

Reducción de metales pesados mediante el uso de la Moringa oleifera Lam

Esparza Vargas, Cosette

2023

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/5693>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

Reducción de metales pesados mediante el uso de la *Moringa oleifera* Lam

Acosta Ramírez Andreina Patricia del Valle (sexto semestre en Ingeniería Química)¹, Bustos Jaimes Danna Alexia (sexto semestre en Ingeniería en Biotecnología)¹, Esparza Vargas Cosette (sexto semestre en Ingeniería Química)^{1, *}, Moreno Carpinteyro María (octavo semestre en Ingeniería Química)¹, Ortega Del Angel Jorge (sexto semestre en Ingeniería en Biotecnología)¹, Vega Chávez Ixchel Haydee (sexto semestre en Ingeniería Química)¹, Colin Ortega Juan Carlos. (profesor responsable)¹, Romero de la Vega Gregorio (profesor asesor)¹ y Mellado Pumarino Ramzi Del Angel (profesor asesor)¹.

¹Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México

Resumen

El agua limpia es fundamental para la salud, sin embargo, el 80% de las empresas industriales, agroindustriales y de servicio generan aguas residuales contaminadas principalmente con metales, siendo una amenaza importante para la calidad de vida. Para abordar esta problemática se han utilizado floculantes y procesos de coagulación, buscando desestabilizar partículas coloidales suspendidas en el agua, reduciendo contaminantes disueltos. La *Moringa oleifera*, es una opción prometedora para la reducción de coloides, ya que puede mejorar la calidad del agua, reduciendo los riesgos que esto pueda generar. Para evaluar la eficacia de la *Moringa oleifera* Lam como bioadsorbente para la reducción de plomo y arsénico, se llevaron a cabo pruebas con muestras de aguas contaminadas con dichos metales y harina de la *Moringa oleifera* Lam. Dichas pruebas fueron realizadas con el espectrofotómetro de absorción atómica midiendo las concentraciones de cada muestra después de un número determinado de horas con un gramaje de harina distinto en cada prueba, se observó que, a mayor concentración de la semilla presente en el agua, mayor adsorbancia se ve reflejada. El estudio arrojó que el arsénico se redujo en promedio 51% mientras que el plomo se redujo en 41%. En suma, la *Moringa oleifera* Lam tiene el potencial de convertirse en una herramienta importante y respetuosa con el medio ambiente para la reducción de metales pesados en el agua. Esto permitiría mejorar la calidad del agua y reducir los riesgos asociados a por la contaminación en las comunidades cercanas a empresas industriales, agroindustriales y de servicios.

Palabras clave: Metales pesados, *Moringa oleifera* Lam, Tratamiento de agua, Floculante, Plomo, Arsénico.

***Autor Corresponsal:** cosette.esparza@iberopuebla.mx

Introducción

Una gran problemática a la que nos enfrentamos es que más del 80% de las empresas industriales, agroindustriales, de comercio y servicios, son generadoras de aguas residuales las cuales contienen un gran carga orgánica y sustancias tóxicas, dichas empresas no depuran sus aguas y las descargan en redes de alcantarillado público y en cuerpos de agua [1].

De acuerdo con la Norma Mexicana para agua potable, se considera como agua potable a aquella que es apta para el consumo humano y cumple con los parámetros físicos, químicos y microbiológicos establecidos en dicha norma, estableciendo al arsénico con un límite permisible 0.05mg/L y al plomo 0.01 mg/L.

La contaminación del agua por metales pesados tiene efectos severos tanto en la salud pública como en la seguridad alimentaria debido principalmente a la presencia de metales pesados como el mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), níquel (Ni) y cromo (Cr), presentes en hortalizas, peces, carnes y leche, así como ciertas especies de pescado como las ostras, mariscos y moluscos, estos acumulan cadmio; el cual suele provenir del agua en péptidos ligadores alcanzando concentraciones de 100 a 1000 µg/kg [2].

Por esto es fundamental encontrar un método para resolver esta problemática; uno de estos es el uso de floculantes, los cuales se pueden concebir como una especie de polímero de

alta tecnología, cuya función es unir partículas, “aumentando así su tamaño, ya que se utilizan principalmente para el tratamiento de agua, estas desestabilizan las partículas coloidales que se encuentran suspendidas en ella” [3]. A su vez, a este proceso se le denomina floculación. Específicamente, la desestabilización es el fenómeno “mediante el cual se logra desequilibrar las partículas coloidales y su aglomeración posterior” [4].

Durante la primera etapa, la coagulación es el fenómeno que elimina la doble capa eléctrica (característica de los coloides). La coagulación, se define como “la adición de sustancias químicas y la provisión de mezcla, para que las partículas y algunos contaminantes disueltos se aglutinen en partículas más grandes que se puedan retirar mediante procesos de remoción de sólidos” [5]; puntualmente, el proceso fisicoquímico de la coagulación logra “desestabilizar partículas coloidales, precipitar y agrupar sólidos suspendidos, facilitando la extracción por medio de la formación de coágulos, removiendo partículas coloidales y suspendidas del agua, reduciendo la turbidez, el color y en menor medida las bacterias” [5].

Uno de los coagulantes naturales más conocidos es aquel obtenido a partir de semillas de *Moringa oleifera* Lam, “que remueve los coloides de aguas crudas y contaminadas; el uso de este compuesto natural es ampliamente conocido en regiones rurales de India y África por ser una alternativa al sulfato de aluminio, el cual suele usarse para el tratamiento del agua”; por otro lado, es menester mencionar otros

compuestos químicos más recientes, como el policloruro de aluminio, que en grandes cantidades “llegan a ser tóxicos, causando efectos negativos en la salud humana, principalmente vistos en enfermedades neurológicas como el Alzheimer” [6].

En la India, las semillas de *Moringa* se han utilizado como coagulante en la clarificación del agua durante siglos. Según un estudio publicado en el *Journal of Environmental Science and Health*, “la clarificación del agua con *Moringa* se practicaba en la India desde hace más de 2000 años” [7]. Este método se basaba en el hecho de que las semillas de *Moringa* tienen propiedades coagulantes naturales que permiten la eliminación de partículas en el agua. En otros países del mundo, como Sudáfrica, Senegal y Tailandia, se comenzó a investigar la *Moringa* como coagulante en la década de 1970. En estos estudios, se observó que la *Moringa* era más efectiva que otros coagulantes naturales, como el alumbre y el sulfato ferroso [8].

En 1979, se publicó un estudio en la revista *Science* que demostró que las semillas de *Moringa oleifera* podían purificar el agua de ríos y lagos de forma efectiva, eliminando el 99% de las bacterias y sedimentos presentes en el agua [9]. Posteriormente en 2001, se llevó a cabo un estudio en el que se demostró la capacidad de la *Moringa oleifera* para remover metales pesados, como el plomo y el cadmio, del agua. Los investigadores descubrieron que las semillas de la planta son capaces de adsorber los metales pesados y luego eliminarlos del agua, dejándola limpia y libre de contaminantes [10].

Ya en la década del 2010, un estudio llevado a cabo en la India se encontró que la *Moringa oleifera* es capaz de remover contaminantes orgánicos persistentes (COPs) del agua y es sumamente importante tener conocimiento de ello ya que son sustancias químicas tóxicas que son muy difíciles de eliminar y que pueden causar graves problemas de salud. De lo anterior, descubrieron que las semillas de la planta son capaces de remover el 90% de los COPs presentes en el agua [11]. En 2014, se publicó un estudio que demostró que la *Moringa oleifera Lam* es capaz de remover metales pesados del suelo y junto a ello encontraron que las hojas de la planta son capaces de adsorber metales pesados como el plomo y el cadmio, reduciendo así la cantidad de metales presentes y mejorando la calidad de este [12].

Por último, en 2019, un estudio llevado a cabo en Indonesia demostró que la *Moringa oleifera lam* puede ser utilizada para la biorremediación de aguas residuales y en relación con ello se descubrió que la planta es capaz de adsorber los contaminantes presentes en las aguas residuales y convertirlos en nutrientes para su crecimiento. De esta manera, la *Moringa oleifera lam* puede ser utilizada para limpiar las aguas residuales y al mismo tiempo, producir biomasa que puede ser utilizada como fuente de alimento o para la producción de biocombustibles [13].

En resumen, la *Moringa oleifera lam* tiene una larga historia de uso en la medicina y la alimentación en muchas partes del mundo, pero su potencial como coagulante natural para la purificación del agua no se descubrió hasta hace relativamente poco tiempo. Gracias a la investigación científica, hoy en día la *Moringa* es ampliamente utilizada como coagulante natural en la purificación del agua y se

están investigando nuevas aplicaciones potenciales. Este artículo presenta una metodología para la reducción de plomo y arsénico presente en el agua gracias al uso de la *Moringa oleifera Lam*.

Metodología

Recolección de la semilla Moringa oleifera

Se recolectaron, aproximadamente, 1356 gramos de semillas del árbol de *Moringa oleifera Lam*.



Fig. 1: Recolección y secado de semillas de *Moringa oleifera Lam*.

Procesamiento de la semilla de Moringa oleifera Lam

Primero, las semillas fueron puestas en una bandeja para secarlas en una estufa de aire circulante de acero inoxidable, a una temperatura de 60°C durante 24 horas; de esta manera se extrajo la humedad de las semillas, evitando la desnaturalización de la materia prima.

Una vez obtenidas las semillas secas, se procedió a triturarlas con una licuadora para facilitar el proceso del pulverizado. Para obtener una muestra homogénea, el triturado de *Moringa* se pasó por un tamiz de 0.5 mm y de esta manera resultó un polvo fino, similar al de una harina. La harina se almacenó en bolsas de sello hermético y posteriormente se guardó para su conservación y evitar así que fuese contaminada o llegase a adquirir humedad nuevamente. Se obtuvo una cantidad neta de 1162 gramos de la semilla ya triturada.



Fig. 2: Triturado, tamizado de la harina y preparación de muestras con suspensión de harina de *Moringa oleifera Lam.*

Preparación de las muestras de agua

Para realizar las muestras de agua contaminada con plomo (Pb) y arsénico (As) se prepararon dos soluciones, la primera solución contuvo 500 ml de agua con 9 ml de plomo (Pb) y la segunda solución fue de 1000 ml de agua con 50 ml de arsénico (As). Para ambas muestras se utilizaron estándares de plomo (Pb) y arsénico (As). Estas muestras sirvieron como base para hacer las mediciones de adsorción de la semilla de Moringa a los respectivos metales.

Preparación de la solución de arsénico (As)

Se preparó una solución madre de 140 ppm de la siguiente manera: con una pipeta, se obtuvieron 35 ml del estándar de arsénico (As), este se aforó agua desionizada hasta los 250 ml obteniendo así la solución madre. El objetivo de esta solución fue para realizar la curva de calibración del plomo (Pb) en el espectrofotómetro, de esta solución madre (140 ppm) se obtuvieron muestras de 30, 50, 80 y 110 ppm.

Preparación de la solución de plomo (Pb)

De igual manera se procedió a preparar una solución madre de 30 ppm: Con una pipeta, se tomó 3 ml de estándar de arsénico, aforando con agua desionizada hasta 100 ml obteniendo así la solución madre con la cual se realizó por igual la curva de calibración de 5, 10, 15, 20, 25 y 50 ppm.

Determinación de la curva de calibración para plomo (Pb) y arsénico (As)

Una vez preparada la solución estándar de trabajo se verificó la concentración real de los metales en contacto con el bioadsorbente utilizando los métodos correspondientes; se determinó el arsénico y de igual forma el plomo por el método de espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros (A-6), el espectrómetro de absorción atómica Agilent Technologies 200 series AA, obteniendo resultados con concentración en unidades ppm.

Preparación de los tratamientos

Las muestras de agua enriquecidas con los metales As y Pb, se dosificaron a vasos de precipitado limpios y secos de 0.25 litros, que fueron las muestras con las concentraciones para evaluar cada uno de los tratamientos en estudio.

Se adicionaron dosis de 3.6 gr, 7 gr y 10 gr para las muestras de plomo (Pb) y 5 gr, 15 gr, y 20 gr para las muestras de arsénico (As) de harina de *Moringa oleifera Lam.* (bioadsorbente) a los frascos con muestras preparadas previamente con As (60 ppm) y Pb (18 ppm) y agua desionizada.

Posteriormente se realizó una agitación constante durante un minuto para homogenizar la mezcla y evitar la formación de grumos en la muestra y se taparon los recipientes para evitar contaminación. Seguido se dejó en reposo de acuerdo con el tiempo indicado según el tratamiento correspondiente (1 hora, 2 horas y 3 horas), para lograr la sedimentación de los flóculos (grumo de materia orgánica) formados, este procedimiento se realizó por triplicado en cada muestra con As y Pb.

Durante la preparación de los tratamientos se evitó el uso de material metálico ya que estos podrían incorporar residuos de metales e interferir en el análisis, por lo que se sustituyeron con utensilios de plástico.



Fig. 3: Muestras no filtradas de *Moringa oleifera* con plomo (Pb).

Transcurrido el tiempo de reposo, utilizando el sistema de filtración al vacío con doble capa, se procedió a filtrar el agua tratada con las dosis de semilla de *Moringa oleifera Lam.*, con el propósito de remover los flóculos formados posteriores al tratamiento.

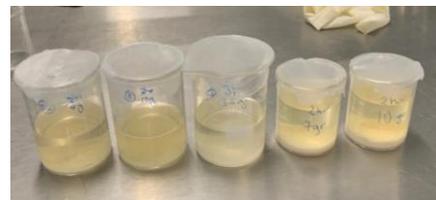


Fig. 4: Serie de muestras de plomo filtradas de *Moringa oleifera Lam.*

Análisis de laboratorio

Los análisis de las muestras se realizaron por el método de espectrofotometría de absorción atómica, con un equipo modelo 200 series AA, marca Agilent Technologies. Para la determinación de la concentración del arsénico y cuantificación de plomo, se utilizó la metodología de espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros (A-6). Este análisis se utilizó para medir la concentración de los metales antes y después del tratamiento con el objetivo de verificar la efectividad de las semillas de *Moringa oleifera Lam* en la remoción de dichos metales.

Resultados y Discusión

Los metales pesados empleados en el proceso experimental mencionado en la metodología fueron arsénico (As) y plomo (Pb); por ende, se prepararon dos muestras madre, con una concentración real de 66.45 ppm de la muestra de plomo (Pb) (abs. 0.2906) y de 73.88 ppm de arsénico (As). Con respecto al floculante orgánico se recolectaron, aproximadamente 1356 gramos de semillas del árbol de *Moringa oleifera Lam*. Una vez ocurrido el proceso de secado, molido y tamizado, se contabilizaron 1162 gramos de harina, por lo que se reporta en Eq(1), expuesta a continuación, el siguiente rendimiento, del 85.69%.

$$\%R = \frac{1162\text{ g}}{1356\text{ g}} \times 100 = 85.69\% \quad (1)$$

Posterior al preparado de las muestras madre, se realizó una curva de calibración para el arsénico (As), la cual se muestra a continuación. En sí, es posible visualizar que, a mayor concentración del metal en cuestión, mayor es la adsorbancia obtenida.

Tabla 1: Curva de calibración obtenida mediante absorción atómica para el arsénico (As)

Curva de calibración	
Adsorbancia	Concentración (ppm)
0.0028	30
0.0268	50
0.0735	80
0.1286	110
0.1547	140

Por otro lado, es menester explayar, de manera gráfica, la curva de calibración obtenida para el arsénico (As), por lo que en la Fig. 5. es posible visualizarla.

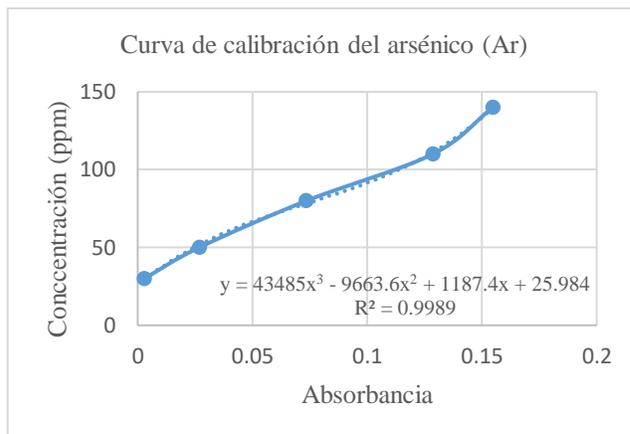


Fig. 5: Gráfica de curva de calibración de la concentración contra la adsorbancia del arsénico (As).

De igual manera, para el caso del plomo (Pb), se observa que, a mayor concentración del metal, mayor es la adsorbancia registrada.

Tabla 2: Curva de calibración de la adsorbancia contra la concentración del plomo (Pb)

Curva de calibración	
Adsorbancia	Concentración (ppm)
0.0007	5
0.0055	10
0.0298	15
0.0893	20
0.1953	25
0.268	50

De manera gráfica, se muestra la curva de calibración obtenida para el plomo (Pb). Para ello, se muestra en la Fig. 6.

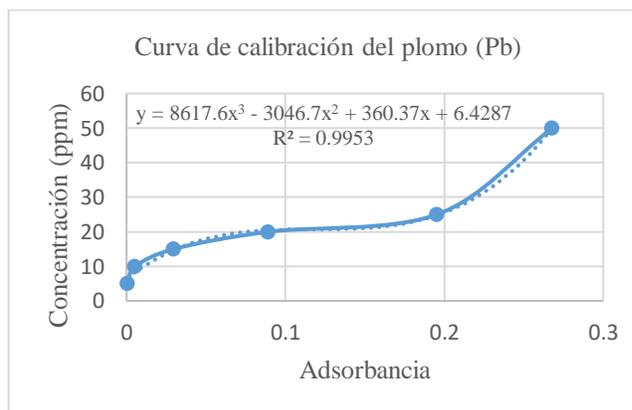


Fig. 6: Gráfica de curva de calibración de la adsorbancia contra la concentración del plomo (Pb).

A continuación, se muestra la Tabla 3, correspondiente al esquema de proceso experimental con arsénico (As). En sí, se realizaron tres rondas notables de tratamiento: con 5, 15 y

20 gramos de harina de semilla de *Moringa oleifera Lam* durante lapsos de 1, 2 y 3 horas.

Tabla 3: Número de tratamientos para muestras contaminadas con arsénico (As), dosis suministradas y tiempo de duración.

N° Tratamientos	Dosis (gr)	Tiempo (Hr)
1	5	1
2		2
3		3
4	15	1
5		2
6		3
7	20	1
8		2
9		3

A continuación, se muestra la Tabla 4, correspondiente al esquema de proceso experimental con plomo (Pb). En sí, se realizaron tres rondas notables de tratamiento: con 3.6, 7 y 10 gramos de harina de semilla de *Moringa oleifera Lam* durante lapsos de 1, 2 y 3 horas.

Tabla 4: Número de tratamientos para muestras contaminadas con plomo (Pb), dosis suministradas y tiempo de duración.

N° Tratamientos	Dosis (gr)	Tiempo (Hr)
1	3.6	1
2		2
3		3
4	7	1
5		2
6		3
7	10	1
8		2
9		3

Una vez concluido el proceso experimental y las corridas realizadas en el cromatógrafo de absorción atómica se registraron los resultados en la Tabla 5, que corresponde al cálculo de las partes por millón de arsénico (Ar).

Tabla 5: Resultados de las pruebas realizadas con arsénico (As)

Pruebas	Concentración (ppm)	Adsorbancia	Porcentaje de remoción
Sucia	63.81	0.045	-
1 hr 5 gr	30.75	0.00415	52%
2 hr 5 gr	30.58	0.004	52%
3 hr 5gr	34.47	0.0076	46%
1 hr 15 gr	30.63	0.00404	52%
2 hr 15 gr	30.18	0.00364	53%
3 hr 15 gr	30.40	0.00384	52%
1 hr 20 gr	30.37	0.00381	52%
2 hr 20 gr	30.21	0.00367	53%
3 hr 20 gr	30.43	0.00386	52%

Habiendo empleado cantidades de 5, 10 y 20 gramos, se denota una disminución considerable de arsénico (As) presente en el agua. Se evidencia en la Tabla 5 la obtención de porcentajes de remoción del 46% hasta el 53%, los resultados indican que, tangiblemente, la harina de semilla de *Moringa oleifera Lam* ha efectuado su función acometida, puesto que al haber partido de una concentración inicial correspondiente al 63.81 ppm de arsénico (As), se obtuvieron disminuciones notables de hasta 30.18 ppm de arsénico (As) satisfactoriamente removido.

De manera gráfica es posible visualizar los grados de remoción porcentual de arsénico (As) obtenidos durante las tres rondas de experimentación: de 1 a 3 horas con 5 gramos, de 1 a 3 horas con 10 gramos y de 1 a 3 horas con 20 gramos de harina de semilla de *Moringa oleifera Lam*.

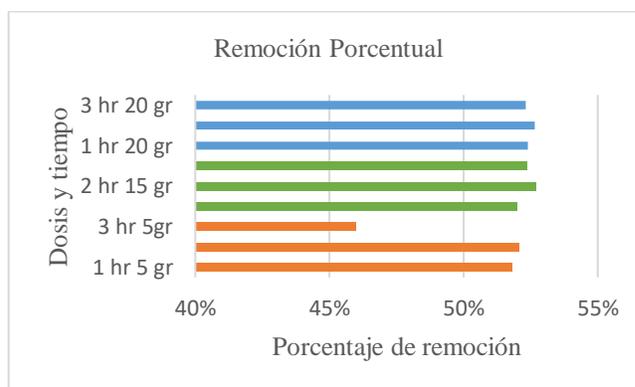


Fig. 6: Gráfica de remoción porcentual de las muestras de arsénico (As).

En la Fig. 6. se evidencian porcentajes de remoción de hasta 53%, considerablemente alto, durante el empleo de 20 gramos de harina de semilla *Moringa oleifera Lam* tras un lapso de 2 horas. Por consiguiente, se observan más instancias en donde la remoción alcanzó porcentajes de 52% y poco menos de la cifra anteriormente mencionada. Es menester comentar que la remoción más baja (o menos eficiente) fue correspondiente a un 46%, dada en la etapa de

experimentación de 3 horas y empleando 5 gramos del floculante orgánico.

Tabla 6: Resultados de las pruebas realizadas con plomo (Pb)

Pruebas	Concentración (ppm)	Adsorbancia	Porcentaje de remoción
Sucia	14.86	0.03065	-
1 hr 3.6 gr	9.12	0.008	39%
2 hr 3.6 gr	8.16	0.005	45%
3 hr 3.6 gr	8.90	0.0073	40%
1 hr 7 gr	8.42	0.0058	43%
2 hr 7 gr	8.16	0.005	45%
3 hr 7 gr	9.31	0.0086	37%
1 hr 10 gr	8.64	0.0065	42%
2 hr 10 gr	8.29	0.0054	44%
3 hr 10 gr	9.31	0.0086	37%

Habiendo empleado cantidades de 3.6, 7 y 10 gramos, se denota una disminución considerable de plomo (Pb) presente en el agua. Se evidencian en la Tabla 6 porcentajes de remoción del 37% hasta el 45%. Por ende, es posible asegurar que los resultados indican que la harina de semilla de *Moringa oleifera Lam* ha efectuado su función acometida, debido a que al haber partido de una concentración inicial correspondiente al 14.86 ppm de plomo (Pb), se obtuvieron disminuciones notables de hasta 8.16 ppm de plomo (Pb) satisfactoriamente removido.

Por consiguiente, es necesario observar los grados de remoción porcentual de plomo (Pb) obtenidos durante las tres rondas de experimentación: de 1 a 3 horas con 3.6 gramos, de 1 a 3 horas con 7 gramos y de 1 a 3 horas con 10 gramos de harina de semilla de *Moringa oleifera Lam*.

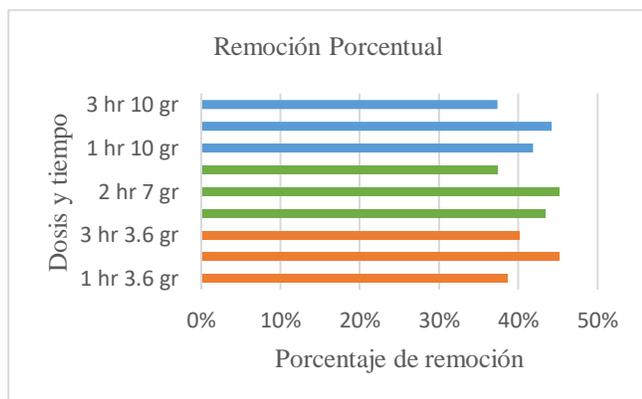


Fig. 7: Gráfica de remoción porcentual de plomo (Pb).

En la Fig. 7, se observan porcentajes de remoción de hasta 37%, durante el empleo de 7 gramos de harina de semilla *Moringa oleifera Lam* durante un periodo de 3 horas. Por consiguiente, se observan más instancias en donde la remoción alcanzó porcentajes de 45% y poco menos de la cifra anteriormente mencionada. Es importante comentar que la remoción más baja (o menos eficiente) fue correspondiente a un 37% de plomo (Pb), dada en la etapa de experimentación de 3 horas y empleando 10 gramos de la semilla molida y tamizada.

De acuerdo con [15], en la remoción de arsénico (As) en agua reservada para el consumo, y empleando distintas dosis de hojas de *Moringa oleifera Lam* correspondientes a las siguientes cantidades: 0.25, 0.50 y 1 g, se obtuvieron resultados estadísticamente similares en la efectividad de bioadsorción del arsénico, removiendo en promedio hasta un 89% la cantidad inicial en el agua contaminada.

Para el presente proyecto y considerando que se implementó una metodología similar a aquella planteada en [15], se obtuvo un resultado contrastable del 53% de remoción de arsénico (As) presente en los medios de agua contaminada. En [15] se plantea que la toxicidad del arsénico (Ar) en el agua es eliminada mediante un proceso de naturaleza fisicoquímica oxidativo. En dicho proceso oxidativo, se pasa, de la forma más tóxica de As (III) a su forma menos tóxica, As (V).

Respecto al segundo metal pesado utilizado en el proceso experimental, se observa, que, en [15] tras todos los tratamientos efectuados, se removió más del 98% de plomo (Pb), en contraste con los porcentajes de remoción obtenidos durante la experimentación, correspondiente a un rango de 37% a 45%.

Conclusiones, perspectivas y recomendaciones

Se evidencia una disminución en la concentración de plomo (Pb) y de arsénico (As). Se infiere que las propiedades de la semilla de *Moringa oleifera Lam* influyeron, notablemente, en los resultados, dada su capacidad de remoción y a, endémica de un floculante orgánico.

Se determinó que, en el caso tanto del plomo (Pb), como del arsénico (As), los resultados indican que a medida que el floculante orgánico (semilla de árbol de *Moringa oleifera Lam*) se deja actuar durante más tiempo y se aumenta su gramaje, la concentración de los metales pesados presentes en las muestras disminuye. Incluso, en algunos casos, desde la primera hora el floculante orgánico logró adsorber un gran porcentaje del metal pesado.

En el presente proyecto, se amerita denotar las siguientes recomendaciones, pertinentes al proceso experimental: es menester preparar, de manera acertada, las soluciones contaminadas con metales pesados arsénico (As) y plomo (Pb), debido a que la experimentación constó de medir la cantidad, en partes por millón, de metal pesado removido.

Se considera que la semilla de *Moringa oleifera Lam* puede posicionarse como una herramienta, orgánica y biodegradable, de remoción de metales pesados en cuerpos de agua, debido a que los resultados analizados arrojaron una constante y notable disminución de la cantidad (ppm) de arsénico (As) y plomo (Pb) en el agua. A futuro, se visualiza que su uso puede ser viable, debido al fácil acceso que se tiene respecto a su adquisición y a su funcionalidad.

Finalmente se propone que este proceso se use de manera complementaria a los tratamientos industriales de aguas municipales y no municipales ya que muchos de estos tratamientos son realizados con químicos, para la reducción de tóxicos presentes en el agua, obteniendo así tanto aguas residuales como de consumo, más segura, limpias y amigables con el medio ambiente.

Referencias

- [1] M. E. Molina, "Elaboración de un filtro artesanal de agua utilizando materiales no convencionales, evaluando su eficiencia para la distribución", *Ambato: Universidad Técnica de Ambato, Ecuador*, 2016.
- [2] Y. C. Reyes, I. T. O. E. Vergara, D. Mercedes y E. E. González, "CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA", *Revista Ingeniería, Investigación y desarrollo*, pp. 66-77, 2016.
- [3] Ingeniería Liquid Technologies, "Floculantes", 2020. [En línea]. Available: <https://contyquim.com/blog/importancia-de-los-floculantes-en-procesos-industriales>.
- [4] K. Huerta, "Importancia de los floculantes en los procesos industriales", 2022. [En línea]. Available: <https://contyquim.com/blog/importancia-de-los-floculantes-en-procesos-industriales>.
- [5] D. Choque-Quispe, Y. Choque-Quispe, A. M. Solano-Reynoso y B. S. Ramos-Pacheco, "Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua", *Tecnología Química*, pp. 38(2), 298-309, 2018.
- [6] A. Acevedo-Picón, "Uso de semillas de moringa (*Moringa oleifera*) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de río negro, río de oro y quebrada Floridablanca, Santander", *Universidad de Bucaramanga, Colombia* 2019.
- [7] S. Debnath y S. Kar, "Recent advances in the application of natural coagulants as an alternative to chemical coagulants for water and wastewater treatment: A review", *J. Environ. Sci. Health., Part A*, 2017.
- [8] S. S. Nambiar y V. Prakash, "Moringa oleifera: A review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. Part 2", *Trees for Life Journal*, 2015.
- [9] R. e. a. Giridhar, "Moringa oleifera: A review on nutritive importance and its medicinal application", *Food Sci. Hum. Wellness*, pp. 97-103, 2019.
- [10] K. e. a. Vijayaraghavan, "Use of tamarind and Moringa oleifera seed gums for the removal of toxic metals from wastewater", *J. Hazard. Mater.*, pp. 183-193, 2001.
- [11] A. e. a. Bhatnagar, "Moringa oleifera Lam. seeds for heavy metal removal from contaminated water", *Current Science*, pp. 233-237, 2010.
- [12] M. A. e. a. Hossain, "Moringa oleifera Lam. mitigates cadmium-induced embryotoxicity and oxidative stress in chicken embryos", *Biomed Res. Int.*, 2014.
- [13] M. e. a. Damanik, "Moringa oleifera as bio-adsorbent for domestic wastewater treatment", *Environ. Technol. Innovation*, 2019.
- [14] J. Fahey, "Moringa oleifera: A review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. Part 1", *Trees for Life Journal*, pp. 1(5), 1-15.
- [15] M. Hernández, H. Rivas y M. Ventura, "Evaluación de la efectividad de la semilla de Teberinto (*Moringa oleifera* Lam.) como método de remoción" *Universidad de El Salvador, El Salvador*. 2017.