

Diseño de un sistema de tratamiento a través de un filtro biológico y un sistema de biorremediación para las aguas contaminadas con metales pesados

Adolfo León Agatón, Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial, Especialista en Derecho Tributario y Aduanero, Facultad de Ingeniería, Fundación Universitaria los Libertadores, Bogotá D.C., Colombia, aleona@libertadores.edu.co

Resumen– El diseño de un sistema de tratamiento eficaz y viable económicamente para las diferentes industrias se abordó en este artículo. En una primera fase se diseñó un filtro biológico con material de soporte como las zeolitas complementándose con material biológico de buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) seca y molida. *Eichhornia crassipes* es una planta acuática muy abundante en humedales, lagunas y ríos, debido a esto genera muchos problemas ambientales y ecológicos. En una segunda fase se propone un sistema de tratamiento también con la *E. crassipes* aún viva para obtener remociones más altas de metales pesados como es el caso de cromo contenidos en aguas contaminadas en diferentes industrias. Un sistema de tratamiento con zeolitas y después con *Eichhornia crassipes* es económico y fácil de conseguir y se obtienen resultados eficientes. También este material vegetal se puede convertir en la energía para cualquier tipo de industria.

Palabras Clave: Zeolitas, *Eichhornia crassipes*, bioremediación, Filtros biológicos.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el mundo está enfrentando una crisis debido a la falta de agua. Dicha escasez es una consecuencia del rápido desarrollo de las industrias y la gran cantidad de agua residual de procesos industriales que se descargan a los ríos y demás sistemas hídricos. Estas aguas residuales suelen contener una gran variedad de contaminantes, muchos en forma de iones catiónicos y aniónicos, aceites y grasas, y demás residuos orgánicos con efectos nocivos y venenosos sobre los ecosistemas (HUI, CHAO, & Y COT, 2005). Generalmente, la remoción de estos contaminantes requiere de tecnologías efectivas, por lo que en las últimas décadas se han desarrollado técnicas de limpieza que tratan esta problemática.

En este estudio se explorará el uso de dos tipos de materiales naturales para la remoción y retención de Metales pesados de aguas contaminadas por los residuos del proceso industrial en especial el cromo. Específicamente se investigará sobre dos posibilidades: un primer material de origen mineral y un segundo material de origen vegetal. En el caso del material de origen mineral se trata de zeolitas y mesoporosos, los cuales podrán ser sintetizados o extraído de las minas de arcillas y minerales, siendo usado en su estado natural, obtenidas en Colombia, o tras procesos de modificación y dopaje. El segundo

material, de origen vegetal como las macrófitas especialmente el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*).

Diseño de un sistema de tratamiento completo para las aguas contaminadas con metales pesados.

Se diseñaron unos sistemas de tratamiento completo, en dos fases: en una primera fase un filtro entre zeolitas combinado con *Eichhornia crassipes* molida y una segunda fase del tratamiento propuesto es colocar las aguas en contacto con la *Eichhornia crassipes* aún vivas, en un proceso discontinuo donde estará en contacto por más de 10 días. La cantidad de agua que se utilizaría es de menos de 100 litros, aunque puede cambiar el sistema dependiendo de las concentraciones y de cantidades.

II. METODOLOGIA

Primera fase (Diseño de Filtro Biológico)

Para desarrollar un diseño óptimo de un sistema de tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados, se debe realizar una caracterización de las aguas contaminadas para establecer los criterios ideales para el tratamiento. Las cantidades deben ser de menos de 100 litros/día, lo que produce una curtiembre o las minas. La primera fase de este sistema de tratamiento es un filtro con zeolitas, carbón activado y *Eichhornia crassipes* molida.

Un componente esencial para este tratamiento donde se ha utilizado como material de soporte para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados son las zeolitas. El uso de zeolitas naturales para aplicaciones medioambientales ha generado y genera un gran intereses investigativo como consecuencia de sus excelentes propiedades y de su abundancia a nivel global, siendo unos de los ejemplos más recientes el accidente nuclear de Fukushima. Distintos estudios se han llevado a cabo sobre su utilización para la absorción y reducción de Cr (VI) en distintos ambientes, (COVARRUBIAS, GARCIA, YANES, & ARRIAGADA, 2008), (ASGARY, B, L, & M, 2013).

En el tratamiento de cromo utilizado en las curtiembres, se han realizado estudios relacionados con las aplicaciones de materiales zeolíticos en la eliminación de estos iones. (COVARRUBIAS, GARCIA, YANES, & ARRIAGADA, 2008), demostraron que al poner en contacto zeolitas de distinta estructura (4A, 13X y mordenita), con una solución preparada con sales de cromo Cr (III) y Cr (VI), siempre había una absorción y retención preferencial del Cr (VI) respecto al Cr (III) en la estructura de la misma. Dicha capacidad de retención incrementó cuando las zeolitas eran modificadas con surfactantes. Son materiales adecuados para el tratamiento de agua (MARGETA, ZABUKOVEC, & SILJEG, 2013), con metales pesados dada su gran capacidad de intercambio catiónico, así como su gran afinidad por este tipo de metales (HUI, CHAO, & Y COT, 2005). Las zeolitas naturales son minerales de aluminosilicatos hidratados con una estructura porosa y propiedades fisicoquímicas valiosas además del intercambio de cationes, entre las que se cuentan el cribado molecular, la catálisis y la absorción (SLADE & PITCHER, 2004). De manera simple, se trata de una red tridimensional consistente en unidades tetrahedrales de sílice y alúmina unidas a un átomo de oxígeno compartido. El reemplazo isomorfo de Si^{4+} por Al^{3+} resulta en una carga negativa global que es compensada por diversos cationes otorgando a este material propiedades adicionales a las estructurales.

Otro componente importante para este filtro en el tratamiento de las aguas contaminadas con metales pesados son las plantas acuáticas especialmente la *Eichhornia crassipes*. En diferentes investigaciones también se ha encontrado que las plantas son agentes bioacumuladoras de metales pesados, como en el caso de las hojas de café en el estudio de (HIGUERA, ARROYAVE, & FLOREZ, 2008), Estableciendo una metodología práctica a la hora de retener metales pesados presentes en las aguas, diseñando e implementando un filtro rápido de arena el cual se compone de una capa de grava y unas capas trituradas de hojas de café que se situaron en tres posiciones diferentes (inferior, media y superior), concluyendo que este sistema de tratamiento a escala piloto es eficiente removiendo el 90% de los metales pesados.

Pero de las plantas acuáticas encontradas en la literatura actual se debe hacer especial referencia a la *Eichhornia crassipes*, debido a su alta capacidad en la retención de metales pesados presentes en el agua y en la generación de energía, esta planta acuática es invasora de ecosistemas acuáticos encontrándose en grandes cantidades en humedales, lagunas, ríos etc. (EPSTEIN, 2012). (ATEHORTUA & GARTNER, 2003).

(ATEHORTUA & GARTNER, 2003), tamizaron *E. crassipes* para construir un filtro biológico para el tratamiento de aguas industriales contaminadas con Cromo y Plomo, el tiempo de

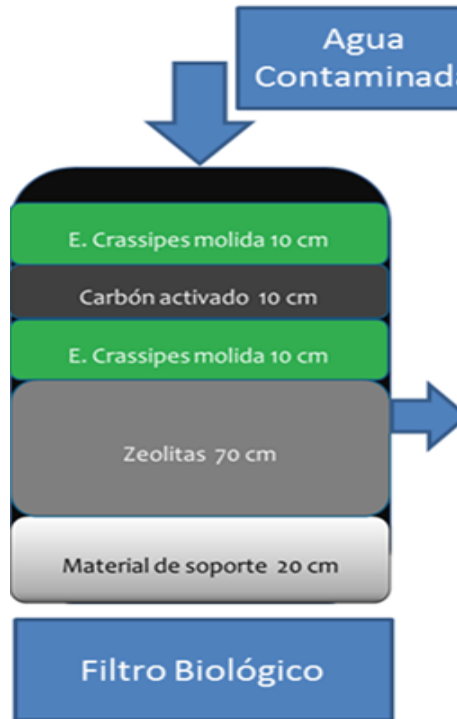
retención fue de seis horas y se removió un 60 % de estos metales. También (CHISUTIA & MMARI, 2014), (XIAOSEN, SONGLIN, ZHONGYUAN, DIANNAN, & ZHENG, 2013), tamizaron *Eichhornia crassipes* para tratar efluentes de industrias, con eficiencias por encima del 90%. (TORRES, Estudio del aprovechamiento del lechuguin, *Eichhorniacrassipes*, del embalse de la represa Daniel Palacios como biosorbente de metales pesados en el tratamiento de aguas residuales., 2009), analizó la capacidad de absorción de *Eichhornia crassipes* seca por medio de ensayos de flujo y encontraron que esta capacidad depende de variables como la velocidad de flujo, el pH de la solución y el tamaño de partículas.

El carbón Activado, h Ha demostrado ser un adsorbente eficiente para la eliminación de una amplia variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el medio ambiente acuático. Debido a sus áreas superficiales porosas que van desde 500 hasta 1.500 m^2/g , así como la presencia de un amplio espectro de superficie funcional que la hace accesible a diferentes reactivos (KARNI, KABBANI, HOLAIL, & OLAMA, 2014).

Las composiciones en el diseño propuesto por el autor y presentada con las recomendaciones de cada uno de los referentes, se muestra en la Fig.1.

La altura será de 1,2 m y servirá para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados como el cloro en las curtiembres, este es el primer paso para la descontaminación de estas aguas, después pasaría a un sistema de tratamiento con la *Eichhornia crassipes*. El tiempo de retención sería de menos de 30 minutos y se cambiarían el material vegetal cada cinco tratamientos. Este tratamiento es muy económico comparándolo con los tradicionales.

Ilustración 1 Sistema de tratamiento Filtro Biológico



Fuente: Autor

Segunda fase tratamiento con *Eichhornia crassipes* viva

(HUSNA & LATIF, 2010). Realizaron un estudio en el 2010 sobre la captación de metales pesados por la planta *Eichhornia crassipes* acuática. Su objetivo era determinar la cantidad de metales pesados que absorbe después de un determinado tiempo de exposición, y la vez ubicar la parte del organismo que acumulaba una mayor concentración de los metales. Los resultados muestran que esta especie puede ser utilizada para remover exitosamente Zinc y Cadmio en bajas concentraciones. La captación total depende de la concentración del metal y el tiempo de exposición. Al igual que en los estudios mencionados con anterioridad se demostró que las raíces de la planta acumulan concentraciones mayores de los metales en comparación con el resto del organismo.

Se han diseñado y construido diferentes sistemas de tratamiento con la *E. crassipes*, estos procesos de investigación consistieron en colocar esta planta en aguas industriales contaminadas determinando sus remociones y estableciendo variables en el diseño como capacidad, Ph, temperatura entre otros (ZIMMELS & MALKOVS, 2005), (XIA & XIANGJUAN, 2006), (ALVARADO, y otros, 2008), (SARASWAT, 2010),

(CARRION, y otros, 2012), (KASTURIARACHCHI, 2014), diseño y construyo un sistema de tratamiento con el *E. crassipes* como agente principal, en tanque de fibra de vidrio para el tratamiento de nutrientes, concluyendo que esta planta es vital para construir humedales artificiales.

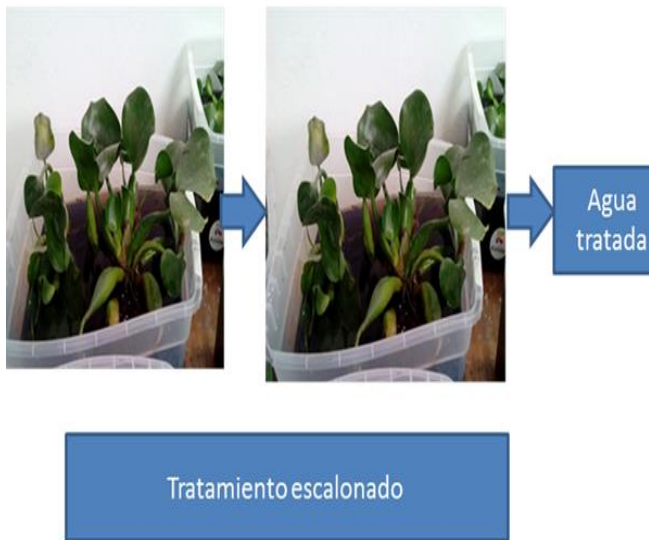
Un mecanismo biológico estudiado por (YUBIN, QUNJIE, & YULIN, 2015) concluyo que cuando *E. crassipes* se encuentra reteniendo metales como el uranio activan unas enzimas antioxidantes que ayudan a la retención de este metal. (MARTINEZ, TORRES, & GARCIA, 2013), estudiaron la cinética de absorción de la *Eiccornia crassipes*, evaluando diferentes ecuaciones de primer y segundo orden.

(P.A.O, L, & A, 2004). Los métodos multi-elementales han permitido una investigación precisa de las concentraciones de Cr en los tejido de la *E. crassipes*. La alta sensibilidad de SIMS permitió la detección de Cr en un mayor número de células en la raíz, principalmente en las paredes celulares. Concluyendo que esta planta acuática es altamente eficiente a la hora de remover metales pesados. También (TORRES, VERANES, PELLÓN, ESPINOZA, & OÑA, 2009), realizó una simulación de un efluente de una curtiembre con $K_2Cr_2O_7$ a concentraciones de 10ppm, 25 ppm y 50 ppm por un periodo de nueve semanas en un sistema hidropónico libre con la *E. crassipes* durante nueve semanas, obteniendo unas remociones por encima del 80%.

(LENKA, KAMAL K, & BRAHMA, 1990), realizaron uno de los primeros estudios con *E. crassipes* donde evaluaron estas plantas con concentraciones de mercurio acuático; y después de determinado tiempo muestrearon las raíces analizando la bioconcentración de mercurio a través de espectrofotometría. Los resultados indicaron que la bioconcentración de mercurio en el tejido de la raíz era tanto tiempo y dependiente de la concentración, proporcionando pruebas de que el buchón de agua es un buen absorbente de mercurio acuático.

La segunda fase para unas remociones altas de metales pesados en el caso del cromo en las curtiembres, es dejar el agua contaminada en un tratamiento con la *Eichhornia crassipes* por más de 10 días. Siendo necesario cambiar por lo menos unas vez la planta para mejores eficiencias. En la Fig.2 se muestra como sería este sistema de tratamiento.

Ilustración 2 Sistema de tratamiento

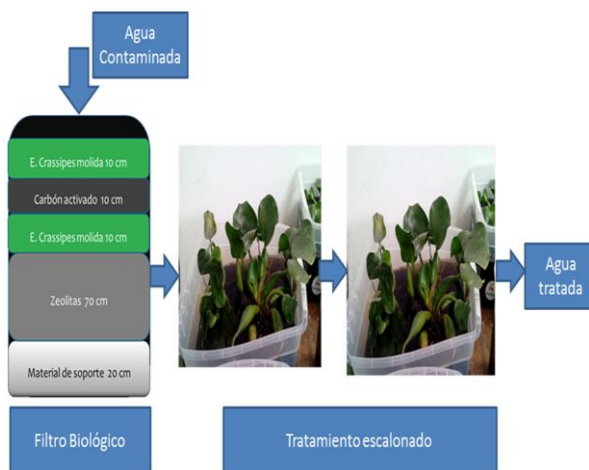


Fuente: Autor

Sistema de tratamiento Filtro Biológico + Sistema de tratamiento

Estas dos fases, que constan de un tratamiento completo, tendrían unas remociones por encima del 90%, y costaría alrededor de los 700 dólares, siendo muy económico y eficiente a la hora de remover metales pesados de las aguas. En la Fig 3 se muestra como sería el sistema de tratamiento ya completo.

Ilustración 3 Sistema de tratamiento Filtro Biológico + Sistema de tratamiento



Fuente: Autor

III. CONCLUSIONES

Las zeolitas son materiales adecuados para el tratamiento de agua con metales pesados dada su gran capacidad de intercambio catiónico, así como su gran afinidad por este tipo de metales. Son económicos, fáciles de conseguir y se podrían adaptar a otros sistemas de tratamiento. Como la construcción de filtros de zeolitas y biológicos.

Debido a su alto crecimiento y abundancia del buchón del agua (*Eichhornia crassipes*) se propone una tecnología de fácil acceso y económica para tratar las aguas contaminadas con metales pesados como el cromo en las curtiembres, esta planta retiene en su organismo grandes contenidos de metales pesados.

También se encontró que esta planta se puede obtener la suficiente energía como el biogás e hidrogeno, siendo esta utilización viable para implementar.

Hacer unas tecnologías de tratamiento a través de zeolitas y plantas acuáticas se vuelve una opción ejecutable en las industrias que vierten a los cuerpos de aguas metales pesados causando graves daños al ecosistema. Un sistema de tratamiento con zeolitas y después con *Eichhornia crassipes* es económico y fácil de conseguir y se obtienen resultados eficientes. También este material vegetal se puede convertir en la energía para cualquier tipo de industria.

IV. BIBLIOGRAFIA

- ALVARADO, S., M, G., MP, L.-M., N, G., A, A., CJ, A., & G, Z. (2008). Arsenic removal from waters by bioremediation with the aquatic plants Water Hyacinth (*Eichhorniacrassipes*) and Lesser Duckweed (*Lemna minor*). *Bioresurce Technology*, 8436-8440.
- ASGARY, G., B, R., L, R., & M, A. (2013). Adsorption from aqueous solution using a surfactant-modified Iranian zeolite: characterization, optimization, and kinetic approach. *Desalination and Water Treatment*, 6009-6020.
- ATEHORTUA, & GARTNER. (2003). Preliminary studies of *Eichhornia crassipes* dry biomass for lead and chromium removal from waters. *Colombiana de Materiales* 4, 81-92.
- ATEHORTUA, E., & GARTNER. (2003). Preliminary studies of *Eichhornia crassipes* dry biomass for lead and chromium removal from waters. *Colombiana de Materiales*, 81-92.
- Ballen Suarez et al. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. VI SERA-Seminario iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento Urbano de Agua Joao Pessoa (Brasil).

- Ballen Suarez et. al. (2006). Sistema de aprovechamiento de agua lluvia para vivienda urbana. VI serea-seminario iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua (Brasil).
- Carmona, R. (1992). Instalaciones Hidraulicas Sanitarias y de gas en edificaciones. SantaFe de Bogota, D.C: Coinascotplo-Ascotplo.
- CARRION, C., PONCE, L., SILKE, C., IRENE, S., HERNANDEZ, M., & VANEGAS, C. (2012). Aprovechamiento potencial del lirio acuático (*Eichhorniacrassipes*) en Xochimilco para fitorremediación de metales. *Agrociencia*.
- CHISUTIA, W., & MMARI, O. (2014). Chisutia W; Mmari O.(2014). Adsorption of Congo Red Dye from Aqueous Solutions Using Roots of *Eichhorniacrassipes*: Kinetic and Equilibrium Studies. *EnergyProcedia. Volume 50*, 862-869.
- CIDECALLI-CP. (2007). Diseño de sistema de captacion de agua lluvia: Sistema de captacion de agua de lluvia para uso domestico y consumo humano (COLPOS 1), a nivel de familia.
- COVARRUBIAS, C., GARCIA, R., YANES, J., & ARRIAGADA, R. (2008). Preparation of CPB-modified FAU zeolite for the removal of tannery wastewater contaminants. *Journal of Porous Materials* August 2008, Volume 15, 491-498.
- Diaz. (s.f.). (septiembre de 2013). Ingeniero hidraulico. (Y. Mariño, & A. Leon, Entrevistadores).
- EAAB. (2014). *Alcantarillado y aseo de Bogota*.
- EPSTEIN, P. (2012). Weeds bring disease to the east African waterways. *Lancet. Volume 351, No. 9102*, 577.
- FUSDA. (2008). Medio ambiente y desarrollo: hacia un manejo sustentable del agua. Nueva Vision social democracia. 36.
- HIGUERA, O., ARROYAVE, J., & FLOREZ, L. (2008). Diseño De Un Biofiltro Para Reducir El Índice De Contaminación Por Cromo Generado En Las Industrias Del Curtido De Cueros. Nro. 160. *Industrias Del Curtido De Cueros. Nro. 160*, 107-119.
- HUI, K., CHAO, C., & Y COT, S. (2005). Removal of mixed heavy metal ions in wastewater by zeolite 4A and residual products from recycled coal fly ash. J. Hazard. Mater. *Journal of Hazardous Materials*, 89-101.
- HUSNA, H., & LATIF, P. (2010). Uptake of Cadmium and Zinc from Synthetic Effluent by Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Environmen Asia*, 3, 34-41.
- I.F., P. (2009). Aprovechamiento de aguas pluviales. Departamento de construcciones arquitectonicas II. Arquitectura tednica, EPSEB-UPC.
- KARNI, B., KABBANI, A., HOLAIL, H., & OLAMA, Z. (2014). Heavy Metals Removal Using Activated Carbon, Silica and Silica Activated Carbon Composite, *Energy Procedia, Volume 50*. 115-120.
- KASTURIARACHCHI, J. (2014). Removal of nutrients (N and P) and heavy metals (Fe, Al, Mn and Ni) from industrial wastewaters by phytoremediation using water hyacinth (*Eichhorniacrassipes*) under different nutritional conditions.
- LENKA, M., KAMAL K, P., & BRAHMA, B. (1990). Studies on the ability of water hyacinth (*Eichhorniacrassipes*) to bioconcentrate and biomonitor aquatic mercury. *EnvironmentalPollution | Vol 66*, 1-101.
- MARGETA, K., ZABUKOVEC, N., & SILJEG, M. F. (2013). In Water Treat. (Elshorbagy, WInTech). <http://www.intechopen.com/books/water-treatment/natural-zeolites-in-water-treatment-how-effective-is-their-use>.
- MARTINEZ, C., TORRES, M., & GARCIA, C. (2013). *Evaluación de la cinética de adsorción de zn2+ y cd2+ a partir de soluciones unitarias y binarias por raíces de eichhorniacrassipes y typha latifolia*.
- P.A.O, M., L, L., & A, L. e. (2004). Accumulation of chromium in root tissues of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. in Cachoeira river—Brazil. *Applied Surface Science 231-232*, 497-501.
- Palacios, N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como aLternativa para el ahorro de agua potable, en la institucion Maria Auxiliadora de caldas,antioquia. Universidad de Antioquia.
- PNUMA. (2007). Perspectivas del medio ambiente.
- SARASWAT, J. (2010). Heavy metal adsorption from aqueous solution using *Eichhorniacrassipes* dead biomass. International. *Journal of Mineral Processing Volume 94*, 203-206.
- SLADE, R. Y., & PITCHER, S. (2004). Heavy metal removal from motorwaystormwater using zeolites.Sci. Total Environ. *Sci Total Environ. 2004 Dec 1*, 334-335.
- TORRES, M. (2009). *Estudio del aprovechamiento del lechuguin, Eichhorniacrassipes, del embalse de la represa Daniel Palacios como biosorbente de metales pesados en el tratamiento de aguas residuales*. Tesis de Grado.
- TORRES, M., VERANES, O., PELLÓN, A., ESPINOZA, M., & OÑA, A. (2009). Estudio del comportamiento de la microalgascenedesmusobliquus para la precipitación de cromo en albañal sintético. *cubana de Química. Vol. XXIV*.
- UNATBASAR. (2001). Guia de diseño para captacion del agua de lluvia: Unidad de apoyo Tecnico en saneamiento Basico Rural - UNATSABAR. Centro Panamericano de ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente Division de Salud y Ambiente Organizacion Panamericana de la salud Ofici.
- XIA, H., & XIANGJUAN, M. (2006). La fitorremediación de ethion por el jacinto de agua (*Eichhorniacrassipes*) del agua.

- XIAOSEN, L., SONGLIN, L., ZHONGYUAN, N., DIANNAN, L., & ZHENG, L. (2013).)."Adsorption, concentration, and recovery of aqueous heavy metal ions with the root powder of Eichhorniacrassipes". *Ecological Engineering. Volume 60*, 160-166.
- YUBIN, T., QUNJIE, X., & YULIN, M. (2015). Study of Uranium Accumulation Mechanism and Physiological Responses of Eichhorniacrassipes and Pistiastratiotes. . *Environmental Protection and Resource Utilization IV. Advanced Materials Research* , 1073-1076.
- ZIMMELS, F., & MALKOV, K. (2005). Application of Eichhorniacrassipes and Pistiastratiotes for treatment of urban sewage in Israel. *Journal of Environmental Management (Impact Factor: 3.19)*.