



7th INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION Academic

“CLEANER PRODUCTION FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS”

Removal of Lead (Pb) by the Rhizofiltration Technique Using *Thitonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray (False Sunflower) Plants

DE LA CRUZ MONTOYA, E.^a, CABANZO OLARTE, A. C.^b, OSPINO COSSIO, W. J.^a, CEBALLOS OTALVAREZ, K. D.^a.

a. Escuela de Ingeniería Ambiental, Instituto Universitario de la Paz, Barrancabermeja, Santander.

b. Departamento de Química, Universidad del Cauca, Popayan, Cauca.

Correo Electronico del autor principal: edwin.delacruz@unipaz.edu.co

Abstract

Waters contamination by heavy metals represents a environmental problem due to its high toxicity for both humans and the environment. Heavy metals tend to accumulate because of their resistance to degradation. The vegetable species *Thitonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, was used for the removal the lead (Pb) in a synthetic solution using the rhizofiltration technique in two different germination ages 2 and 4 months with three different concentrations of the heavy metal 20, 15 and 10 mg / L.

The *Thitonia diversifolia* species proved to be efficient in the removal of lead with greater than 90% for the two germination ages evaluated. The highest amount of lead was concentrated in the roots. This becausenthe False sunflower belongs to the dicotyledonous class and according to bibliographic review these accumulate significantly high amounts of lead in the roots.

Keywords: rhizofiltration, lead, thitonia diversifolia, removal.

1 Introducción

El uso de metales pesados representa una de las principales fuentes de contaminación del medio ambiente, debido a sus múltiples aplicaciones en diferentes actividades como la agricultura, minería, fundición, galvanoplastia, refinado de oro, gasolina, explosivos, entre otros [1]. Entre los tres iones metálicos más peligrosos para la salud humana están el Pb, el Hg y el Cd [2].

El plomo es un metal tóxico presente de forma natural en la corteza terrestre y es ampliamente utilizado en la industria metalúrgica, minera, de reciclaje y fabricación de baterías, pigmentos para pinturas, alfarería, cables y productos químicos. La exposición a plomo aumenta el riesgo de hipertensión arterial y de lesiones renales. En los niños afecta particularmente el desarrollo del cerebro y del sistema nervioso, y en las embarazadas, la exposición a concentraciones elevadas de plomo puede ser causa de aborto natural, muerte fetal, parto prematuro, bajo peso al nacer, y provocar malformaciones leves en el feto [3].

“CLEANER PRODUCTION FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS”

Barranquilla - Colombia - June 21st and 22nd - 2018

Las personas pueden verse expuestas al plomo en su entorno a través de la ingestión de polvo, agua o alimentos contaminados. En Ecuador, se ha detectado la presencia de concentraciones de plomo en diferentes cultivos: 8,70 mg Pb/kg en cultivos de café (*coffea arábica*) [4], 0,24 a 5,36 ppm en suelos de cultivo para banano, cacao, café, palma y plátano [5] y concentraciones de 37.600 mg Pb/kg de suelo en El Salvador [6].

En Colombia, se analizaron las muestras de sangre de los habitantes de los municipios caribeños San Marcos, Guaranda, Sucre y Majagual, encontrando concentraciones entre 36,1 µg/l y 52,46 µg/l de Pb [2], éstas exceden los límites permisibles por la Organización Mundial de la Salud. La presencia de Pb en concentraciones superiores a los límites permitidos está relacionada con los daños genéticos registrados en las poblaciones expuestas. Las posibles fuentes de plomo fueron atribuidas a las constantes inundaciones provenientes del río Cauca que recoge desechos tóxicos generados por la actividad minera e industrial a lo largo de su recorrido. Además, el empleo de fertilizantes en los cultivos de arroz constituye un aporte significativo de metales pesados como el cadmio y el plomo [7].

Los diferentes métodos fisicoquímicos utilizados para remover metales pesados son costosos, de naturaleza disociadora, e ineficientes para eliminar altas concentraciones de metales [8]. El estudio de técnicas sostenibles que cada vez sean más factibles representa un reto para los investigadores. Las fitotecnologías aprovechan los mecanismos fisiológicos básicos que ocurren en las plantas y en los microorganismos asociados a ellas, tales como: transpiración, fotosíntesis, metabolismo y nutrición. La rizofiltración es un tipo de fitorremediación, en donde a través de las raíces de las plantas, principalmente acuáticas, eliminan contaminantes presentes en el medio hídrico [9].

En este estudio, la eficiencia de remoción de Pb de una solución sintética utilizando la especie vegetal terrestre *Tithonia Diversifolia* (hemsl.) A. Gray (Falso Girasol) fue investigado. El Falso Girasol pertenece a la familia Arasteraceas, las cuales toleran altas concentraciones de metales pesados en comparación con otros grupos taxonómicos [10], además posee un gran volumen radicular, es de fácil cultivo, rápido crecimiento y existe en la zona; lo cual la hace idónea para la implementación de la técnica rizofiltración. Esta planta podría ser utilizada en distintas zonas donde se requiera tratar efluentes contaminados, ya que crece en diferentes condiciones agroecológicas, desde el nivel del mar hasta 2700 m en La Cocha (Nariño), con precipitaciones que fluctúan entre 800 a 5000 mm y en diferentes tipos de suelo [11].

2 Metodología

2.1 Propagación vegetativa de la planta *tithonia diversifolia* (hemsl.) a. gray (falso girasol) y evaluación del comportamiento en medio acuático

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron dos edades de germinación de la planta de falso girasol, edad 1 y edad 2 (4 y 2 meses respectivamente), la propagación de éstas se realizó a partir de esquejes de tamaño aproximado a los 14 cm de longitud y el sustrato empleado fue una mezcla heterogénea de arena, tamo de arroz y tierra negra en proporciones 2:2:1 respectivamente.

Con el objetivo de conocer los nutrientes necesarios para que el Falso Girasol logre adaptarse y mantener su aspecto vigoroso en medio acuático se realizó un estudio preliminar en donde las plantas estuvieron en agua durante 17 días con diferentes concentraciones de nutrientes. Los nutrientes usados fueron, cloruro de calcio (CaCl_2), nitrato de potasio (KNO_3) y ácido bórico (H_3BO_3). Teniendo en cuenta el mejor comportamiento en cuanto a la vigorosidad, se decidió utilizar en el sistema hidropónico las concentraciones de nutrientes presentadas en la Tabla 1.

Nutriente	Concentración (g/L)
CaCl_2	0,0155
KNO_3	0,3647
H_3BO_3	0,0375

Tabla 1. Concentraciones de nutrientes utilizadas en el sistema hidropónico de raíz flotante para remoción de plomo en la solución sintética.

2.2 Sistema hidropónico

La solución sintética fue preparada utilizando como fuente de plomo el Acetato de plomo trihidratado ($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), ya que este es estable y soluble en agua. Además, provee el catión Pb^{2+} el cual es una de las formas más tóxicas de este metal pesado. Como solvente se utilizó agua desionizada, la cual está libre de impurezas y actividad iónica, disminuyendo el riesgo de que el catión Pb^{2+} sea atrapado por otro ion acomplejando la solución sintética. El sistema hidropónico consistió en recipientes plásticos con soporte de icopor, en los cuales las plantas de Falso Girasol con 4 y 2 meses de germinación estuvieron en contacto durante 9 días con el agua a tratar (9.6 L) (cada recipiente con 12 plantas).

2.3 Influencia de las concentraciones de Pb y la edad de la planta en el proceso de absorción

Para determinar la influencia de la concentración del contaminante durante el proceso de remoción se emplearon para cada edad tres concentraciones [1]: 20 mg/l, [2]: 15 mg/l y [3]: 10 mg/l., de las cuales a una sola concentración ([2]) se le hizo una réplica para comprobar que la tendencia del proceso de absorción no fue al azar. Además, se realizó un testigo con el fin de conocer si el proceso de absorción lo realizaron las plantas o si la disminución del plomo se debió a otra causa. Al finalizar los días de estudio se halló el porcentaje de remoción de plomo, comparando los resultados obtenidos para cada edad de germinación utilizada, determinando la influencia de esta variable en el proceso de absorción del contaminante. Durante los 9 días que las plantas realizaron el proceso de absorción de Pb se tomaron muestras en cinco tiempos diferentes, los cuales fueron t1:0h, t2:24h, t3:72h, t4:120h y t5:216h; en cada tiempo de muestreo se tomaron 2 muestras compuestas; este proceso se realizó para cada edad de germinación.

2.4 Comportamiento de las plantas en el sistema hidropónico

Durante el periodo de estudio en el cual las plantas de la edad 1 y edad 2 estuvieron en contacto con el agua a tratar se registraron día por medio los cambios que estas sufrieron en cuanto a coloración y vigorosidad de las hojas, y mortalidad, para lo cual se enumeraron las 12 plantas que conformaban cada sistema hidropónico de raíz flotante, además al finalizar los días de estudio se enumeraron las nuevas raíces que desarrollaron las plantas. Con el objetivo de determinar si la longitud de las raíces influyó en el proceso de absorción se realizó la medición de estas.

2.5 Cuantificación del contenido de Pb en los tejidos de la planta

Las plantas utilizadas en cada uno de los ensayos fueron clasificadas en parte aérea (tallos y hojas) y parte sumergida (raíz). Para obtener la biomasa seca, se llevó el material vegetal al horno a una temperatura de 75°C hasta peso constante, se maceró hasta lograr una muestra homogénea, se midió 0.1g de cada muestra seca mediante balanza analítica. La muestra conocida se depositó en un erlenmeyer de 250 ml, una vez en este, se realizó una digestión utilizando 10 ml de HNO_3 y 10 ml de HCL concentrado durante 3 horas a 100°C aproximadamente. Posteriormente las muestras fueron filtradas por gravedad y el filtrado se llevó a un volumen de 100 ml con agua destilada. Finalmente, las muestras se dispusieron en recipientes plásticos, se rotularon y se enviaron al laboratorio para determinar la concentración del metal en cada fracción por la técnica de Espectroscopia de Absorción Atómica.

2.6 Tratamiento estadístico de los datos

El procesamiento de los datos obtenidos para el porcentaje de remoción del metal se realizó empleando el método de análisis de varianzas (ANOVA), ya que con tres concentraciones se tuvieron los datos necesarios para la aplicación de este sistema estadístico.

2.7 Impacto de la investigación

Se espera que los resultados de la investigación contribuyan en la ampliación del número de plantas terrestres con potencial en la técnica de rizofiltración, de tal manera que se pueda tratar la

problemática ambiental que actualmente presentan muchos cuerpos hídricos en el mundo. Además, se ha demostrado que esta técnica es una alternativa para la descontaminación, ya que remueve eficientemente fosfatos, nitratos, fenoles, pesticidas, metales pesados, elementos radiactivos, fluoruros, bacterias y virus, de aguas residuales, agrícolas e industriales, incluyendo las industrias: lechera, de pulpa y papel, textil, azucarera, de curtiduría, de destilería, aceitera, de galvanizado y metalurgia [1]. Por lo tanto, esta investigación es una importante contribución, para establecer la rizofiltración como una tecnología simple, económica y sustentable que representa una opción viable para el tratamiento de aguas contaminadas.

3 Resultados y Discusión

3.1 Influencia de las concentraciones de Pb en el proceso de absorción

Las muestras recolectadas durante el tiempo de estudio fueron enviadas al laboratorio del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga en donde fueron analizadas por medio de la técnica Espectroscopia de Absorción Atómica. En la Figura 1 y 2 se observan los resultados de la absorción del contaminante para cada edad durante las 24, 72, 120 y 216 horas de exposición.

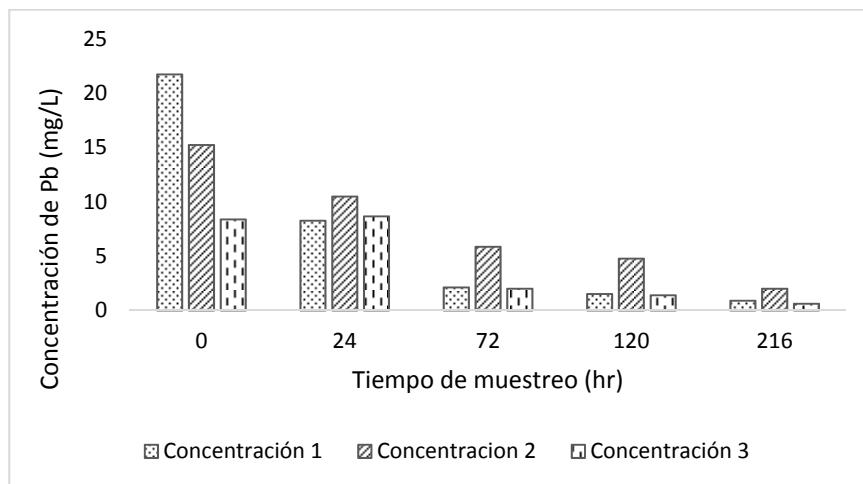


Fig 1, Absorción de Pb por las plantas de 4 meses de germinación, para cada una de las concentraciones evaluadas; concentración 1: $21.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentración 2: $15.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentración 3: $8.38 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

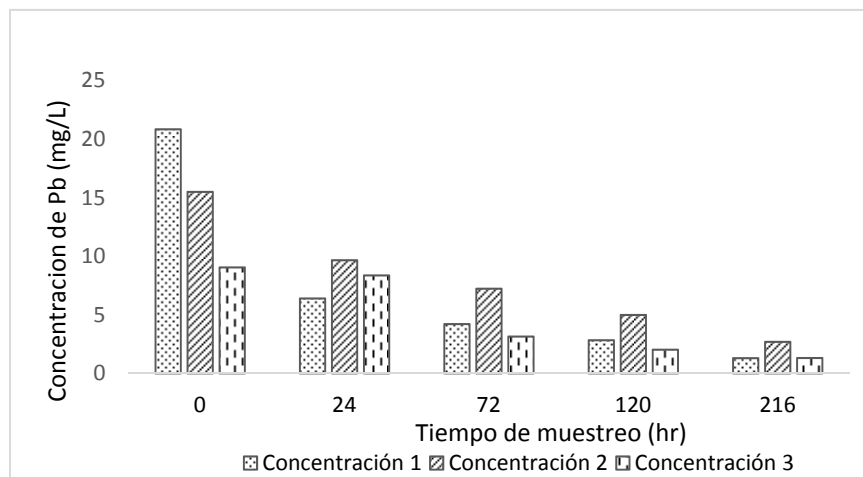


Fig 2, Absorción de Pb por las plantas de 2 meses de germinación para cada una de las concentraciones evaluadas; concentración 1: $20.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentración 2: $15.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, concentración 3: $9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Los resultados muestran que la concentración de plomo (Pb) no influyó en el proceso de remoción, ya que en los tratamientos donde se utilizó la mayor concentración de Pb se obtuvo la mejor remoción del contaminante. Al disminuir la concentración del contaminante disminuye la capacidad de absorción de la planta, sin embargo, se logran absorciones importantes de plomo para las tres concentraciones utilizadas. Estudios realizados por otros investigadores reportan que la eficiencia del proceso de absorción aumenta con la concentración de plomo en el agua a tratar [1, 11-12].

3.2 Efecto de la edad de la planta en el proceso de remoción de Pb

Con los resultados obtenidos de los análisis de plomo de las diferentes muestras tomadas durante los días de estudio se calcularon los porcentajes de remoción mediante la siguiente ecuación (1):

$$\% \text{Remoción: } \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

Donde C_i : concentración inicial (mg/L), C_f es concentración final (mg/L).

Se observa en la fig 3, que en todos los tratamientos la mayor remoción de plomo la realizaron las plantas de la edad 1 con un 91.75 % en promedio de remoción de Pb, mientras las plantas de la edad 2 fue en promedio 87.26 %. Lo anterior concuerda con lo reportado en investigaciones anteriores [13], donde concluyeron que la absorción de plomo por la planta *mimosa púdica* ocurre cuando la planta es madura (60 días de edad).

Las plantas de mayor edad de germinación presentaron mejor remoción del contaminante, esto, debido a que la cantidad de biomasa (raíces y hojas) generada por las plantas de la edad 1 fue mayor a la generada por las plantas de la edad 2, quedando comprobado lo expuesto por Agudelo, *et al.*, (2009) y Mahdieh, *et al.*, (2013) citado por Coyago y Bonilla, (2016), quienes señalan que la diferencia en absorción de plomo en las especies vegetales va depender en la cantidad de biomasa generada durante la etapa de germinación, por lo tanto a mayor biomasa mayor absorción de plomo.

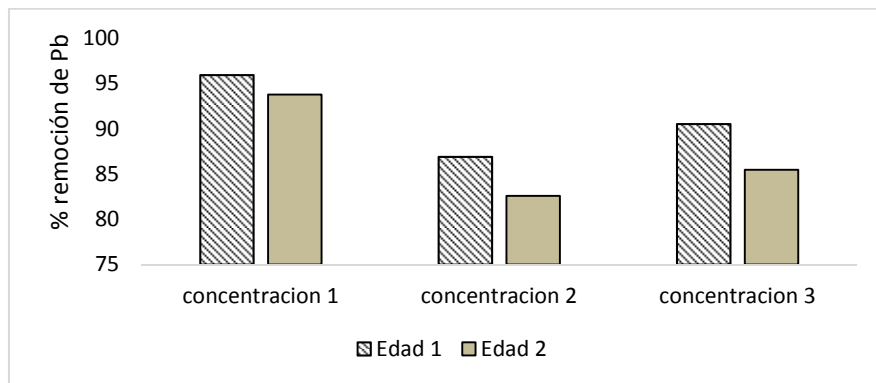


Fig 3, Comparación de porcentajes de remoción de Pb entre las dos edades de germinación 4 y 2 meses de germinación (Edad 1 y 2 respectivamente) de la especie vegetal *Tithonia diversifolia* para cada tratamiento utilizado.

3.3 Efecto del Pb en el desarrollo del falso girasol en los sistemas hidropónicos.

Después de 24 horas la mayoría de las plantas ya se habían adaptado al medio acuático y algunas estaban vigorosas, pero empezaron a desarrollar efectos de la toxicidad como necrosis foliar, clorosis, pérdida de turgencia y aparición de manchas en las hojas; además las plantas de la edad 1 fueron las que se vieron mayormente afectadas por las tres concentraciones utilizadas ya que murieron 11 plantas en total entre los diferentes tratamientos, mientras que para la edad 2 no murió ninguna planta. En la figura 4, 5 y 6 se observan los datos registrados día por medio de la vigorosidad, desarrollo de nuevas hojas y la mortandad de las plantas de las dos edades.

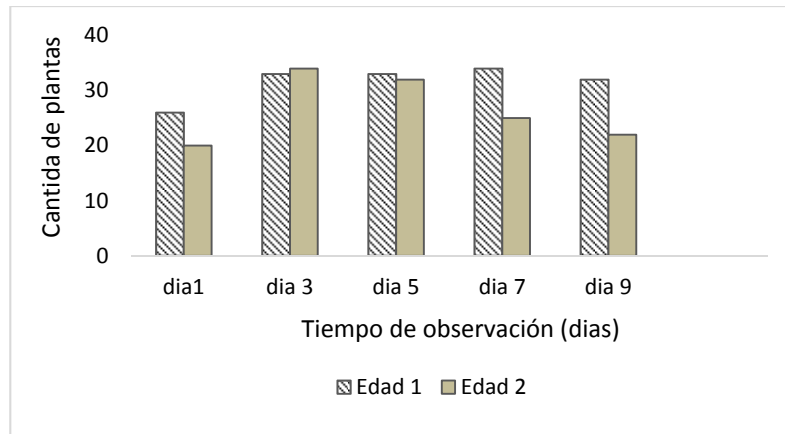


Fig 4, Observación día por medio del número de plantas que presentaron aspecto vigoroso, comparando las edades de germinación 4 y 2 meses de germinación (Edad 1 y 2 respectivamente)

Teniendo en cuenta las anteriores figuras se observa que las plantas de 4 meses de germinación fueron las que tuvieron mejor comportamiento en cuanto a vigorosidad y nuevas floraciones de hojas, ya que al noveno día de estudio 32 plantas estaban vigorosas; en comparación con las de la edad de 2 meses de germinación que sólo presentaron 22 plantas vigorosas. Según el registro en la figura 5 se observa que día por medio las plantas de la edad 1 desarrollaron nuevas hojas a diferencia de las plantas de la edad 2, en la cual sólo florecieron nuevas hojas al 1 y 5 día de estudio.

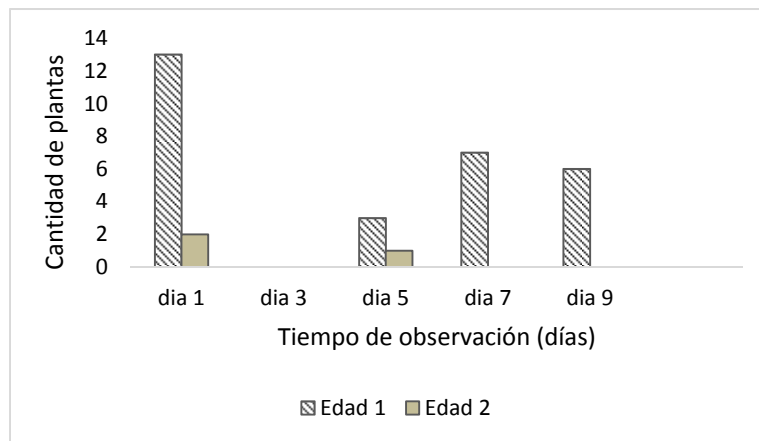


Fig 5, Observación día por medio del número de plantas que desarrollaron nuevas hojas, comparando las edades de germinación 4 y 2 meses de germinación (Edad 1 y 2 respectivamente)

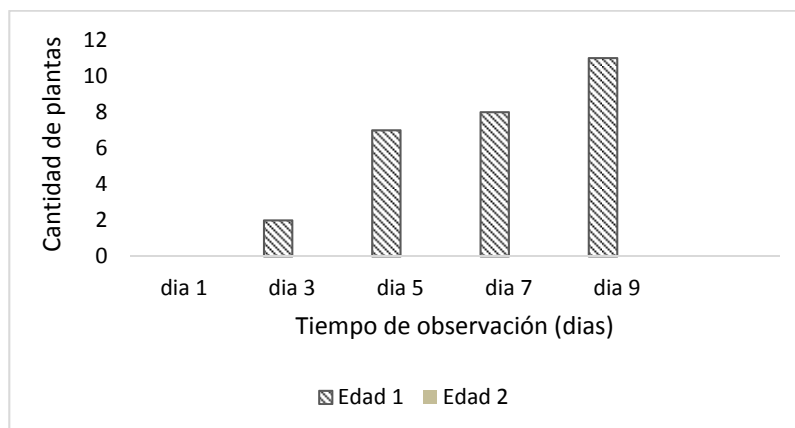


Fig 6. Registro del número de plantas que iban muriendo al pasar los días de exposición al Pb, comparando las edades de germinación 4 y 2 meses de germinación (Edad 1 y 2 respectivamente)

Las plantas de 4 meses de germinación se vieron mayormente afectadas por las 3 concentraciones utilizadas, ya que durante el tiempo de exposición al Pb murieron 11 plantas en total entre los diferentes tratamientos, por el contrario, no murió ninguna planta de la edad 2 durante el periodo de estudio. Resultados similares se han observado en *Helianthus annuus* cuando ha sido expuesta a tratamientos con Cr(III) [2] encontrando que, a menor edad de las plántulas, estas presentaron mayor tolerancia al contaminante. Con el objetivo de determinar si la longitud de la raíz influye en el proceso de remoción realizado por cada edad de las plantas utilizadas, se midió la longitud de las raíces de cada una de las doce plantas utilizadas en cada sistema hidropónico y luego se realizó un promedio de las longitudes. Fig 7.

Las plantas de menor edad de germinación utilizadas en las tres concentraciones de Pb presentaron raíces de mayor longitud respecto a la otra edad de estudio, pero esto no influyó en la remoción del contaminante, dado que el porcentaje de remoción fue mayor para las plantas de la edad de cuatro meses de germinación, por lo tanto se cree que es más importante la madurez de los tejidos.

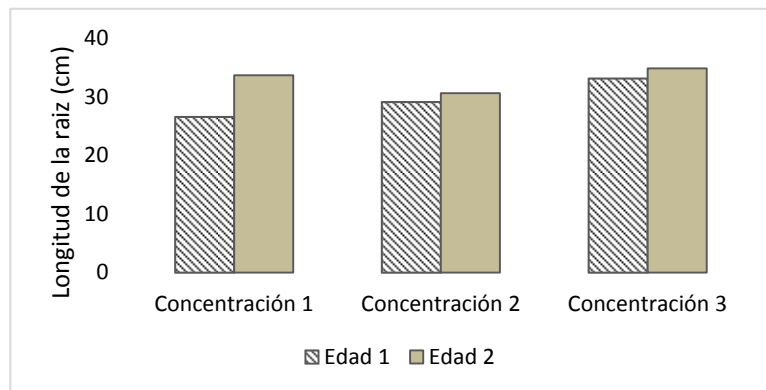


Fig 7, Promedio de la longitud de las raíces de las plantas con 4 y 2 meses de germinación utilizadas en cada uno de los tratamientos (concentración 1, 2 y 3).

Además, se observó a cuáles plantas le germinaron nuevas raíces, en la figura 8 se puede apreciar la comparación entre ambas edades según la cantidad de plantas que desarrollaron nuevas raíces.

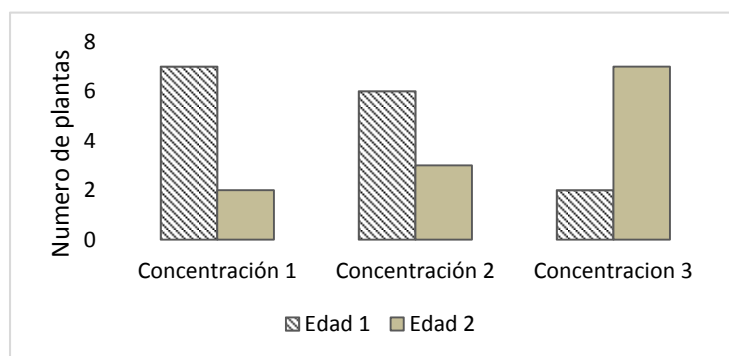


Figura 8. Número de plantas para cada edad de germinación que desarrollaron nuevas raíces al finalizar los días de estudio.

Ambas edades utilizadas en el proceso de remoción de plomo del agua sintética desarrollaron nuevas raíces, pero la mayoría de las plantas de la edad 1 fueron las que desarrollaron raíces; aunque la diferencia es sólo por dos plantas ya que para la edad 2 trece (13) plantas desarrollaron raíces.

Teniendo en cuenta que las plantas de mayor edad de germinación fueron las que desarrollaron nuevas raíces y floraciones de hojas esto podría indicar que se adaptan a ambientes contaminados. Para

ambas edades las plantas utilizadas en la concentración 2 fueron las que presentaron un mejor comportamiento en el sistema hidropónico en cuanto a vigorosidad y muerte, ya que solo una planta de la edad 1 murió al último día de estudio.

3.4 Absorción de Pb en los tejidos de *tithonia diversifolia*

Al finalizar el estudio, las plantas que estuvieron en contacto con la concentración de Pb de 15 mg/L se les realizó la digestión para determinar donde había quedado acumulado el plomo absorbido, encontrando que la mayor cantidad de Pb se encontraba en la raíz con 10.5 mg/L de Pb, en comparación con el tallo y hojas que presentaron una concentración de 0.30 y 0.15 mg/L Pb respectivamente. Lo anterior coincide con lo reportado por investigadores [11]; donde determinan que el plomo absorbido había quedado concentrado en las raíces de las plantas utilizadas. Sin embargo, Vera *et al* 2016 evaluó dos especies de macrofitas emergentes en la remoción de plomo encontrando que *Canna generalis* logró absorber mayor concentración de plomo en la raíz que en las hojas, comportamiento totalmente opuesto al de *Typha dominguensis* que presentó mayor capacidad de translocación del contaminante a las hojas. Por lo anterior la acumulación del metal en las partes de la planta varía según la especie vegetal utilizada en el proceso de remoción y también según el metal a tratar ya que Palacio y Sanchez 2006, evaluaron la acumulación de cobre en la planta *Tithonia diversifolia*, demostrando que la planta absorbió el metal mediante las raíces y posteriormente lo acumuló en las hojas. Por esta razón la acumulación del metal en las partes de la planta va depender de la naturaleza del contaminante y de la especie vegetal.

4 Conclusiones

La especie vegetal *Thitonia diversifolia* demostró ser eficiente en la remoción de plomo, ya que el porcentaje de remoción fue aproximadamente del 90% para las dos edades utilizadas (2 y 4 meses de germinación), lo cual indica que esta planta es una especie potencial y una excelente alternativa para tratar efluentes contaminados con plomo a través de sistemas de rizofiltración, obteniéndose buenos resultados aún a concentraciones altas de Pb; pues en los tratamientos donde se utilizó la mayor concentración ([1]) se logró el mejor porcentaje de remoción del contaminante por las plantas de ambas edades durante los 9 días de estudio.

En general, las plantas de 4 meses de germinación fueron las que realizaron el mayor proceso de remoción de plomo para las tres concentraciones empleadas, ya que presentaron mejor vigorosidad, desarrollando mayor cantidad radicular y foliar. Sin embargo, las plantas de esta edad se vieron mayormente afectadas por la toxicidad del metal, presentando efectos como necrosis foliar, clorosis y muerte de 11 plantas en total entre los diferentes tratamientos; por el contrario, ninguna planta de 2 meses de edad de germinación murió durante los días de estudio, lo anterior podría indicar que la planta *Tithonia diversifolia* atraviesa una etapa de tolerancia hasta adaptarse al ambiente contaminado.

El proceso de remoción de plomo realizado por la especie vegetal *Tithonia diversifolia* se llevó a cabo principalmente durante las primeras 24 horas y la mayor cantidad del contaminante se acumuló en la raíz.

Para las tres diferentes concentraciones empleadas en el presente estudio y las dos edades de las plantas utilizadas se observó que el porcentaje de absorción supera el 80 % para todos los casos, con el procesamiento de los datos realizado con el análisis de varianza se obtuvo que no existen diferencias significativas entre concentraciones y edades en el proceso de absorción del contaminante; lo cual es importante ya que la planta estudiada puede ser empleada a una edad temprana de germinación para un amplio rango de concentraciones.

5 Bibliografía

- [1] DELGADILLO, A., GONZÁLEZ, C., PRIETO, F., VILLAGÓMEZ, J. y ACEVEDO, O. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. 2011. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14 (2011): 597- 612
- [2] CALAO, C. y MARRUGO, J. Efectos genotóxicos asociados a metales pesados en una población humana de la región de La Mojana, Colombia, 2013. *Biomédica*. 2015. Volumen 35 (Supl.2):139-51. ISSN 0120-4157. Disponible en: <http://www.revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/2392/2812>
- [3] CHICO, J., Lisi Cerna-Rebaza De Chico, Marlene Rodríguez- Espejo, Marlene Guerrero-Padilla. Capacidad remediadora de la raíz de girasol, *Helianthus annuus*, cuando es sometida a diferentes concentraciones de plomo. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú. 2012*
- [4] Coyago, E., y Bonilla, S., Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. 2016. Vol. 23(1): 35–46. ISSN: 1390-3799.
- [5] De la rosa, G., Cruz-Jiménez, G. I., Cano-Rodríguez, R. Fuentes-Ramírez y Gardea-Torresdey, J. L. Efecto de la edad de la planta y presencia de SS-EDDS en la tolerancia y absorción de Cr (III) por *Helianthus annuus*. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 7, No. 3 (2008) 243-251
- [6] Dominguez, J. y Toro, L. Evaluación de la capacidad fitoextractora de plomo de especie *mimosa pudica* en muestras de suelo del corregimiento el centro, municipio de Barrancabermeja, Santander. P 43. Trabajo de grado Ingeniero Ambiental y de Saneamiento. Escuela de Ingeniería Ambiental y de saneamiento. Instituto Universitario de la Paz. Barrancabermeja. 2011
- [7] Jara, E., Gómez. J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M. & Cano, N. Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista peruana de biología*. 2014. 21(2):145-154.
- [8] Jarvis, M.; Leung, D. Chelated lead transport in *Pinus radiata*: an ultrastructural study. *Environmental and Experimental Botany*. 202. 48:21 – 32.
- [9] Khan S., Ahimad I., Shah M., Rehman S. y Khalig A. "Use of Constructed wetland for the removal of heavy metals from industrial wastewater". *Journal of environmental Management*. 2009. Vol. 90. 3451-3457.
- [10] Mahdieh, M., M. Yazdani y S. Mahdieth. The high potential of *Pelargonium roseum* plant for phytoremediation of heavy metals. *Environ Monit Assess*. 2013. 5: 7877– 7881.
- [11] ONU. Intoxicación por plomo y salud. 2015. Nota descriptiva N°379. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/es/>.
- PALAC
- [12] Ios C & Sanchez J. Acumulación de altas concentraciones de cobre en plantas de *tithonia diversifolia* en diferentes tipos de suelos. Trabajo de grado Química. Facultad de ciencias. Escuela de química. Universidad industrial de Santander. Bucaramanga, 2006.
- [13] Perez, A. *Tithoniadiversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Pastos y Forrajes* .2009, vol.32. p 2.