemna minor* y *Azolla filiculoides*, en condiciones de cultivo, han señalado una tasa de crecimiento de 0,297 ind/ día⁻¹, con un tiempo de duplicación de 2 a 5 días (Santini et al., 2000). Otras investigaciones realizadas con *Lemna obscura* en la Laguna El Imazo en el estado Zulia, revelan una tasa de crecimiento exponencial de 0,2264 fronde/día⁻¹ y un tiempo de duplicación de 3,06 días de acuerdo a lo propuesto por Barboza et al., (2007).

Nitrógeno y Fósforo

Las concentraciones iniciales de nitrógeno y fósforo son producto de la concentración original de nutrientes presentes en el agua del lago más la cantidad de nutrientes adicionada. Para los ensayos con fenoles fueron 2,5±0,1 mg/l para nitrógeno y 1,4±0,1mg/l para fósforo, y en los ensayos con hidrocarburos livianos fueron de 2,7±0,1 mg/l para nitrógeno y 1,8±0,1 mg/l para fósforo. Ambos nutrientes disminuyeron su

concentración a medida que disminuye la concentración de fenol e hidrocarburo liviano en los diferentes ensayos. Esto se debe a que *Lemna obscura* creció en mayor proporción, en aquellos tratamientos donde había menor cantidad de fenol e hidrocarburo liviano, ya que estos inhiben el crecimiento de las plantas, por tanto al haber mayor cantidad de plantas, va existir una mayor demanda de nutrientes y la concentración de éstos va a disminuir con el tiempo, es decir, la relación es inversamente proporcional. De esta forma se tiene en T10, que los valores más bajos de nitrógeno y fósforo se presentan en el tratamiento AL, con 0,37±0,13 mg/l y 0,38±0,04 mg/l respectivamente, en los ensayos con fenol, y de 0,87±0,1 mg/l para nitrógeno y 0,84±0,03 mg/l para fósforo, en los tratamientos con hidrocarburos livianos

Fenoles

La Figura 1, muestra la concentración de fenol en el agua para cada

uno de los tratamientos. La concentración inicial del fenol (2,5 mg/l) disminuye en gran cantidad en la primera mitad de cada ensayo (T5), con valores entre 0,19 y 0,30 mg/l, debido a la absorción del fenol por parte de *Lemna obscura*, y a pérdidas por volatilización (Canonica y Steemeler, 1995). La Figura 2, muestra la absorción del fenol por parte de *Lemna obscura* para todos los tratamientos. Los valores oscilan entre 1,70±0,40 mg/ Kg y 5,09±1,4 mg/ Kg. El valor más alto de fenol absorbido por *Lemna* se encontró en ALF100% con 5,09±1,4 mg/Kg por poseer la mayor cantidad de fenol. Mientras que el menor valor de fenol absorbido por *Lemna obscura* se encontró en ALF10% con 1,7±0,4 mg/ Kg por poseer la menor cantidad de fenol en dicho tratamiento. En el control AL, sin adición externa de fenol, no se detectó en las plantas la absorción del mismo.

Figura 1. Concentración de fenol en agua en los tratamientos

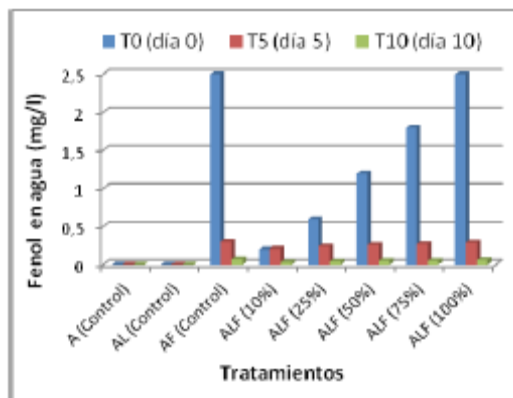


Figura 2. Concentración de fenol en plantas en los tratamientos

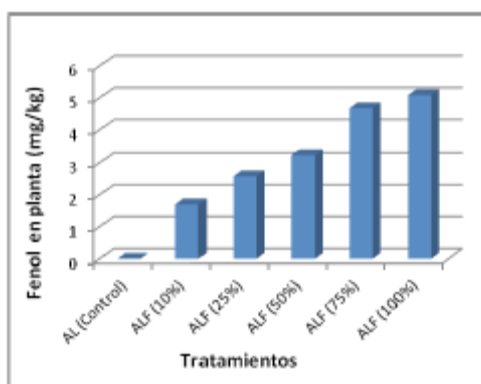


Figura 3. Concentración hidrocarburo liviano en agua en los tratamientos

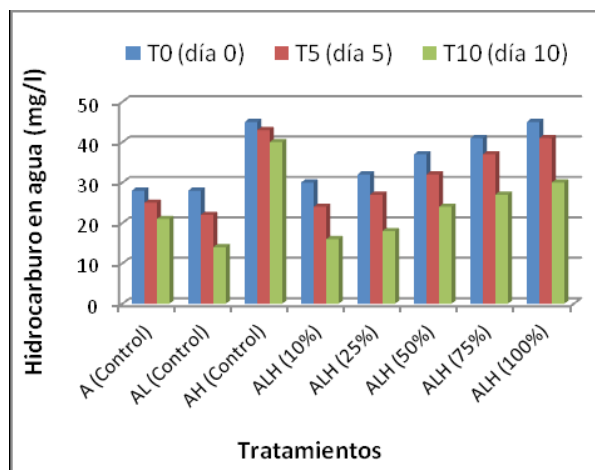
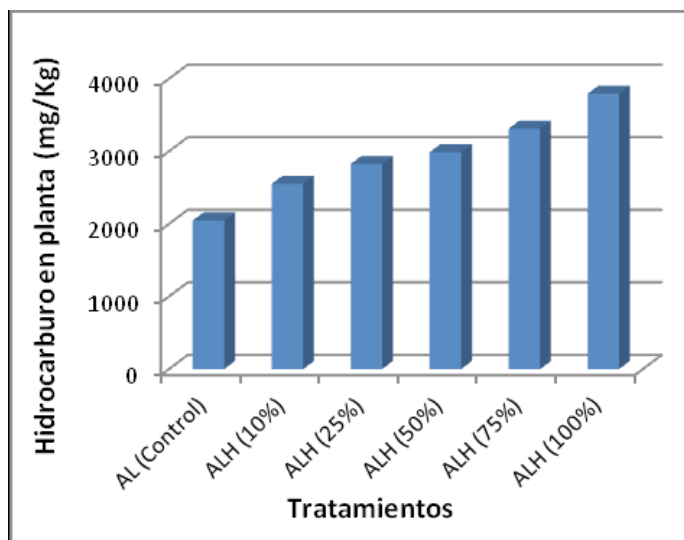


Figura 4. Concentración hidrocarburo liviano en plantas en los tratamientos



El tratamiento que presentó la mayor absorción de hidrocarburo liviano por parte de las plantas fue ALH100% con 3793 mg/kg, mientras que el menor valor lo presentó el tratamiento AL con 2047 mg/kg de hidrocarburo liviano. Angulo *et al.*, (2009) encontraron que la utilización de lenteja de agua (*Lemna sp.*) en una proporción del 75% como esponjante mejoró la biorremediación de suelos contaminados con rípidos de perforación en un ensayo de tratabilidad in situ, removiendo 7829 mg/Kg de hidrocarburos (48%). Guerra (2013), en un estudio de biorremediación de rípidos de perforación utilizando mezcla de *Lemna sp.* y grama (1:1), logró remover 11111 mg/Kg de hidrocarburos (36%) a los 75 días de tratamiento. Estos estudios demuestran la capacidad de la planta para remover el contaminante del medio.

Conclusiones

La planta *Lemna obscura* absorbió mayor cantidad de hidrocarburos livianos y presentó una mayor inhibición del crecimiento de las plantas a medida que los tratamientos incrementaron su concentración en el estudio, el fenol presentó un efecto similar al causado por el hidrocarburo liviano, pero la inhibición del crecimiento de las plantas fue menor. El patrón de crecimiento de *Lemna obscura* fue exponencial. La tasa de crecimiento más alta (0,2041 frondes/d-1) y el menor tiempo de duplicación (3,4 días) se obtuvo en los ensayos con fenol, mientras que la menor tasa de crecimiento (0,1151 frondes/d-1) y el mayor tiempo de duplicación (6 días) se presentó en los ensayos con hidrocarburo liviano. A mayor cantidad de plantas y

menor concentración de fenol o hidrocarburos livianos mayor fue la demanda de nutrientes. Con este estudio se puede inferir que los derrames de crudo ocurridos en el Lago de Maracaibo no son un factor activador para estimular el crecimiento de *Lemna obscura*.

Agradecimiento

Los autores agradecen a la Fundación Ayudemos al Lago BOD y al Centro de Investigación del Agua de la Universidad del Zulia por el financiamiento de esta investigación.

Referencias Bibliográficas

Angulo, N.; Araujo, I.; Abreu, A.; Cárdenas, C.; Morillo, G.; Bracho, B.; Saules, L. (2009). Biorre-

- mediación in situ de suelos contaminados con ripsos de perforación utilizando *Lemna sp.* Revista de la Asociación Venezolana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AVISA-AIDIS. 1: 29-31.
- APHA-AWWA-WEF. (1999). Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20th Edition, New York.
- Barboza, F. (1991). Estudio e identificación de las plantas acuáticas presentes en la Laguna de Sinauca, Instituto para el Control y Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo C-91-11-077-O.
- Barboza, F.; Herrera, L.; Sánchez, J.; Morillo, G.; Trujillo, A. (2007). Crecimiento de *Lemna Obscura* (Austin) Daubs en el Sistema del Lago de Maracaibo Universidad del Zulia. Maracaibo. Venezuela. 42 (1): 93–110.
- Canonica, S.; Steemeler, K. (1995). Transformation kinetics of phenols in water: Photosensitization by dissolved natural organic material and aromatic ketones. *Environ Sci. Technol.* 29:1822- 1831.
- Cruz, M.; Ramírez, M.; Melo, V. (2006). Efectos de la *Lemna sp.* en el hábitat y en el crecimiento del hábitat de la fauna marina del Lago de Maracaibo. U.E.P Colegio formación Integral 12 febrero. Caracas, Venezuela. 125 pp
- Gijzen, H. (1998). Ciencia al día “lenteja de agua (planta para las aguas residuales)” Institute for intrutural Hydraulic and Engineering. Holanda, [en línea], de <http://aupec.univalle.edu.co/informes/julio98/lentejahtml>
- González, E.; Gordon, E. (2004). *Lemna* en el lago de Maracaibo. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Trabajo Especial de Grado. Caracas, Venezuela.
- Guerra, M. (2013). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando bacterias autóctonas, *Lemna sp.* como agente esponjante y biopilas. Universidad del Zulia, Postgrado de la Facultad de Ingeniería. Trabajo de Maestría. Maracaibo, Venezuela. 117 pp.
- Herrera, L.; Severeyn, H.; Rincón, J.; Morales, E.; Morillo, G.; Barboza, F.; Araujo, I.; Cárdenas, C.; Zambrano, O.; Godoy, G.; Yabroidi, S.; Ferrer, A.; García. (2004). Informe del afloramiento masivo de *Lemna sp.* en el Lago de Vol. 42, Crecimiento de *Lemna* 109 Maracaibo. Comisión Especial designada por el Consejo Universitario de La Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. 8 pp.
- Landolt, E. (1986). The family of Lemnaceae – a monography study (vol. 1). Veroff Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rubel, Zurich. 2: 139–167.
- Medina, E.; Barboza, F.; Francisco, M.; Sánchez, J. (2006). Biomasa y composición mineral de comunidades de *Lemna obscura* (Austin) Daubs en el Lago de Maracaibo. *Ciencia* 14 (Número Especial): 32–41.
- Normas para la Clasificación y Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. (1995). En Gaceta Oficial N° 5.021. Decreto 883. Poder Legislativo de Venezuela .
- Ramírez, A. (2004). Lenteja de agua, *Lemna* en el lago de Maracaibo. Planigestion, C.A., [en línea], de <http://www.planigestion.com/Documentos/LentejadeAguaLagoMaracaibo.pdf>
- Santini, P.; Varena, L.; Escobar, A. (2000). Producción de plantas acuáticas *Lemna minor* y *Azolla filiculoides* y su uso conjuntamente con harina de pescado en raciones para cerdo. Informe Técnico. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 6 pp.