

Nickel removal using low-cost lignocellulosic materials

Natalia Piol, Pilar Ardanza, Andrea Saralegui, Cristina Vázquez y Susana Boeykens

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Instituto de Química Aplicada a la Ingeniería (IQAI), Laboratorio de Química de Sistemas Heterogéneos (LaQuíSiHe). Paseo Colón 850 CABA. laquisihe@fi.uba.ar

*Abstract– Decreasing the economic and environmental cost of processes should be the challenge. Contamination with metals can cause different harmful effects since they are non-degradable and bioaccumulative. Although some metals are essential but in excess all can produce harmful effects for the biota and consequently generate the loss of biodiversity with destruction of the ecosystem in the long term. In Argentina, the National Law 24.051 of hazardous waste puts limits on the discharge of a large number of substances among which are metallic species such as nickel, chromium, copper, lead, etc. On the other hand, large amounts of natural materials are considered waste that, however, could be reused as pollutant removal materials, entering a circular economy loop. Thus, water treatment using materials discarded by another industry could be the solution. Residues such as peanut shells (Argentina with 400 thousand tons per year, is the tenth largest producer in the world) or certain aquatic plants considered pests by the FAO can be used as adsorbent materials for metals. Aquatic macrophytes *Salvinia molesta*, *Azolla pinnata*, *Lemna minor*, *Limnobium leavigatum* and *Pistia stratiotes*; peanut shells (*Arachis hypogaea*), trunks, branches and husks of moringa (*Moringa oleifera*) were used as adsorbents in tests for metal removal. These previously treated materials were characterized by BET isotherm, FTIR studies, release of impurities by TXRF, zero charge pH curves and later used for metal removal. For nickel, depending on the working conditions, removal efficiencies greater than 92% were obtained for *Azolla*, peanut shell, moringa residues and *Salvinia*. For *Lemna*, *Limnobium* and *Pistia stratiotes* the % of removal were less than 30%. Subsequently, dosage curves, kinetic and adsorption equilibrium studies were carried out with the adjustment of the different models to the experimental data.*

KEY WORDS: *metals, lignocellulosics, adsorption.*

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Remoción de níquel empleando materiales lignocelulósicos de bajo costo

Natalia Piol, Pilar Ardanza, Andrea Saralegui, Cristina Vázquez y Susana Boeykens

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Instituto de Química Aplicada a la Ingeniería (IQAI), Laboratorio de Química de Sistemas Heterogéneos (LaQuíSiHe). Paseo Colón 850 CABA. laquisihe@fi.uba.ar

Resumen– La disminución del costo económico y ambiental de los procesos debe ser el desafío. La contaminación con metales puede ser causa de diferentes efectos nocivos ya que son no degradables y bioacumulables. Aunque algunos metales son esenciales pero en exceso todos pueden producir efectos nocivos para la biota y en consecuencia generar la pérdida de biodiversidad con destrucción del ecosistema a largo plazo. En Argentina, la ley Nacional 24.051 de residuos peligrosos pone límites al vertido de gran cantidad de sustancias entre las que se encuentran las especies metálicas como níquel, cromo, cobre, plomo, etc. Por otro lado, grandes cantidades de materiales naturales son consideradas residuos que, sin embargo, podrían ser reutilizados como materiales removedores de contaminantes, entrando en un bucle de economía circular. Así, el tratamiento de aguas empleando materiales descartados por otra industria podría ser la solución. Residuos como la cáscara de maní (Argentina con 400 mil toneladas anuales, es el décimo productor mundial) o ciertas plantas acuáticas consideradas plaga por la FAO pueden ser utilizadas como materiales adsorbentes de metales. Macrófitas acuáticas *Salvinia molesta*, *Azolla pinnata*, *Lemna minor*, *Limnobium leavigatum* y *Pistia stratiotes*; cáscara de maní (*Arachis hypogaea*), troncos, ramas y cascarilla de *Moringa* (*Moringa oleífera*) se utilizaron como adsorbentes en ensayos para la remoción de metales. Estos materiales previamente tratados fueron caracterizados mediante la isoterma BET, estudios de FTIR, liberación de impurezas por TXRF, curvas de pH de carga cero y posteriormente utilizados para la remoción de metales. Para níquel, según las condiciones de trabajo, se obtuvieron eficiencias de remoción mayores al 92% para *Azolla*, cáscara de maní, residuos de *Moringa* y *Salvinia*. Para *Lemna*, *Limnobium* y *Pistia stratiotes* los % de remoción resultaron inferiores al 30 %. Posteriormente, se realizaron las curvas de dosaje, los estudios cinéticos y de equilibrio de adsorción con el ajuste de los diferentes modelos a los datos experimentales.

PALABRAS CLAVE: metales, lignocelulósicos, adsorción.

I. INTRODUCCIÓN

El mundo está en constante cambio, la concientización sobre el cuidado de nuestro planeta está creciendo y trae

aparejados cambios entre los que se encuentra el paradigma de la economía. Considerar el costo como un recurso que se sacrifica o al que se renuncia para alcanzar un objetivo específico [1], tiene un significado mucho más amplio e implica que el objetivo no solo debe ser disminuir los costos económicos sino que puede y debe ser extensivo también los costos ambientales de un proceso y este último punto debe ser el desafío.

La economía circular propone modificar la forma actual de consumo y alienta el flujo constante, como una solución virtuosa, en la que los residuos puedan ser utilizados como recursos para reingresar al sistema productivo; en contraposición a la economía lineal (tradicional), de extracción, producción, consumo y desperdicio, la economía circular busca la generación de bucles productivos. De esta manera, reducimos nuestros residuos y extraemos menos recursos naturales y cuidamos el planeta [2]. Este concepto de Economía Circular está relacionado con el de Desarrollo Sostenible y se encuentra mencionado dentro de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) planteados en los últimos años por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en la agenda para el 2030 y en la que se incorporan las ideas de sostenibilidad social, ambiental y económica con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas sin comprometer el ambiente y nuestro futuro [3]. Con esta mirada el planteo de convertir los residuos en nuevas materias primas abre un panorama mucho más amplio para el tratamiento de efluentes como es el empleo de efluentes sólidos de algunas industrias como “nuevos” materiales para el tratamiento de efluentes líquidos.

La gestión de residuos y la eliminación de contaminantes de efluentes industriales son tareas complejas a resolver. La necesidad de sistemas de tratamiento de bajo costo, fácil instalación y manejo hace que se busquen soluciones innovadoras con materiales no convencionales [4-8]. El costo económico implicado en instalaciones y mantenimiento de estos tratamientos resulta a largo plazo en un alto costo ambiental debido a la baja aceptación de los sistemas de tratamiento, por lo tanto, aumentar la factibilidad de uso debe ser otro objetivo. Para lograrlo, el planteo de sistemas basados en procesos adsorptivos es una buena alternativa ya que dentro

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

de las ventajas de los sistemas basados en la adsorción de contaminantes se encuentran la posibilidad de utilizar materiales no convencionales, de bajo costo, que además de no generar lodos se pueden reutilizar mediante ciclos de adsorción-desorción [9].

Dentro de los contaminantes que se pueden encontrar en los efluentes industriales, los metales ocupan un lugar preponderante. Su versatilidad y características particulares hacen que sean muy utilizados en procesos industriales. A nivel ambiental, la contaminación con metales puede ser causa de diferentes efectos nocivos ya que son no degradables pero si bioacumulables pudiendo afectar, desde el punto de vista de salud pública, a poblaciones no directamente expuestas al sitio donde se produjo la contaminación. Existen diferentes clases de metales y aunque algunos metales son esenciales, en exceso todos pueden producir efectos nocivos para la biota y en consecuencia generar la pérdida de biodiversidad con destrucción del ecosistema a largo plazo [10]. En Argentina, la ley Nacional 24.051 de residuos peligrosos pone límites al vertido de gran cantidad de sustancias entre las que se encuentran las especies metálicas como níquel, cromo, cobre, plomo, etc [11]. En particular, tanto el níquel está dentro de los cuatro metales considerados como cancerígenos por la IARC [12].

Vinculando todas las aristas planteadas, es decir, la necesidad de reducir el contenido de metales en los efluentes industriales y la posibilidad de reutilizar los materiales agroindustriales residuales, se puede generar un nuevo bucle de economía circular. Así, el tratamiento de aguas empleando materiales descartados por otra industria podrían ser una solución que reduzca los costos no solo económicos sino también ambientales de los sistemas de tratamiento de efluentes.

En este sentido, residuos de gran producción como es el caso de la cáscara de maní, para el cuál, Argentina con 400 mil toneladas anuales, es el décimo productor mundial. Residuos como los producidos por el procesamiento de moringa para la producción de té y productos cosméticos. En este aspecto la empresa “El Moringuero” está radicada en la provincia de Misiones-Argentina y se dedica a la producción de alimentos y cosméticos naturales a partir de Moringa oleífera. La empresa genera 410kg de residuos por cada 500kg de hojas frescas y 17700kg de desechos por cada 1000kg de hojas secas producidas. Además, para la producción de té solo se utiliza el 20% de la planta mientras que el 80% restante se desecha como residuo. Los productores de la empresa han planteado la problemática que presentan como consecuencia de la gran cantidad de desechos lignocelulósicos que disponen y la dificultad de disposición final de los mismos. Por otro lado, ciertas plantas acuáticas consideradas plaga por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) debido a su rápido crecimiento en cortos períodos de tiempo,

que pueden causar inconvenientes en el uso recreativo de los cuerpos de agua así como en la captación de agua para consumo humano.

Esta clase de materiales puede ser utilizada como adsorbentes de metales. Para este trabajo, las macrófitas acuáticas *Salvinia molesta*, *Azolla pinnata*, *Lemna minor*, *Limnobium leavigatum* y *Pistia stratiotes*; la cáscara de maní (*Arachis hypogaea*), junto con los troncos, las ramas y la cascarilla de moringa (*Moringa oleífera*) se utilizaron como adsorbentes en ensayos para la remoción de níquel.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Preparación y caracterización de los adsorbentes:

Se trabajó con los diferentes materiales adsorbentes crudos, estos fueron lavados, secados en estufa a 60° durante 24 h, molidos y finalmente tamizados, seleccionando un tamaño de partícula con una malla de tamaño 35 (500µm).

Para la determinación de grupos funcionales se utilizó la técnica de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) con un equipo Thermo Scientific, Nicolet 8700, con accesorio para ATR (Reflectancia Total Atenuada). Además, se realizó la determinación de impurezas liberadas por el material expuesto a agua deionizada mediante el análisis de fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total (TXRF) con un espectrómetro S2 PICOFOX, BRUKER (Alemania). Por último, para observar y caracterizar la superficie del material se empleó un microscopio de barrido electrónico (SEM) en un equipo ZEIS EVO MA 10.

Análisis Textural para estimar la porosidad del material. El volumen total de poros (VT) se obtuvo a partir del volumen de N₂ adsorbido a una presión relativa, expresado como (cm³.g⁻¹). El área superficial específica se calculó por el método de BET. Se determinó el área superficial, mediante un equipo Micromeritics modelo Gemini 2360.

Ensayo de pH cero: Se prepararon 2 L de solución 0,1 N de KNO₃. Luego se fraccionó esta solución y se ajustó a un rango de pH de 4 a 10, por medio del agregado de gotas de solución 0,1 N de HCl y 0,1 N de NaOH. Se obtuvieron soluciones a distintos pH iniciales: 5,03; 6,23; 7,20; 7,95; 8,80 y 10,02 de las cuales 50 mL fueron puestas en contacto con 0,3 g de cada adsorbente en reactores continuos con 24 h de agitación a una temperatura de 25°C. Luego las muestras fueron filtradas, y se midieron los resultados con pHmetro calibrado. El ensayo se realizó por duplicado.

B. Ensayos de adsorción:

Preparación de las soluciones: Todas las soluciones empleadas fueron preparadas a partir de una solución madre de 1.000 mg Ni²⁺.L⁻¹ preparada a partir la sal NiCl₂.6H₂O(s) (Merck ®) con agua deionizada.

Se emplearon reactores de discontinuos en los que se pusieron en contacto 0,500 g de cada adsorbente según el ensayo y 50 mL de solución de Ni²⁺ de 20 mg.L⁻¹ durante 24hs, con

agitación orbital continua a 200 rpm, a 25 °C. Luego, se filtró (papel de filtro MN710-125mm Macherey-Nagel®) y se almacenó la solución muestra en ambiente frío hasta medición. Cada ensayo se realizó al menos por duplicado.

La cantidad de níquel adsorbida por la biomasa seca se estimó, por diferencia entre la concentración de la solución inicial y final (después de la adsorción). La concentración de níquel en las soluciones se determinó mediante espectroscopia de absorción atómica (GBC-XplorAA) por llama aire-acetileno a $\lambda=232$ nm. Las curvas de calibración para la determinación de níquel se realizaron utilizando un estándar de 1000 mg.L⁻¹ (SCP SCIENCE®).

El porcentaje de remoción se calculó según (1):

$$\%R = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \cdot 100 \% \quad (1)$$

Donde C_0 es la concentración inicial y C_e es la concentración en equilibrio.

La cantidad de iones metálicos adsorbidos por gramo de la resina se calculó utilizando (2):

$$q = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{W} \quad (2)$$

Donde q es la capacidad de adsorción (mg.g⁻¹). C_0 y C_e son las concentraciones inicial y final del metal (mg.L⁻¹), respectivamente, V es el volumen de solución de iones metálicos (L), y W es la masa de adsorbente (g).

III. RESULTADOS

A. Caracterización de los adsorbentes:

Los estudios de liberación de impurezas realizados por TXRF mostraron para todos los materiales lignocelulósicos estudiados, una mayor liberación de iones calcio llegando para el caso de la rama de moringa a 0,93 mg de calcio por gramo de adsorbente, para cáscara de maní la mayor liberación se produjo para iones K⁺ con 0,83 mg de potasio por gramo de adsorbente. En todos los casos estudiados solo se observó la liberación de pequeñas cantidades de metales con algún rol biológico dentro de los materiales estudiados considerando que los adsorbentes son biomasa seca de alguna parte de vegetal. En ninguno de los adsorbentes estudiados se obtuvo la liberación del metal en estudio (níquel) u otros metales para los que el adsorbente pudiera ser utilizado para el tratamiento (por ejemplo, cromo, plomo, cadmio). Este resultado indica que estos materiales podrían ser potencialmente utilizados como adsorbentes para la remoción de metales.

En la figura 1 se observan superpuestos los espectros de FTIR realizados sobre residuos de cáscara de maní cruda con y sin níquel adsorbido, en esta comparación se observa que existe una banda ancha entre 3500 y 3100 cm⁻¹ que puede atribuirse a la presencia de diferentes grupos amino (estiramiento N-H) y alcoholes (estiramiento O-H). También se observa la presencia de grupos carboxilos con una banda alrededor de 1700 cm⁻¹, producto del estiramiento C=O [13]. Al tratarse de un material lignocelulósico con restos de proteínas como es el caso de la cáscara de maní, se presume la presencia de aminas secundarias o primarias, alcoholes y grupos carboxilato sobre la superficie del adsorbente, que podrían interactuar con los iones níquel[14].

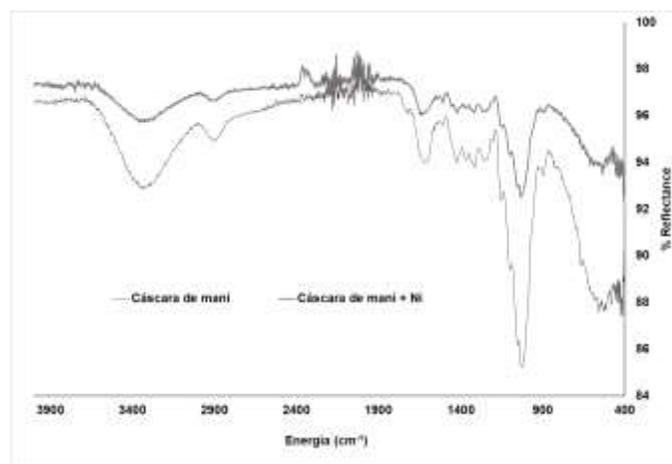


Fig. 1 Espectro FTIR de cáscara de maní cruda con y sin níquel adsorbido.

Resultados similares se obtuvieron para los diferentes materiales lignocelulósicos estudiados en los que se puede inferir que los grupos funcionales intervinientes en la adsorción de níquel principalmente son aminas, y grupos oxigenados hidroxilos o carbonilos.

En la figura 2 se presenta una imagen de cáscara de maní obtenida por SEM. Se puede observar la heterogeneidad de la superficie además de los poros y las fibras. En la figura 3 se muestra la imagen de SEM obtenida para rama de moringa, de la misma manera que para cáscara de maní se puede observar la inhomogeneidad de la superficie con la observación de macroporos. La misma observación se puede hacer para la figura 4 correspondiente a *Azolla pinnata* y para la figura 5 correspondiente a *Pistia stratiotes*.

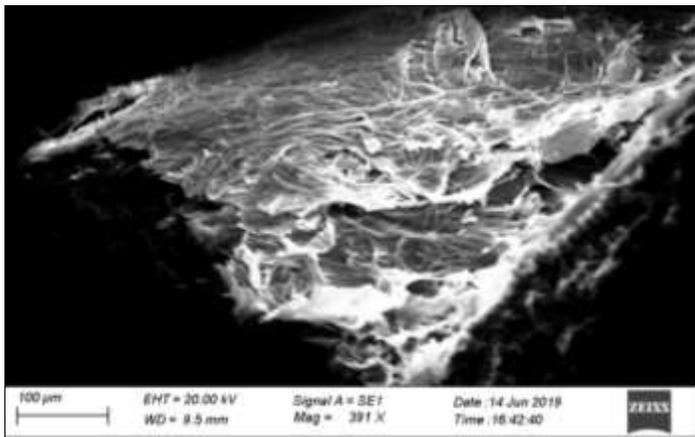


Fig. 2 Imagen de cáscara de maní obtenidas por SEM.

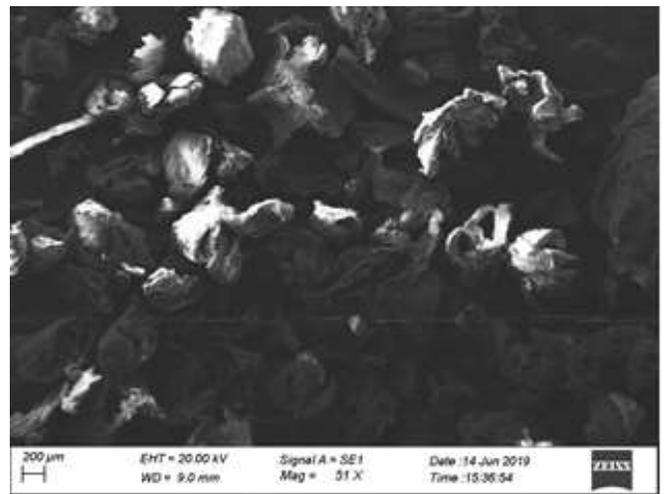


Fig 5. Imagen de *Pistia stratiotes* obtenida por SEM.

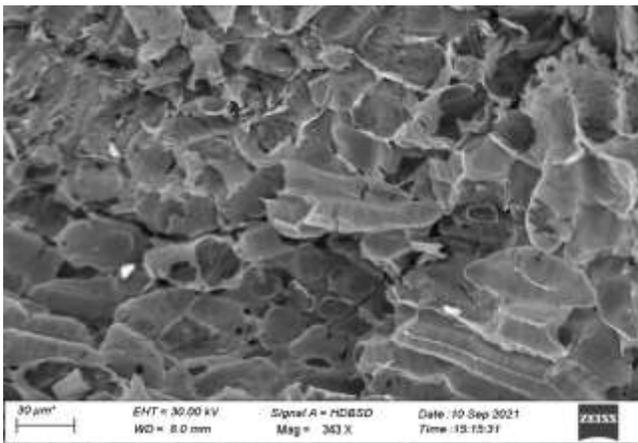


Fig. 3 Imagen de rama de moringa obtenida por SEM.

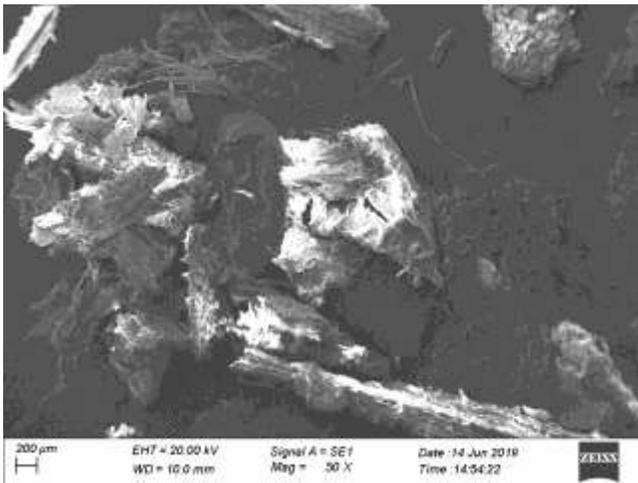


Fig 4. Imagen de *Azolla pinnata* obtenida por SEM.

Estos resultados conciden con los texturales obtenidos para la porosidad por BET. En todos los casos, los materiales lignocelulósicos resultaron ser no porosos o macroporosos con rangos de área superficial específica (S_{BET} ($m^2 \cdot g^{-1}$)) de 0,45 para *Lemna minor* hasta 0,92 para *Pistia stratiotes* y con rangos de volumen total (V_T ($cm^3 \cdot g^{-1}$)) de 0,0019 para *Azolla pinnata* hasta 0,0067 también para *Pistia stratiotes*. En ninguno de los casos se observó dependencia de la adsorción del contaminante tanto con el área superficial específica como con el volumen total de poro.

Para los ensayos de pH de carga cero en general los resultados obtenidos fueron entre 5,99 para cascarilla de semilla de moringa maní y 5,54 para rama de moringa y valores intermedios para el resto de los adsorbentes.

Estos resultados son similares a los obtenidos por otros autores, quienes obtuvieron valores de pH de 5,40 y 4,61 para residuos de cascarilla de arroz y corteza de coco respectivamente [15]. Por otra parte, en el análisis del PZC de residuos de cascarilla de algodón y de chips de quebracho destanzado se obtuvo un $pH=7$ [16]. En general estos materiales lignocelulósicos presentan un comportamiento similar, con pH de carga cero por debajo de 7,00. Considerando los resultados obtenidos para los residuos en estudio, a pH inferiores a 5,50, estos materiales serán capaces de retener iones de naturaleza aniónica, debido a que tendrán carga superficial positiva, mientras que la adsorción de cationes se vería favorecida a pH por encima de 6.

B. Ensayos de adsorción:

En la Tabla 1 se presentan las capacidades de adsorción obtenidas para los materiales estudiados, utilizando la ecuación (2). La mayor capacidad de adsorción se observó para los residuos provenientes de la producción de *Moringa oleífera*.

TABLA I
CAPACIDADES DE ADSORCIÓN OBTENIDAS PARA LOS MATERIALES
ADSORBENTES ESTUDIADOS.

	q (mg.g ⁻¹ adsorbente)
<i>Lemna minor</i>	0,26
<i>Pistia stratiotes</i>	0,38
<i>Limnobium</i>	0,45
<i>Azolla pinnata</i>	1,28
<i>Salvinia molesta</i>	1,21
Cáscara de maní	1,05
Rama de moringa	2,38
Cascarilla de semilla de moringa	2,26
Tronco de moringa	2,30

En la figura 6 se muestra el gráfico con los porcentajes de remoción de cada adsorbente utilizado, calculados con la ecuación (1). Tanto la *Azolla pinnata* como los residuos provenientes de moringa fueron los que mayor remoción produjeron, es decir produjeron una mayor proporción de eliminación de níquel de la solución tratado resultando en soluciones con concentraciones por debajo del límite de vertido establecido por la legislación argentina.

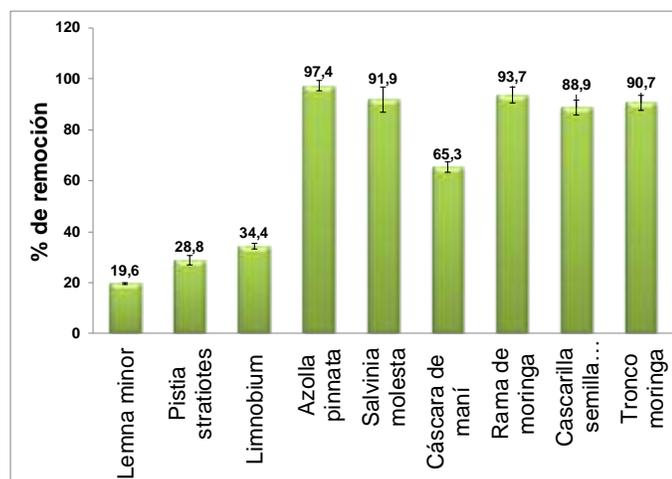


Fig. 6 Porcentaje (%) de remoción de níquel obtenidos para cada material adsorbente.

IV. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos es posible concluir que las características texturales como la porosidad del material para estos materiales lignocelulósicos no es un parámetro representativo de la capacidad de remoción de metales como Ni²⁺. Esta capacidad de adsorción depende principalmente de la clase de grupo funcionales que están disponibles en la

superficie del material como para interactuar con el contaminante. Los principales grupos funcionales intervinientes en este proceso están compuestos por aminas, grupos hidroxilo y grupos carbonilos.

Todos los materiales estudiados han presentado un cierto grado de remoción, siendo los residuos provenientes de moringa los que mayor capacidad de adsorción ha tenido. Por lo tanto, se sugiere continuar los estudios con los residuos de *Moringa oleífera*.

Finalmente, los materiales en estudio son factibles de utilizar como potenciales materiales de relleno para reactores de adsorción que pueden ser empleados como tratamiento secundario o terciario de agua con altos niveles de níquel. En este sentido, el empleo de materiales no convencionales para el desarrollo de reactores de bajo es un buen camino para comenzar con el desarrollo de procesos sostenibles que aporten un nuevo bucle de economía circular al proceso productivo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad de Buenos Aires (UBACyT 20020190100323BA - 20020190200302BA - PIDAE Nro 4497 /2022) por el financiamiento y a la empresa “El Moringuero” por la provisión de residuos de moringa.

REFERENCES

1. Horngren, C.T., *Contabilidad de costos. Un enfoque gerencial*. México: Pearson ed. 2012
2. Union, E., *URBAN AGENDA FOR THE EU. Pact of Amsterdam*. Netherlands. 2016.
3. ONU. *17 Objetivos de Desarrollo Sostenible*. 2015 <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>.
4. N. Caracciolo, M. N. Piol, A. Saralegui and S. Boeykens, "Reutilización de residuos agrícolas como adsorbentes de bajo costo para tratamiento de aguas y efluentes (in english: Reuse of agro-waste as low-cost adsorbents for water treatment)", in *Agrárias: Pesquisa e Inovação nas Ciências que Alimentam o Mundo* E.E. Spers, Editor. Editorial Artemis: Brasil. 2021
5. S. Boeykens, A. Saralegui, N. Caracciolo and M. N. Piol, "Agroindustrial Waste for Lead and Chromium Biosorption", *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, vol. 6(2), pp. 341-350. 2018.
6. M.N. Piol, C. Dickerman, M. P. Ardanza, A. Saralegui and S. P. Boeykens, "Simultaneous removal of chromate and phosphate using different operational combinations for their adsorption on dolomite and banana peel," *Journal of Environmental Management*, vol. 288, pp. 112463. 2021.
7. A. Saralegui, M. N. Piol, V. Willson, N. Caracciolo and S. Boeykens, *Lignocellulosic Waste as Adsorbent for Water Pollutants. A Step towards Sustainability and Circular Economy*, in *Bioremediation of Toxic Metal(loid)s*, Taylor and Francis. p. 168 - 182. 2022
8. A.B. Saralegui, V. Willson, N. Caracciolo, M. N. Piol and S. P. Boeykens, "Macrophyte biomass productivity for heavy metal adsorption," *Journal of Environmental Management*, vol. 289, pp. 112398. 2021.

9. M.N. Piol, M. Paricoto, A. B. Saralegui, S. Basack, D. Vullo and S. P. Boeykens, "Dolomite used in phosphate water treatment: Desorption processes, recovery, reuse and final disposition." *Journal of Environmental Management*, vol. 237, pp. 359-364. 2019.
10. Liu, J., R.A. Goyer, and M.P. Waalkes, *Toxic effects of metals.*, in Casarett and Doull's *Toxicology. The Basic Science of Poisons.*, C.D. Klaasen, Editor. 2008, Mc Graw - Hill: New York, United State.
11. *Ley Nacional de Residuos Peligrosos - Decreto N° 831/93 - Resolución N° 242/93 Normas para los Vertidos de Establecimientos Industriales o Especiales alcanzados por el Decreto 674/89.* 1992, República Argentina.
12. IARC, *A review of human carcinogens Lyon, France.* International Agency for Research on Cancer, Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals in humans, 2012. **100C**.
13. Silverstein, R., F. Webster, and D. Kiemle, *Spectrometric identification of organic compounds.* 7th ed. 2005, United States of America: John Wiley & Sons Inc.
14. Gatani, M., R. Argüello, and S. Sesín, "Nota Técnica: Materiales compuestos de cáscaras de maní y cemento. Influencia de diferentes tratamientos químicos sobre las propiedades mecánicas. In english: Technical Note: Effect of chemical treatments on the mechanical properties of peanut shell and cement blends". *Materiales de Construcción*, 2010. **60**: p. 137-147.
15. Amaringo Villa, F.A. and A. Hormaza Anaguano, *Determinación del punto de carga cero y punto isoeléctrico de dos residuos agrícolas y su aplicación en la remoción de colorantes. Determination of the point of zero charge and isoelectric point of two agricultural wastes and their application in the removal of colorants Determinação do ponto de carga zero e ponto isoeléctrico de dois resíduos agrícolas e sua aplicação na remoção de corantes.* *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 2013. **4**(2).
16. Strauss, F. and F. Herrendorf, *Residuos de algodón para su implementación como adsorbente.* IV Reunión Interdisciplinaria de Tecnología y Procesos Químicos, 2018: p. 3-4.