

BIOSORCIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN SOLUCIÓN CON *Lemna obscura* INMOVILIZADA EN SILICA.

Francisco J. Linares¹, Carmen S. González¹, Juan Lujano², Luis Sanchez², Mayantino Garaboto¹.

cgonzalez@unexpo.edu.ve, amayanti@gmail.com, jalujano@ecogest.com.ve, lsanchez@ecogest.com.ve,

¹Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”. Vicerrectorado Barquisimeto.

²ECOGEST INGENIEROS C.A.

RESUMEN: En los últimos años la contaminación por metales pesados en cuerpos de aguas como consecuencia de la meteorización y erosión de minerales y de los residuos producidos por las actividades humanas, ha llevado al estudio de nuevas tecnologías para la disminución de estos contaminantes. Por tal motivo se evaluó la capacidad de biosorción de Cadmio y Plomo en solución empleando *Lemna obscura* inmovilizada en Silica en función del tiempo de contacto con la solución contaminada y el tamaño de la biomasa inmovilizada, mediante un diseño experimental con tres réplicas. Para ello se utilizó el Método Espectrofotométrico UV-Vis con Ditzona y la técnica de Fluorescencia de Rayos X (FRX), con las que se determinaron las concentraciones de estos metales. Los biomateriales presentaron una humedad mayor del 10% y una alta concentración de Sodio y Calcio, así como bajas concentraciones de diferentes metales como Cadmio, Plomo, Vanadio, estos últimos por la biomasa. La eficiencia de remoción en 30 minutos con el biomaterial con el mayor tamaño de *Lemna obscura*, fue de 95,44% y 98,46% para el Cadmio y Plomo, respectivamente, presentando mejor afinidad los biosorbentes por este último en cada uno de los estudios realizados. Haciendo de esta tecnología una innovación de bajos costos en comparación con otras, que permite disminuir los contaminantes metálicos a los límites que establece el Decreto 883 de las normativas venezolanas.

Palabras clave: Lemna obscura, Biosorción, Biomateriales, Cadmio, Plomo.

BIOSORPTION OF CADMIUM AND LEAD IN AQUEOUS SOLUTION WITH *Lemna obscura* IMMOBILIZED ON SILICA.

ABSTRACT: In recent years the heavy metal pollution in water bodies as a result of weathering and erosion of minerals and waste produced by human activities has led to the study of new technologies for the decrease of these pollutants. Therefore the ability to biosorption of cadmium and lead in solution with water Duckweed *Lemna obscura* immobilized on silica as a function of time of contact with the contaminated solution and the size of the immobilized biomass, using an experimental design was evaluated with three replicas. For this, the UV-Vis Spectrophotometric method was used with Dithizone the technique of X-ray fluorescence (XRF), with concentrations were determined these metals. Biomaterials had a higher moisture content of 10% and a high concentration of sodium and calcium, and low concentrations of various metals such as cadmium, lead, vanadium, the latter by the biomass. Removal efficiency at 30 minutes with the biomaterial with the larger size of *Lemna obscura*, was 95.44% and 98.46% for cadmium and lead, respectively, showing better affinity for the latter biosorbents in each studies. Making technology innovation low costs compared to others, which reduces metal contaminants limits established by Decree 883 of Venezuelan regulations.

Keywords: Lemna obscura, Biosorption, Biomaterials, Cadmium, Lead.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la contaminación de aguas por metales pesados, generada por diversos procesos industriales, es una de las principales problemáticas de relevancia mundial en la sociedad. Es por ello que se han hecho grandes esfuerzos con el fin de desarrollar innumerables tecnologías para tratar de resolver dichos problemas en función de la complejidad y de la naturaleza química de los metales[1-4]. Los procesos más relevantes que se han tomado actualmente en consideración para el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados están basados en mecanismos de bioacumulación y procesos de biosorción [1,2]. La Biosorción se define como un fenómeno rápido del secuestro pasivo de metales pesados por biomasa muerta (adsorbente). Tiene la ventajas en comparación con las técnicas convencionales que son de bajo costo, alta eficiencia, no requiere adición de nutrientes; se pueden regenerar los biosorbentes y la posibilidad de recuperarlos metales.

Un gran número de estudios han mostrado el potencial que tienen las plantas acuáticas y entre ellas las *Lemna sp.* para el biotratamiento de aguas contaminadas con metales pesados. No obstante los estudios con *lemna sp.* han sido particularmente orientados a procesos activos de fitorremediación por bioacumulación, usando plantas vivas en crecimiento.[5-20]. La tolerancia de la *Lemna sp.* puede ser debido a su alto contenido de celulosa o de la evolución de los grupos químicos funcionales en las células vegetales que inhiben los efectos tóxicos de los iones metálicos [18]. Las bondades de esta planta basadas en su bioquímica, acelerado crecimiento y abundante producción de biomasa la convierten en una potencial candidata para desarrollar nuevos biomateriales utilizando la planta muerta, En este sentido el objetivo de este estudio es evaluar la biosorción de cadmio y plomo en solución empleando *Lemna Obscura* inmovilizada en sílica.

2. DESARROLLO

2.1. Lenteja de Agua (*Lemna obscura*)

Es una planta vascular acuática flotante, la cual se conoce 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. De cada fronde pueden producirse, vegetativamente, hasta cinco plantas nuevas. En condiciones óptimas, esta planta puede duplicar su población en apenas dos días. El intervalo óptimo de salinidad en la que se desarrolla la planta es de 0,8 a 4,0%. La planta también requiere de nitrógeno en forma de amonio, de aguas cálidas y quietas, a fin de poder reproducirse [6].

2.2. Procedimiento Experimental

El presente trabajo de investigación consistió en someter los biomateriales de *Lemna* inmovilizada en Silica a dos tratamientos: el primero con soluciones acuosas de Plomo a 10,80 ppm de concentración y el segundo con Cadmio a 12,40 ppm de concentración. Para cada tratamiento se varió el tiempo de contacto de 30,40 y 60 minutos. Adicionalmente, en cada tiempo de contacto se varió el tamaño de la biomasa de tamiz 30 y tamiz 40. Cada tratamiento se evaluó por triplicado para un total de 32 unidades experimentales, a las cuales se les midió la concentración de Cadmio y Plomo total, usando tres réplicas de laboratorio para un total de 96 mediciones.

2.2.1. Recolección y tratamiento de la biomasa

Para elaboración de los biomateriales se utilizó la *Lemna obscura* como biomasa, debido a que muestra en sí tener una alta afinidad por los iones metálicos y puede ser obtenido a bajo costo y fácilmente, adicionalmente tiene una tasa de crecimiento exponencial (dos días) lo cual hace atractivo la generación de la materia prima para la elaboración de los biomateriales. La planta fue recolectada en San Lorenzo, Municipio Baralt Estado Zulia durante el mes julio y agosto del 2014. Todas las muestras recolectadas fueron lavadas con abundante agua para eliminar los escombros, posteriormente se secó en una estufa a $60,0 \pm 1,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y una vez seca la biomasa se trituró, y se tamizó usando como técnica la serie de Taylor (Tamices 30 mesh de 0,595 mm y 40 mesh de 0,420 mm).

2.2.2. Elaboración del Biomaterial

La metodología seguida para la elaboración del biomaterial es el indicado por Gardea [21]. Este método consiste en la inmovilización del material de la pared celular dentro de una matriz de

polisilicato y en el cual se mezclaron 218 mL de ácido sulfúrico al 5% (H_2SO_4) con suficiente silicato de sodio solución (Na_2SiO_3) al 6% para elevar el pH entre 2-3, momento en que se incorporó la biomasa (*Lemna obscura*) del tamaño correspondiente (T30 con el tamaño de biomasa de 0,595 mm y el T-40 con el tamaño de biomasa de 0.420mm). Después, el pH se elevó lentamente por la adición de Na_2SiO_3 al 6% para alcanzar un pH final entre 5-6. Una vez el gel rígido fue cortado y lavado con abundante agua destilada hasta eliminar los sulfatos. El gel con la biomasa inmovilizada se pasaron a una estufa a 50 ° C por una (1) hora para luego aumentar la temperatura a 60 ° C y se dejó durante la noche.

2.2.3. Caracterización inicial de la biomasa: se utilizó el método de Fluorescencia de Rayos X con reflexión total, empleando 50 mg de cada biomaterial (T-30 y T-40), se agregaron en tubos de microcentrífuga (eppendorfs) de 1,5 mL y se adiciono 1,0 mL de una solución patrón de Ni- HNO_3 de 10 ppm. También se prepararon blancos a diferencia que se utilizó 1,0 mL de la solución patrón de Ni- HNO_3 . Posteriormente los eppendorfs se colocaron en un ultra sonido, una vez dejados reposar se tomaron 5,50 microlitros de la solución sobre nadante para ser analizados en el equipo de Fluorescencia de Rayos X, marca BRUKER, modelo S2PICOFOX.

2.2.4. Evaluación del proceso de biosorción de los Biomateriales

Con la solución de Cadmio: Se pesaron aproximadamente 2,0 g de los diferentes biomaterial elaborados y se agregaron a 50 mL de la solución de Cadmio de $12,40 \pm 0,21$ ppm, y se colocaron en agitación constante por 30, 45 y 60 minutos. Transcurrido ese tiempo, se filtró la solución por gravedad y se separaron los sólidos de la solución. Para determinar las concentraciones finales se empleó el Método Espectrofotométrico UV-Vis. Para las muestras con los iones de Cadmio se realizó un tratamiento previo con Ditzona, posteriormente un lavado a las mismas con soluciones alcalinas de NaOH para eliminar interferencias que puedan enmascarar la concentración real de Cd, con los lavados se obtienen dos fases y la orgánica se le midió la Absorbancia con un Espectrofotómetro Genesys 20, marca Thermoscientific, a una longitud de onda de 518 nm.

Con la solución de Plomo: Se pesaron aproximadamente 2,0 g de los diferentes biomaterial elaborados y se agregaron a 50 mL de la solución de Plomo de $10,80 \pm 0,07$ ppm, y se colocaron

en agitación constante por 30, 45 y 60 minutos. Transcurrido ese tiempo, se filtró la solución por gravedad y se separaron los sólidos de la solución. Para determinar las concentraciones finales se empleó la Técnica de Fluorescencia de Rayos X con reflexión total, utilizando una solución patrón de 10,0 ppm de Níquel, en eppendorfs de 1,5 mL se agregó 0,5 mL de las muestras con iones de Pb y 0,5 mL de la solución patrón de Níquel. De igual manera se prepararon tres blanco pero con 0,5 mL de agua desionizada y se tomaron 0,0055 μ L de los eppendorfs para posteriormente ser analizadas en el equipo de Fluorescencia de Rayos X, marca BRUKER, modelo S2PICOFOX.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Efecto de la senescencia en la remoción de cadmio

Los biomateriales obtenidos se emplearon con la solución de Cadmio de 12,40 ppm durante un tiempo de contacto fijo (30 min) y como se puede observar en la Tabla 1 los biomateriales preparados con la planta senescente bajaron su capacidad de remoción en casi un 50% en comparación con los biomateriales preparados con la planta recién recolectada. Esto se debe a la descomposición de los péptidos y los compuestos carbonados que generan la reactividad del biomaterial [22]. En este caso, las pectinas han sido atacadas por las enzimas pectinasas que inducen a su descomposición. Otro punto importante es que en el proceso de senescencia de la biomasa de las plantas acuáticas ocurre un cierre de los poros que bloquean la reactividad de las estructuras en la pared media de las células con lo cual se contribuye a disminuir la remoción del metal observado.

TABLA 1. Promedio de las concentraciones de Cd⁺² al inicio y final de la evaluación.

Biomasa	Conc. inicio (ppm \pm S)	Conc. final (ppm \pm S)	% Remoción
Recién Recolectada	12,40 \pm 0,21	0,57 \pm 0,10	95,44
Senescente	12,40 \pm 0,21	6,32 \pm 0,28	49,03

3.2. Composición química de los Biomateriales

En la Tabla 2 se presentan las concentraciones de algunos de los elementos más representativos en la composición de los biomateriales, la presencia de los mismos se debe en parte a la utilización de la planta acuática (*Lemna obscura*), procedente del Municipio Baralt Estado Zulia, donde la presencia de elementos como Calcio, Cadmio, Hierros, Plomo, Vanadio y Fosforo en las dichas aguas hace que la planta los absorba y terminen en la estructura celular de la Lemna. Es de resaltar que las altas concentración de Silicio (Si) y Sodio (Na) se deben al Silicato de Sodio (Na_2SiO_3) empleado para la formación del biomaterial, de ahí que se encuentren por encima de 200 mg/L. El resto de los metales mostrados están a niveles de concentraciones de trazas, pero evidencian algún grado de contaminación de las aguas donde se ubicaba la planta acuática [6].

TABLA 2. Concentración de algunos elementos químico en los biomateriales.

	Biomaterial T-30	Biomaterial T-40
Elemento	Conc. (ppm \pm S)	Conc. (ppm \pm S)
As	0,01 \pm 0,01	0,03 \pm 0,01
Cr	0,02 \pm 0,01	0,04 \pm 0,02
Pb	0,05 \pm 0,03	0,04 \pm 0,02
Br	0,06 \pm 0,02	0,68 \pm 0,47
V	0,11 \pm 0,06	0,11 \pm 0,05
Mn	0,56 \pm 0,12	0,55 \pm 0,15
Sr	0,86 \pm 0,19	0,80 \pm 0,13
Cd	1,37 \pm 0,08	0,92 \pm 0,49
Ti	1,92 \pm 0,18	2,13 \pm 0,87
Zn	2,58 \pm 0,71	2,75 \pm 0,95
K	3,34 \pm 1,31	5,30 \pm 1,29
P	7,09 \pm 3,18	4,63 \pm 1,93
Cl	7,06 \pm 2,77	17,67 \pm 11,20
S	11,57 \pm 3,14	32,12 \pm 12,68
Fe	14,89 \pm 3,16	17,42 \pm 3,66
Al	16,50 \pm 4,91	13,45 \pm 4,28
Ca	194,43 \pm 78,86	166,90 \pm 57,01
Na	210,82 \pm 51,67	727,61 \pm 62,97
Si	563,40 \pm 107,49	483,30 \pm 99,38

3.3. Análisis de la capacidad de remoción de Cadmio y Plomo

La Tabla 3 muestra las concentraciones iniciales y finales de Cadmio y Plomo de las soluciones obtenida, así como el porcentaje de remoción de los metales evaluados. Los resultados reflejan que el porcentaje de remoción de Plomo fue superior del 97 % independientemente del tamaño de la biomasa y el tiempo de contacto del biomaterial en la solución (Tabla 3, Figura 1). Para el caso del Cadmio, la remoción de este metal no varió durante los primeros 45 minutos de contacto (Figura 2), pero al cabo de los 60 minutos parece haber ocurrido un proceso de desorción, esto puede explicarse debido a que los biomateriales perdían su forma al momento de la agitación lo que provocaría que el metal volviera a la solución, como se observa además existió una variación al considerar los tamaño de la biomasa; en este caso, la remoción de un 96% fue muy superior en los biomateriales con mayor tamaño de biomasa (0,595 mm) y disminuyó alrededor de un 15% (81,16%) en los materiales que presentan un menor tamaño de biomateriales (0,420 mm).

TABLA 3. Datos experimentales obtenidos para la remoción de Cd^{+2} y Pb^{+2} contenidos en solución utilizando varios biomateriales.

Metal	Tamaño Biomasa (mm)	Tiempo Contacto (min)	Conc. inicio (ppm \pm S)	Conc. final (ppm \pm S)	% Remoción	Promedio Remoción
Cd^{+2}	0,595	30	12,40 \pm 0,21	0,57 \pm 0,10	95,44	96,10
		45		0,40 \pm 0,10	96,77	
	0,420	30	12,40 \pm 0,21	2,32 \pm 0,26	81,25	81,16
		45		2,33 \pm 0,39	81,17	
		60		2,35 \pm 0,17	81,07	
	Pb^{+2}	0,595	30	10,80 \pm 0,07	0,17 \pm 0,18	98,46
45			0,25 \pm 0,07		97,67	
60			0,10 \pm 0,12		99,03	
0,420		30	10,80 \pm 0,07	0,33 \pm 0,36	96,94	97,16
		45		0,35 \pm 0,36	96,75	
		60		0,24 \pm 0,18	97,81	

Independientemente, del tamaño de la biomasa, el biomaterial ensayado permitió la remoción de más del 90% de los metales en solución en un tiempo relativamente muy corto, esto demuestra una rápida de adsorción y determina que antes de los 30 minutos se alcanza la mejor capacidad de biosorción de los sorbatos (Cd^{+2} y Pb^{+2}).

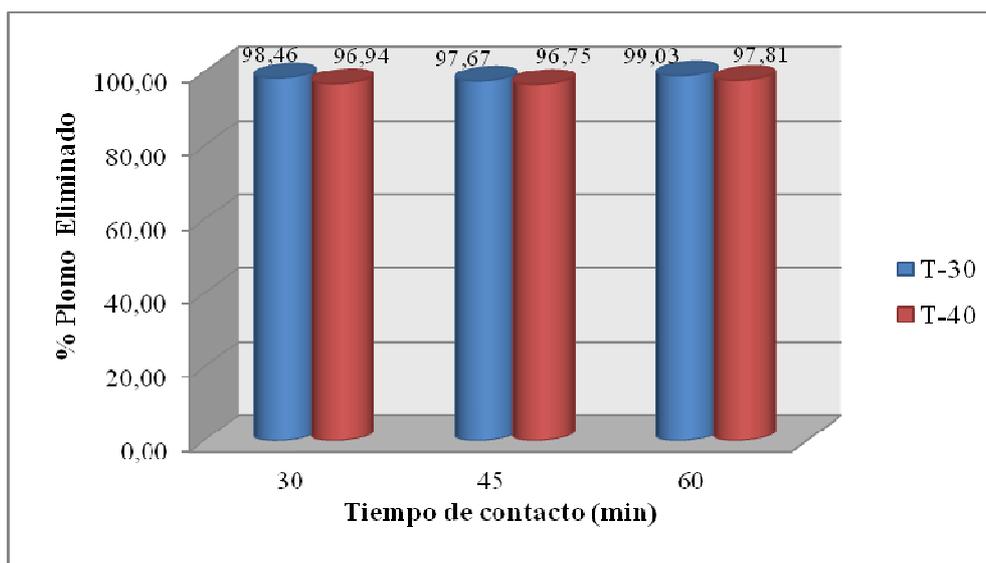


FIGURA 1 . Porcentaje de remoción de iones Pb^{+2} en función del tiempo.

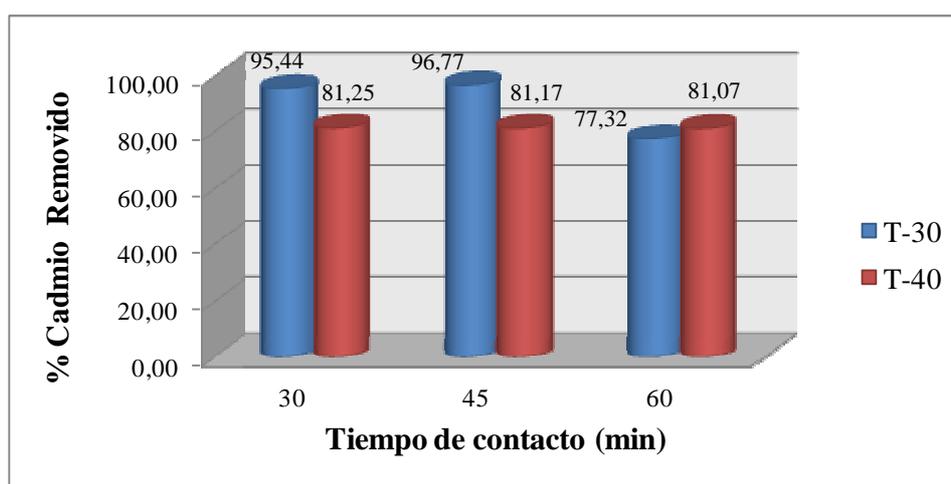


FIGURA 2. Porcentaje de remoción de iones Cd^{+2} en función del tiempo.

Los altos porcentajes de remoción de Cadmio y Plomo en ensayos con los biomateriales de Lemna-Silica podrían deberse a la presencia de grupo funcionales como los hidroxilo y carboxílicos constituyentes de las pectinas y otros compuestos como la celulosa, hemicelulosa y lignina [23] (Tabla 4), encontrados en la pared celular de la Lemna que permiten el intercambio iónico de los metales y la formación de complejos [24].

TABLA 4. Composición química de la Lemna Obscura del Lago de Maracaibo

Componente	$\frac{m}{m}$ %
Proteínas	3,23
Lignina	2,46
Hemicelulosa	17,61
Celulosa	43,21
Fibra total	63,28

Fuente: Jiménez, y Col. [23].

Las pectinas encargadas de los sitios de intercambio iónico con el Cadmio y el Plomo tienen una capacidad de disociación con un pKa 3,5-5,5 a pH 5-6 [7], los cuales aseguran el intercambio en las soluciones de pH 5 ensayada. En la biosorción de iones de Cadmio y Plomo se coordinan unidades de ácido péctico (donde las pectinas son un polisacárido) para dar lugar a quelatos estables de varios miembros que liberan iones de hidrógeno de acuerdo con el mecanismo de intercambio catiónico que se muestra en la Figura 3 para el plomo [25].

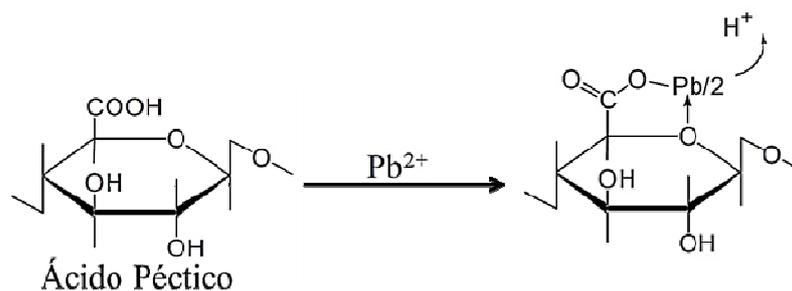


FIGURA 3. Mecanismo de intercambio iónico [7].

Otro mecanismo de remoción que pudiera estar presente es la formación de complejos con la biomasa de la Lemna caracterizada por los altos contenidos de celulosa y hemicelulosa, así como ligninas presentes en sus hojas [23]. En este caso los metales son absorbidos formando complejos más estables y ubicado en la periferia de las estructuras que se muestran el Figura 4. Esta fracción del metal absorbido en la celulosa es más estable que la fracciones absorbidos en los sitios de intercambio catiónico de las pectinas ya que se forman complejos quelatos más resistentes a la liberación.

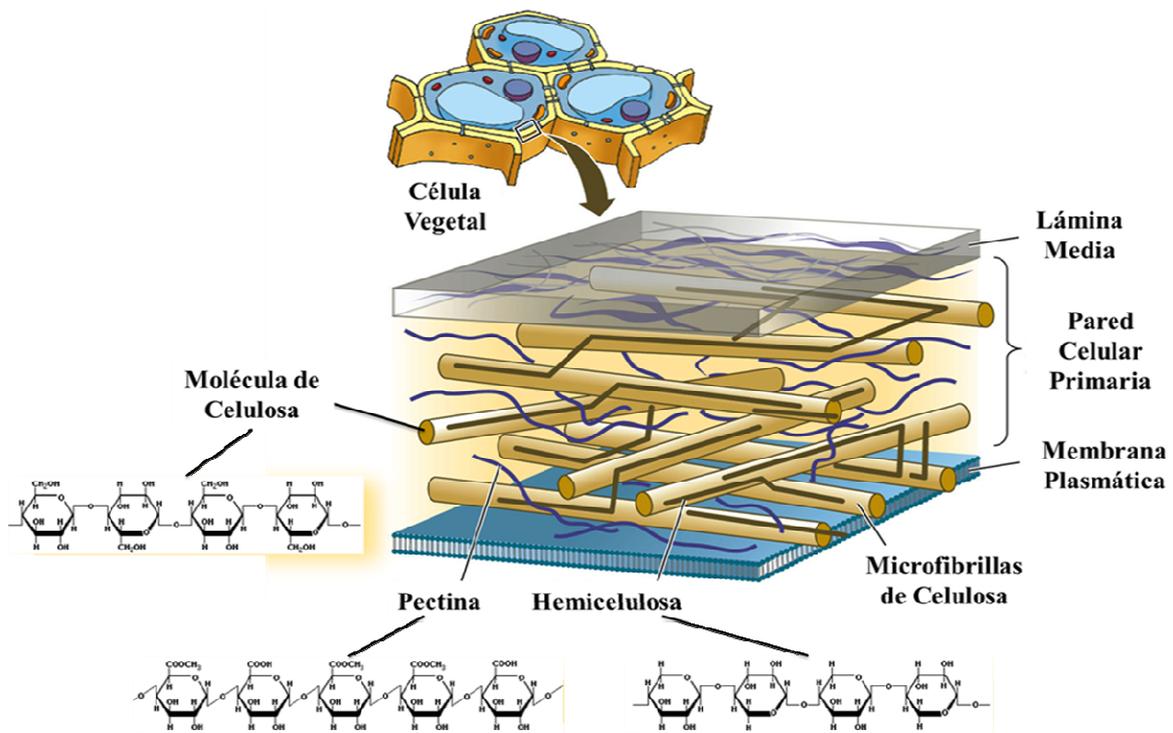


FIGURA 4. Corte de pared celular de una célula vegetal, con algunas de las moléculas que la conforman.

3.4. Efecto del metal

Comparando la capacidad de remoción entre ambos metales, se observó que la remoción de Cadmio es menor que la del Plomo, evaluado en los biomateriales con tamaño de 0,420 mm de biomasa. Esta mayor capacidad de remoción de Pb se debe a una mejor afinidad de este metal en los sitios de activos de la *Lemna obscura*, en este caso, el Pb^{+2} es poco selectivo a los grupos activos tales como: carboxilos, hidroxilos, carbonilos, sulfhídricos, tioeteres, sulfonatos, aminas, iminas, amidas, imidazoles, fosfonatos, fosfodietes; que pudieran estar presentes en la pared celular de esta biomasa [22-27].

Adicionalmente, el Pb^{+2} también es capaz de ser acomplejado, en toda la biomasa de la *Lemna* que está conformado mayoritariamente por celulosa y hemicelulosa [23]. Por último el Plomo tiene un mayor relación masa/carga que el Cadmio, el hecho de tener una gran masa involucra tener un volumen adecuado que genera una eficiente separación de cargas dentro del ion metálico, permitiendo una alta polarización dentro del ion que minimiza las repulsiones electron-electron entre el adsorbente (Biomaterial) y adsorbato (iones de Plomo) [28]. Es decir, dado que el Plomo posee un mayor peso atómico, este será mejor y más eficientemente adsorbido en la biomasa, en comparación al Cadmio.

3.5. El efecto del tamaño

El efecto del tamaño de la biomasa se pudo observar solamente para el Cadmio, en donde la mejor remoción de este metal se experimentó en los biomateriales que presentaban un tamaño de 0,595 mm de biomasa, en comparación con los biomateriales con 0,420 mm de la planta inmovilizada. Esto podría deberse a la presencia de una mayor cantidad de sitios activos por unidad de biomasa en los biomateriales con 0,59 mm de *Lemna obscura*, en comparación con los otros. Adicionalmente, se presume que el Cadmio es un metal más selectivo para sitios específicos de la pared celular de la *Lemna* que podrían estar en mayor proporción en los biomateriales con tamaño de 100 micras relativamente más grandes.

3.6. Comparación de la remoción de Cadmio y Plomo empleando Biomateriales y Zeolitas

El Instituto Australiano de Altos Materiales Energéticos (Australian Institute Of High Energetic Material) presenta un listado de numerosos materiales Zeolíticos comerciales sintetizados cuya remoción se comparó con los datos obtenidos en este trabajo (Tabla 5). Como puede observarse, la remoción de Cadmio y Plomo obtenida en este estudio son prácticamente iguales e inclusive más altos que los materiales sintéticos mostrados. Evidentemente el empleo de Zeolitas implica mayores costos (> 60\$/Ton) que los necesarios para los biomateriales, ya que implica la adquisición y en muchos casos la importación de las zeolitas, además considerando que se emplean hasta dosificaciones de 200 g de zeolitas por cada litro de agua contaminada, el gasto se incrementa significativamente, mientras que con los datos preliminares obtenidos en esta investigación tan solo se requieren 40g biomaterial por cada litro de agua tratada para alcanzar resultados similares y en otros casos mejores que empleando las Zeolitas.

El uso de la Lemna-Silica como material reactivo podría ser una innovación tecnológica de bajo costo en comparación a la utilización de materiales comerciales sintéticos tales como los comparados anteriormente y resinas que tienen un alto costo en el mercado global.

TABLA 5. Remoción de Cadmio y Plomo con Zeolita (Natural o Sintética) y con Biomateriales obtenidos.

Material	Metal	Conc. (ppm)	Dosificación Material (g/L)	Remoción (%)
Zeolita NaP (Sintética)	Cd ⁺²	0,025	10	100
Zeolita NaA-KA (Mezcla) ^a	Cd ⁺²	100	200	100
Biomaterial T-30¹	Cd⁺²	12,40	40	95,44
Zeolita Natural Scolecite ^b	Cd ⁺²	50	17	59 – 84
Zeolita BeneficiatedClinoptil ^c	Cd ⁺²	1124	4	41 – 46
Zeolita NaP (Sintética)	Pb ⁺²	0,05	10	100
Zeolita NaA-KA (Mezcla) ^a	Pb ⁺²	100	200	100
Biomaterial T-30¹	Pb⁺²	10,80	40	98,46
Zeolita Natural Scolecite ^b	Pb ⁺²	30	5	97
Zeolita BeneficiatedClinoptil ^c	Pb ⁺²	2072	4	42 – 69

Tiempo de contacto: 1= 30 min, a= de CFA, b= de Brasil, c= de USA

3.7. Biomateriales y Normas Ambientales (Decreto 883)

El Decreto N° 883 [29] (Gaceta Oficial Extraordinaria: 5.021 del 18 de diciembre de 1995) sobre las normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos, establece en la Sección II: De las descargas a cuerpos de agua (Artículo 10) los rangos y límites máximos de calidad de vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos; como los que se reflejan en la Tabla 6 para Cadmio y Plomo total en el agua.

TABLA 6. Comparación de las concentraciones de la investigación respecto a límites máximo de calidad de vertidos líquidos de Cadmio y Plomo Total

Biomaterial	Metal	Conc. inicio (ppm)	Conc. final (ppm)	Limite Max.* (ppm)
T-30 ¹	Cd ⁺²	12,40 ± 0,21	0,57 ± 0,10	0,20
T-30 ¹	Pb ⁺²	10,80 ± 0,07	0,17 ± 0,18	0,50

Tiempo de contacto: 1= 30 min. *= Decreto 883 [29]

Tomando como referencia estos límites se puede observar en la tabla que valores tan altos de contaminación como los simulados en este estudio (12,40 ppm de Cadmio y 10,80 ppm de Plomo) son capaces de ser removidos a valores muy cerca e inclusive más bajo que el límite permisible indicado, como en el caso del plomo. Esta efectividad de remoción para los biomateriales obtenidos con Lemna-Silica hace de este desarrollo una potencial tecnología para la eliminación de iones de Cd⁺² y Pb⁺² de aguas contaminadas, además de presentar bajos costos en su implementación, aunado a la fácil obtención de la planta, así como su elevada tasa de crecimiento, de aquí que los datos preliminares mostrados en este trabajo son parte de los insumos necesarios para iniciar el desarrollo de biomateriales eficientes que formen parte de la Ingeniería de biofiltros para la eliminación de iones metálicos y recuperación de aguas contaminadas por metales pesados.

4. CONCLUSIONES

Los biomateriales elaborados con Lenteja de agua (*Lemna obscura*) recién recolectada e inmovilizada en Silica demostraron tener un potencial uso para la remoción de Cadmio y Plomo a

partir de soluciones acuosas, con valores experimentales que pueden llegar a más del 95% de remoción para ambos metales.

Los biomateriales preparado con la *Lemna obscura* recién recolectada presentaron un 50% más alto de remoción que con la biomasa senescente.

El tamaño de la biomasa no afecto el porcentaje de remoción de Plomo, sin embargo, para el caso del Cadmio la tendencia mostró que los biomateriales con mayor tamaño de biomasa (0,595 mm) tienen mayor capacidad de remoción, en relación a biomateriales con 100 micras más pequeños.

El tiempo de contacto no tuvo efecto en la remoción de Plomo ya que su comportamiento no varió durante una hora de prueba, mientras que para el Cadmio al cabo de 45 minutos de contacto se observó un proceso de desorción.

La implicación práctica de este estudio es el desarrollo de una tecnología eficaz y económica factible usando *Lemna obscura*, dado a su acelerado crecimiento, alta biomasa que le confiere bajo costo y hace que esta sea una buena opción para la eliminación de Pb^{2+} y Cd en aguas contaminadas.

5. REFERENCIAS

- [1.] Salman H. Abbas, Ibrahim M. Ismail, Tarek M. Mostafa, Abbas H. Sulaymon. Biosorption of Heavy Metals: A Review. Journal of Chemical Science and Technology. Oct. 2014, Vol. 3 Iss. 4, PP. 74-102.
- [2.] Volesky B, y Col. (1994). Cadmium removal in a biosorption column. Biotechnology and Bioengineering. Vol. 43. Pp. 1010-1015.
- [3.] Reyes, y Col. (2006). Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa. Ingenierías. Vol. 9, N°31. Pp. 59-63.

- [4.] Adolfo D. Arenas, Lué-Merú Marcó y Gosmyr Torres. Evaluación de la planta lemnamenor como biorremediadora de aguas contaminadas con mercurio. *aci*: vol. 2(3), pp. 1-11 (2011).
- [5.] Regine, H.S. y Col. (2000). Biosorption: a solution to pollution?. *International Microbiol.* Vol. 3. Pp. 17-24.
- [6.] Ernesto, M. y Col. (2006) Biomasa y composición mineral de comunidades de Lemna obscura (Austin) Daubs en el Lago de Maracaibo. *Ciencia*. Vol. 14, N° 2. Pp. 32-41.
- [7.] Carvalho, K. y Col. (2001). Removal of Aqueous Selenium by Four Aquatic Plants. *Journal of Aquatic Plant Management*. Vol 39. Pp. 33-36.
- [8.] OBEK, E. and H. HASAR. 2002. Role of duckweed (*Lemna minor* L.) harvesting in biological phosphate removal from secondary treatment effluents. *Fresenius Environmental Bulletin*. 11:27-29 (Abstract).
- [9.] EPA (Environmental Protection Agency). 1996. Ecological effects test guidelines. Aquatic plant toxicity test using Lemna spp. Tiers I and II. Available from: www.epa.gov
- [10.] Arroyave, Marõa Del Pilar. La Lenteja De Agua (*Lemna Minor* L.): Una Planta Acuticápromisoria. *Revista EIA*, ISSN 1794-1237 N º 1 p.33-38. Febrero 2004. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia).
- [11.] Virgüez V. (2004); Determinación de la eficiencia de la lenteja de agua (*Lemnamenor*) en la descontaminación de las aguas del río turbio. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Venezuela. http://bibagr.ucla.edu.ve/cgiwin/be_alex.exe?Autor=Virgüez,+V%EDctor&Nombrebd=bvetucla. Fecha de consulta: 20 de octubre de 2010
- [12.] Oporto, C.; Arce, O.; De Pauw, N.; Van den Broeck, E. (2001); Evaluación del potencial de Lemnamenor para la remoción de Cr (VI) de aguas residuales. *Revista Boliviana de Ecología*: 10, 17-27.
- [13.] Maine, M.A.; Duarte, M.V.; Sune, N.L. (2001); Cadmium uptake by floating macrophytes. *Water Research*:35(11), 2629-2634.
- [14.] Leblebici, Z.; Aksoy, A. (2011); Growth and Lead Accumulation Capacity of Lemna minor and Spirodela polyrhiza (Lemnaceae): Interactions with Nutrient Enrichment. *Water Air and Soil Pollution*: 214, 175–184.

- [15.] Kara, Y.; Kara, I. (2007); Removal of Cadmium from Water Using Duckweed (*Lemnatrisulca* L.). *International Journal of Agriculture and Biology*: 7(4), 1560–8530.
- [16.] De Souza, M.; Zhu, Y.; Zayed, A.; Quian, J.; Terry, N. (1999); Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: II Water hyacinth., *Journal of Environmental Quality*: 28, 339-344.
- [17.] Guédez M.S.; Marcó L.; Graterol N.; Anzalone A. (2008); Arsenic removal from waters by bioremediation with the aquatic plants Water Hyacinth (*Eichhorniacrassipes*) and Lesser Duckweed (*Lemna minor*). *Bioresource Technology*: 19(17), 8436-8440.
- [18.] Mkandawire M, Dudel GE. Are *Lemna* Spp. Effective Phytoremediation Agent?. *Biorremediation, Biodiversity, Biodisponibility*, Global Science Book, 2007.
- [19.] Bres P., Crespo D., Rizzo P, La Rosa R. Capacity of macrophytes *Lemna minor* and *Eichhorniacrassipes* to remove nickel. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Instituto de Micología y Zoología Agrícola. 2012.
- [20.] BhupinderDhir. *Phytoremediation: Role of Aquatic Plants in environmental Clean-Up*. Springer India, 2013.
- [21.] Gardea-Torresdey, J.L., Gonzalez J.H., Tiemann K.J. and Rodriguez O. Biosorption of cadmium, lead, and Zinc by biomass of *Medicago sativa* (Alfalfa).
- [22.] Anthon, G. y Col., (2006). Characterization of the Temperature Activation of Pectin Methylsterase in Green Beans and Tomatoes. *Revista Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 54. Pp. 204-205.
- [23.] Jiménez, G. y Col. (2011). Obtención de Carboximetil Celulosa usando *Lemna* como materia prima. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. Vol. 12, N°6. Pp. 334-341.
- [24.] Cazón, J. Remoción de metales pesados empleando algas marinas [Artículo en línea]. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de la Plata. Argentina. 2012. [Consulta el 18/05/2014] Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2770/Documento_completo.pdf?sequence=17
- [25.] Inoue, K. Adsorptive removal of hazardous inorganic elements from water by using orange waste. *Indonesian Journal of Chemistry*. Vol. 8 N°3, 2008. Pp. 293-299.

- [26.] Gardea, J.L. et al. (1995). Removal of copper ions from solution by silica-immobilized *Medicago sativa* (alfalfa). In. L.E. Erickson, D.L. Tillison, S.C. Grant, and J.P. McDonald (eds). Proceedings of the 10th Conference on Hazardous Waste Research, Kansas State Univ., Manhattan, KS. 1995, pp.209-215.
- [27.] Miretzky, P, Salalengui, A. and Fernandez A. 2006. Simultaneous heavy metal removal mechanism by dead macrophytes. *Chemosphere* 62: 247-254.
- [28.] Cuizano, N., Reyes U., Dominguez S., Llanos B., Navarro A. Relevancia del PH en la adsorción de iones metálicos mediante algas pardas [Artículo en Línea]. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. Vol.76, N° 2, Junio 2010 [Consulta el 27/10/2014]. Disponible en http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2010000200002&script=sci_arttext
- [29.] Gaceta oficial de la República de Venezuela, Presidencia de la república; 18-12-1995, N° 5.021 Extraordinario. Decreto N° 883 Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Caracas, Venezuela.