

# Estudio del efecto de la temperatura, concentración inicial de contaminante y dosis de adsorbente en la remoción de Níquel (II) usando residuos agroindustriales

## Effect of the temperature, initial concentration of contaminant and dose of adsorbent in in the removal of Nickel (II) using agro-industrial residues

Candelaria Tejada-Tovar<sup>1\*</sup>, Angel Villabona-Ortiz<sup>1</sup>, Laura Osorio-García<sup>2</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. en Ingeniería Ambiental, Grupo de Investigación en Diseño de procesos y Aprovechamiento de Biomásas-IDAB, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena. Cartagena-Colombia.

<sup>2</sup>Ingeniera Química, Grupo de Investigación en Diseño de procesos y Aprovechamiento de Biomásas-IDAB, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena. Cartagena-Colombia.  
Email: [ctejadat@unicartagena.edu.co](mailto:ctejadat@unicartagena.edu.co)

Cite this article as: C. Tejada-Tovar, A. Villabona-Ortiz, L. Osorio-García, "Estudio del efecto de la temperatura, concentración inicial de contaminante y dosis de adsorbente en la remoción de Níquel (II) usando residuos agroindustriales", *Prospectiva*, Vol 18, N° 1, 24-31, 2020.

Recibido: 08/07/2019 / Aceptado: 10/10/2019

<https://doi.org/10.15665/rp.v18i1.2071>

### RESUMEN

El uso de desechos agrícolas como materiales biosorbentes en los procesos de adsorción ofrece una alta eficiencia debido a sus características químicas. Se estudió la remoción de Ni (II) en solución usando pulpa residual del proceso de extracción de almidón a partir de ñame (*Dioscorea rotundata*), evaluando el efecto de la temperatura, concentración inicial y cantidad de adsorbente. Las pruebas de adsorción se llevaron a cabo en un sistema discontinuo, a un volumen de solución de 100 ml, pH 6 y 200 rpm. La concentración remanente de Ni (II) en la solución se midió por absorción atómica a 301,5 nm. El adsorbente se caracterizó por análisis elemental y espectroscopía de transformada de Fourier infrarroja (FTIR). Se estableció que a 55 °C, 200 ppm y 0.355 g de biomaterial, se alcanzó la mayor capacidad de adsorción, 17,67 mg/g, alcanzando un porcentaje de remoción superior al 90%, estableciendo el uso eficiente de la pulpa residual de la extracción de almidón de ñame para la eliminación del ion metálico en estudio.

Palabras clave: Adsorción, efluentes, metales pesados, residuos agroindustriales.

### ABSTRACT

The use of agro-wastes as biosorbent materials in adsorption processes offers high efficiencies due to the chemical characteristics. The removal of Ni (II) in solution was studied using the residual pulp from the yam starch extraction process (*Dioscorea rotundata*), evaluating the effect of temperature, initial concentration and amount of adsorbent. The adsorption tests were carried out in batch system, at 100 mL solution volume, pH 6 and 200 rpm. The remaining concentration of Pb (II) in solution was measured by atomic absorption at 301.5 nm. The adsorbent was characterized by elemental analysis and infrared Fourier Transform Spectroscopy (FTIR). It was established that at 55 °C, 200 ppm and 0.355 g of biomaterial was reached capacity the higher capacity of adsorption 17.67 mg/g, obtaining an efficiency above 90%, establishing the efficient use of the residual pulp from the yam starch extraction process for the removal of the ion metallic in the studio.

Keywords: Adsorption, effluents, heavy metals, agroindustrial wastes.

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación de las fuentes hídricas con metales pesados es un problema ambiental global, debido a la alta toxicidad de y su tendencia a la bioacumulación y biomagnificación en la cadena alimenticia [1] [2]. Entre los metales que generan mayor preocupación se incluyen los iones de plomo, cadmio, zinc, níquel, cobalto, cromo, cobre, cadmio y mercurio [3]. Sus fuentes principales incluyen los efluentes descargados de los hospitales, e industrias como la batería de Cd-Ni, el metalizado y la fabricación de aleaciones [4]. El Ni (II) es empleado en la fabricación de acero inoxidable, monedas, aleaciones metálicas, galvanoplastia, fabricación de baterías y acumuladores, acero inoxidable, cerámica, minería y metalurgia, esmaltado de porcelana y forjado [5, 6]; debido a esto, cantidades considerables se pueden encontrar en el medio ambiente acuático, y su ingestión más allá de los niveles permisibles (0,015 mg/L) se asocia al daño severo a los pulmones y riñón, insuficiencia gastrointestinal, dolor de cabeza, mareos, náuseas, vómitos, dolor y opresión en el pecho, tos seca, dermatitis de la piel, respiración rápida, cianosis y debilidad extrema [7-9].

La presencia de metales pesados en las corrientes de desecho exige un adecuado tratamiento de esas, con el fin de disminuir su concentración a los límites permisibles; por esto, se han implementado diversas tecnologías fisicoquímicas, tales como precipitación química, intercambio iónico, coagulación química, adsorción, extracción y separación por membranas en la eliminación de metales pesados presentes en solución [10, 11]. Entre estas tecnologías, el proceso de adsorción ofrece remociones satisfactorias de metales pesados presentes en solución, en términos de costo inicial, diseño simple, operatividad, versatilidad y eficiencia, lo que lo hace sostenible para la eliminación de contaminantes [11-13].

El costo asociado a algunos adsorbentes comerciales, hacen costoso el proceso de adsorción, lo que ha llevado a la búsqueda de nuevas estrategias para el desarrollo de materiales de bajo costo con una buena capacidad de remoción [3, 14]. Por lo anterior, muchos investigadores han desarrollado nuevos materiales a partir de residuos de origen agrícola y agroindustrial, ya que tienen grupos poliméricos que funcionan como centros activos para la captación de metales [1, 15-16]. Algunos biomateriales han sido ampliamente probadas como adsorbentes y demostrado que pueden eliminar efectivamente metales pesados de las aguas residuales, tales como residuos de hojas de te [3], Marang [13], paja de arroz [17], cáscaras de: litchi, naranja, granada y plátano [12, 16, 18], lima [19], chicharos [20], pepino [21], yuca [22], papa [23], nanjea [24]; semillas de: níspero [25], moringa [26], lanzón [27], acerola [28]; entre otros.

Por otro lado, iniciativas del gobierno de Colombia por incentivar el cultivo del ñame en zonas afectadas por el conflicto armado y en generar agro-industria sostenible, motiva la iniciativa de desarrollar investigación en torno al aprovechamiento de residuos del proceso agro-industrial de obtención de almidón a partir de ñame espino (*Dioscorea rotundata*) [29]; es así que el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de las variables más incidentes en la adsorción de Ni (II) en sistema por lotes usando como adsorbente los residuos del proceso en mención.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Preparación del biomaterial

El ñame fue recolectado en el área rural del departamento de Bolívar (Colombia), luego se peló, lavó, y trituro, para sumergirlo en una solución de NaOH al 0.25% (p/v), en una relación 1:2, y se refrigeró a 5 °C durante 18 h; luego se batió la mezcla, seguido de filtración filtró, para separar el almidón y de la pulpa residual del proceso, siendo esta última el precursor del biosorbente. El pH se ajustó a 7 con HCl 2 M, y por último se secó al sol durante 28 h hasta alcanzar masa constante [30].

### 2.2 Caracterización del biomaterial y ensayos de adsorción

Los materiales se analizaron por espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) para identificar los grupos funcionales en los bioadsorbentes, análisis de la composición química de TAPPI T 222 om-83 y TAPPI T 203 os-74 para determinar la lignina, celulosa y hemicelulosa, respectivamente. Las pruebas de adsorción se realizaron usando 100 mL de solución de Ni (II) a 200 rpm, pH 6 y 24 h, y los datos de concentración se determinaron por absorción atómica a una longitud de onda de 305.1 nm, determinando la capacidad de remoción (mg/g) de acuerdo a la Ecuación 1 [17].

$$q_e \left( \frac{mg}{g} \right) = \frac{(C_0 - C_e)V}{M} \quad (1)$$

Donde  $q_e$  es la concentración de Níquel (II) en el equilibrio (mg/g),  $C_0$  es la concentración inicial del ion en el adsorbente (mg/L); y  $C_f$  es la concentración final del ion en la solución (mg/L),  $M$  es la masa de biosorbente (g) y  $V$  el volumen de la solución (L).

### 2.3 Análisis estadístico

Luego de realizados los experimentos siguiendo un diseño experimental de factor continuo lineal, en superficie de respuesta de tipo compuesto central estrella, de acuerdo a los rangos definidos en la Tabla 1, se evaluó la influencia de las

variables evaluadas sobre el proceso de adsorción validándolas mediante análisis estadístico de varianza-ANOVA, Diagrama de Pareto y gráfico de análisis de efectos usando el software Statgraphics Centurion XVI.

Tabla 1. Rangos experimentales y niveles de variación de las variables evaluadas.  
Table 2. Experimental ranges and levels of variation of the evaluated variables.

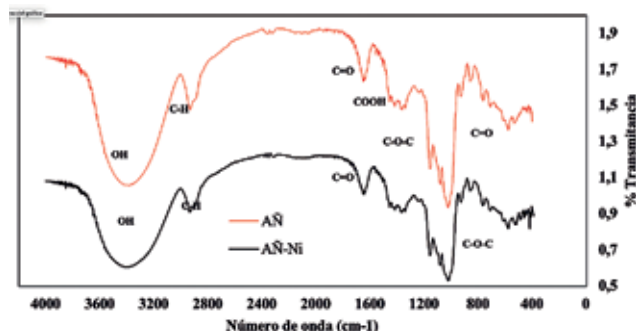
Variables independientes	Unidad	Rango y nivel				
		-α	-1	0	+1	+α
Temperatura	°C	30	40	55	70	80
Dosis de adsorbente	g	0,135	0,355	0,678	1	1,22
Concentración inicial	ppm	31.82	100	200	300	368,18

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Caracterización del bio-adsorbente

En la Figura 1 se muestra el análisis FTIR del material adsorbente antes y después de ser utilizado en la adsorción de Ni (II); se muestra inicialmente una banda ancha a 3400 cm<sup>-1</sup>, para el material sin usar como adsorbente, que se atribuye a las vibraciones de estiramiento del enlace OH, mientras el pico a 2950 cm<sup>-1</sup> y 1350 cm<sup>-1</sup> al de la vibración C-H [14].

Figura 1. FTIR de los residuos del proceso de almidón de ñame después del proceso de adsorción de cromo y níquel.  
Figure 2. FTIR of the process' residues of yam starch before and after the nickel adsorption process.



El espectro de la Figura 1 muestra bandas pronunciadas, lo cual indica la naturaleza compleja del material adsorbente en estudio [31]. El pico en 1650 cm<sup>-1</sup> corresponde a la señal intensa característica del estiramiento del grupo carbonilo de los ácidos carboxílicos, al igual que el que aparece a 1400 cm<sup>-1</sup> relacionado con la torsión del carboxilo, y a 900 cm<sup>-1</sup> de la torsión fuera del plano del dímero del carboxilo. El pico a 1150 cm<sup>-1</sup> se relaciona por su parte con el estiramiento del anión COO<sup>-</sup>, a 1080 cm<sup>-1</sup> al estiramiento simétrico y asimétrico del grupo C-O de la vibración de ésteres, y a 1030 cm<sup>-1</sup> con el grupo funcional C-O-C [20, 32]. Desde 3600 a 3200

cm<sup>-1</sup> se muestra una banda ancha, característica de las vibraciones del grupo OH; lo cual es señal de la presencia de alcoholes, fenoles y ácidos carboxílicos en la muestra, sin dejar de lado la posible humedad adquirida durante el procedimiento de montaje [33]. La presencia de grupos hidroxilo, grupo carbonilo, éteres y compuestos aromáticos es una evidencia de la estructura lignocelulósica del biomaterial en estudio [21].

El espectro de la Figura 1 muestra bandas pronunciadas, lo cual indica la naturaleza compleja del material adsorbente en estudio [31]. El pico en 1650 cm<sup>-1</sup> corresponde a la señal intensa característica del estiramiento del grupo carbonilo de los ácidos carboxílicos, al igual que el que aparece a 1400 cm<sup>-1</sup> relacionado con la torsión del carboxilo, y a 900 cm<sup>-1</sup> de la torsión fuera del plano del dímero del carboxilo. El pico a 1150 cm<sup>-1</sup> se relaciona por su parte con el estiramiento del anión COO<sup>-</sup>, a 1080 cm<sup>-1</sup> al estiramiento simétrico y asimétrico del grupo C-O de la vibración de ésteres, y a 1030 cm<sup>-1</sup> con el grupo funcional C-O-C [20, 32]. Desde 3600 a 3200 cm<sup>-1</sup> se muestra una banda ancha, característica de las vibraciones del grupo OH; lo cual es señal de la presencia de alcoholes, fenoles y ácidos carboxílicos en la muestra, sin dejar de lado la posible humedad adquirida durante el procedimiento de montaje [33]. La presencia de grupos hidroxilo, grupo carbonilo, éteres y compuestos aromáticos es una evidencia de la estructura lignocelulósica del biomaterial en estudio [21].

El espectro de la pulpa residual del proceso de almidón de ñame después de la adsorción muestra un ensanchamiento de las bandas espectrales y disminución de intensidad de los picos debido a la presencia del ion metálico en la superficie del bioadsorbente. La evidencia en los cambios en los espectros después del proceso puede atribuirse a la unión de los iones metálicos a los diferentes grupos funcionales presentes en la superficie del bioadsorbente. Comparando los espectros, se establece que no hay corrimiento de bandas, sin embargo se muestra una banda más ancha de 3500 a 3250 cm<sup>-1</sup> atribuida a las vibraciones del enlace OH, lo cual se puede atribuir a la formación de complejos con Ni (II) [34, 35]. La disminución de la intensidad en el número de onda de los grupo metilo, C-O-C, COOH, y C=O, se debe a la unión metal-oxígeno como consecuencia del proceso de adsorción debido a la complejación del metal en los sitios activos del adsorbente [36, 37].

La remoción de metales pesados en solución usando materiales de origen lignocelulósico está relacionada con la presencia de grupos funcionales en la superficie como hidroxilo, amino, carbonilo, amino, tiol, entre otros. Sin embargo, esto no garantiza una eliminación eficiente de los metales, ya que el proceso se ve afectado por factores como el número de sitios activos, su accesibilidad, estado químico y afinidad por el metal. Entre ellos, la celulosa es relevante debido a

su estabilidad química y resistencia mecánica [22, 38]. En la Tabla 2, se muestra los porcentajes de estos componentes, encontrándose que la celulosa es el componente con presencia más significativa, por lo cual se espera una alta eficiencia de adsorción puesto que estos polímeros tienen gran cantidad de grupos hidroxilos y fenólicos que pueden favorecer la adsorción de metales [39]. La existencia de diferentes grupos funcionales en la estructura de celulosa podría promover la eficiencia en el proceso de adsorción, debido a la polarización de la superficie del adsorbente en estudio dando como resultado una considerable capacidad de intercambio de cationes al adsorbente para adsorber iones metálicos. [24, 40, 41].

Tabla 3. Análisis químico de los residuos del proceso de almidón de ñame.  
Table 4. Chemical analysis of the process' residues of yam starch.

Compuestos	Composición (%)	Métodos
Lignina	19,53	TAPPI T 222 om-83
Celulosa	39,24	TAPPI T 203 os-74
Hemicelulosa	27,41	Diferencia entre la holocelulosa y celulosa

### 3.2 Ensayos de adsorción

Los cationes presentes en la solución pueden ser adsorbidos en la superficie del material debido a fuerzas electrostáticas, formando complejos y quelatos; entonces una vez formados los quelatos o complejos, migran más fácilmente a través del adsorbente [42]. La Tabla 3 muestra los datos de adsorción para los iones de Ni (II), y se establece que es a 55 °C, 200 ppm y 0,355 g de biomaterial se obtiene una capacidad de adsorción de 17,67 mg/g. La complejidad de los bioadsorbentes implica que el metal sea capturado de diferentes maneras por las paredes celulares de estos; así los mecanismos de adsorción se diferencian dependiendo del metal o del biomaterial [25].

Tabla 5. Capacidad de adsorción de Ni (II) a diferentes condiciones.  
Table 6. Adsorption capacity of Ni (II) at different conditions.

Dosis de adsorbente (g)	T (°C)	CO (ppm)	Ce (ppm)	q (mg/g)
0,678	55	200	166,64	4,92
0,355	70	300	286,19	3,89
1	40	100	86,70	1,33
0,678	55	31,82	23,6162	1,21
0,355	40	300	196,89	3,66
0,135	55	200	176,15	17,67
0,355	40	100	88,82	3,15
0,678	80	200	178,56	3,16
1	70	100	68,2	3,18
1,22	55	200	165,11	2,86
1	40	300	189,54	1,05
0,678	30	200	179,39	3,04
0,355	70	100	80,12	5,60
0,678	55	368,18	354,55	2,01
1	70	300	233,2	6,68

De la Tabla 3 se puede decir que, el aumento en la temperatura entre 40 a 70 °C causa un ligero aumento de la capacidad de adsorción de 4,61 a 5 mg/g, pero después ocurre una disminución hasta 2,82 mg/g. Esta tendencia implica que el proceso de adsorción de iones de Ni (II) sería de naturaleza exotérmica [36]. Asimismo, el incremento de la capacidad de adsorción puede deberse a la reducción de la resistencia a la transferencia de masa que se produce al aumentar la temperatura de 40 a 55 °C, provocando una mejora de la difusión de iones metálicos a la superficie del adsorbente [43].

De otra parte, al aumentar la dosis de adsorbente de 0.355 a 1 g, la capacidad de adsorción disminuyó de 9,28 a 4,33 mg/g. Un incremento de la cantidad de adsorbente causa un aumento del área superficial y disponibilidad de sitios activos del adsorbente; sin embargo, con una alta cantidad de adsorbente los iones disponibles de Ni (II) son insuficientes para cubrir todos los sitios de adsorción, lo cual resulta en una baja adsorción del metal [44]. Estos resultados coinciden con lo reportado por Wang & Wu [45], quienes estudiaron la biosorción de Ni (II) con paja de colza modificada y encontraron que la capacidad de adsorción de la paja disminuyó de 8,30 a 1,93 mg/g cuando la cantidad de adsorbente aumentó de 0.5 g/L a 5 g/L.

Al aumentar la concentración inicial de soluto, de 100 a 300 ppm, se obtiene un aumento en la capacidad de adsorción de 2,62 a 7,46 mg/g (Figura 3); esto, podría deberse a la mayor disponibilidad de iones de Ni (II), así como a disponibilidad de suficientes sitios activos en la superficie del bio-adsorbente [46]. También se ha encontrado que la capacidad de adsorción aumenta proporcionalmente con la concentración inicial de Ni (II) de 50 a 250 ppm empleando carbón activado obtenido de bagazo de caña de azúcar [18]. También, se observan tres condiciones a las que el material no removió el metal, las cuales se presentan a la mayor concentración inicial evaluada y los valores de temperatura más bajos, lo cual explica desde la posible naturaleza exotérmica del proceso [47].

### 3.3 Análisis estadístico de varianza

En la Tabla 4, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza (ANOVA), realizado con el software Statgraphics Centurión XVI.I. Esta tabla particiona la variabilidad de adsorción para cada uno de los efectos, entonces se prueba la significancia estadística de cada efecto, comparando contra un estimado del error experimental; de esta manera se obtienen los valores de los parámetros significativos en el proceso de adsorción de Ni (II) con la pulpa residual del proceso de extracción de ñame. Para esto, se estableció un nivel de confianza del 95% (error máximo permisible 5%), por lo tanto se aceptan como significativos aquellos efectos

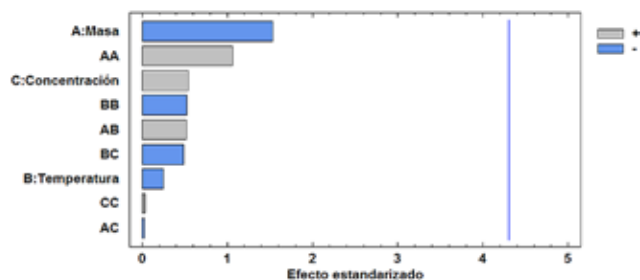
o parámetros que tengan un error (valor-P), menor que 0.05. En este caso, 0 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%. Se observa que el factor que puede tener mayor relevancia en el diseño es la cantidad de adsorbente (g), debido a que presenta el valor-P más bajo.

Tabla 7. Análisis de varianza en la adsorción de Ni (II).  
Table 8. Analysis of variance in Ni (II) adsorption.

Fuente	SS	GI	SM	Razón-F	Valor-P
A: Cantidad de adsorbente	59,27	1	59,27	2,34	0,27
B: Temperatura	1,60	1	1,60	0,06	0,82
C: Concentración inicial	7,31	1	7,31	0,29	0,64
AA	28,58	1	28,58	1,13	0,40
AB	6,84	1	6,84	0,27	0,65
AC	0,015	1	0,015	0,00	0,98
BB	7,02	1	7,02	0,28	0,65
BC	5,96	1	5,96	0,24	0,68
CC	0,026	1	0,026	0,00	0,98
Error total	50,59	2	25,30		
Total	207,66	11			

En la Figura 2 se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para la capacidad de adsorción de Ni (II) a partir de residuos del proceso de almidón de ñame, el cual demuestra de manera estandarizada la influencia en la capacidad de adsorción ante cambios en las variables. Se observa que la influencia más significativa sobre la capacidad de adsorción es la cantidad de adsorbente, seguido de la concentración inicial, la temperatura es la variable menos influyente en el proceso de adsorción de Ni (II); no obstante no son significativamente influyentes para la capacidad de adsorción del metal.

Figura 3. Diagrama de Pareto estandarizado para capacidad de adsorción de Ni (II).  
Figure 4. Standardized Pareto diagram for Ni (II) adsorption capacity.

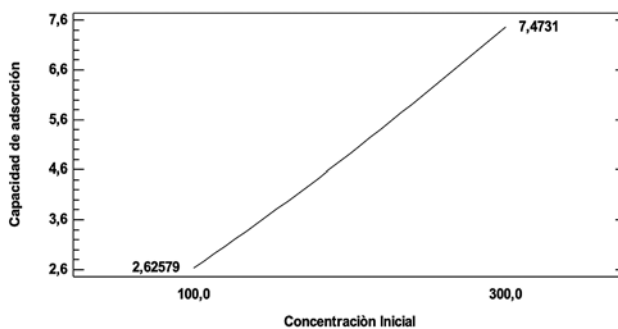


### 3.4 Estudio de efectos de las variables sobre la capacidad de adsorción

En la Figura 3 se muestra el efecto que tiene la concentración inicial de adsorbente sobre la capacidad de adsorción. Se observa que un aumento de la concentración inicial de Ni (II) de 100 a 300 ppm causa un aumento en la capacidad

de adsorción de 2,62 a 7,46 mg/g. Los iones de Ni (II) disponibles son mayores a altas concentraciones del metal. Esto puede deberse a que existen suficientes sitios de adsorción disponibles en la superficie del adsorbente para la biosorción de Ni (II) [46].

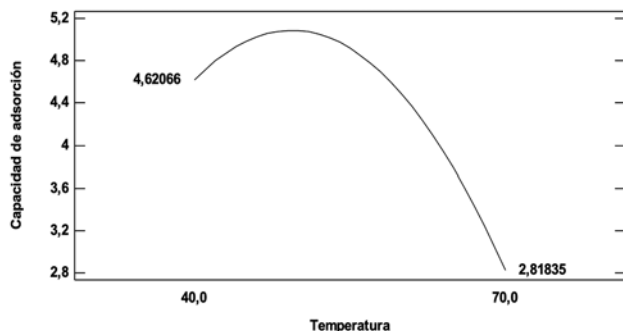
Figura 5. Efecto de la concentración inicial sobre la capacidad de adsorción de Ni (II)  
Figure 6. Initial concentration effect onto Ni (II) adsorption capacity



La tendencia al aumento de la capacidad de adsorción con la concentración inicial del analito, se encontró también al estudiar la adsorción de níquel (II) sobre carbón activado obtenido de bagazo de caña de azúcar y obteniendo que aumentó junto con el aumento en la concentración inicial de Ni (II) de 50 a 250 ppm [18]. También al usar carbón activado a partir de cáscara de arroz se obtuvo un aumento en la capacidad de adsorción de Ni (II) de 0,65 a 1,14 mg/g al aumentar la concentración inicial de 30 a 150 mg/L [48]. Por su parte Amin y colaboradores [49], al evaluar carbones activados a partir de plátano y piña obtuvieron que la capacidad de adsorción incrementó linealmente respecto al aumento a la concentración inicial del ion, como el obtenido en el presente estudio y mostrado en la Figura 3.

En la Figura 4 se muestra el efecto que tiene la temperatura sobre la capacidad de adsorción de Ni (II). Se observa que un aumento en la temperatura de 40 a 70 °C causa un ligero aumento de la capacidad de adsorción de 4,61 a 5 mg/g, pero después ocurre una disminución hasta 2,82 mg/g. Esta tendencia implica que el proceso de adsorción de iones de Ni (II) es de naturaleza exotérmica [36, 50]. Sin embargo, un estudio termodinámico confirmaría la naturaleza del proceso de adsorción. Esta tendencia se encontró en estudios previos en la remoción de Ni (II), Pb (II), Cd (II) al usar materiales adsorbentes de diferente naturaleza, lográndose una disminución en el porcentaje de remoción de hasta el 20% [47, 51]. El incremento de la capacidad de adsorción que se muestra en la figura 4 puede deberse a la reducción de la resistencia a la transferencia de masa que se produce al aumentar la temperatura de 40 a 55 °C, provocando una mejora de la difusión de iones metálicos a la superficie del adsorbente [43].

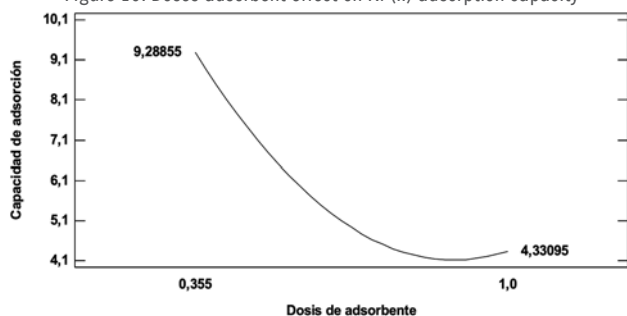
Figura 7. Efecto de la temperatura sobre la capacidad de adsorción de Ni (II)  
Figure 8. Temperature effect onto Ni (II) adsorption capacity



El uso de una cantidad óptima de biosorbente para la eliminación de níquel es esencial para la operación rentable del proceso y la determinación de la capacidad de adsorción. En la Figura 5 se muestra el efecto que tiene la cantidad de torta residual de almidón de plátano sobre la capacidad de adsorción de Ni (II). Se observa que la capacidad de adsorción disminuyó de 9,28 g a 4,33 g cuando la cantidad de adsorbente aumentó de 0,355 g a 1 g. Un aumento de la cantidad de adsorbente causa un aumento del área superficial y disponibilidad de sitios activos del adsorbente. Sin embargo, con una alta cantidad de adsorbente los iones disponibles de Ni (II) son insuficientes para cubrir todos los sitios de adsorción, lo cual resulta en una baja adsorción del metal, así como una alta cantidad de biosorbente podría causar la aglomeración de biosorbente que disminuyó el área de superficie disponible y bloqueó algunos sitios de sorción [27, 44].

La tendencia decreciente del comportamiento de la capacidad de adsorción respecto a la dosis de adsorbente se atribuye a una mayor cantidad de sitios de sorción que permanecen insaturados durante el proceso de biosorción (Shi et al., 2016). Se ha encontrado esta tendencia al estudiar la biosorción de Ni (II) con paja de colza modificada, hallándose que la capacidad de adsorción de la paja disminuyó de 8,30 a 1,93 (mg/g) cuando la cantidad de adsorbente aumentó de 0.5 g/L a 5 g/L [45]. Una tendencia similar del efecto de la dosis de adsorbente sobre la remoción de iones metálicos ha sido reportada previamente por otros autores [37, 52-545].

Figura 9. Efecto de la dosis de adsorbente sobre la capacidad de adsorción de Ni (II)  
Figure 10. Doses adsorbent effect on Ni (II) adsorption capacity



## CONCLUSIÓN

Se evaluó la eficiencia de la remoción de Níquel (II) usando la pulpa residual del proceso de extracción de almidón de ñame; el análisis FTIR mostró la presencia de grupos hidroxilo, carbonilo y carboxilo, propios de los materiales lignocelulósicos, y del análisis químico composicional se evidenció que es rica en celulosa, lo cual le brinda al material sintetizado propiedades como bioadsorbente de metales pesados. El análisis ANOVA mostró que las variables estudiadas en los rangos elegidos no presentan significancia estadística, y el estudio de efectos que el aumento en la temperatura y de la dosis de adsorbente causan una disminución de la capacidad de adsorción; de otra parte, el incremento de concentración inicial influye de manera proporcional sobre la capacidad de adsorción, lo cual se explica por la alta disponibilidad de iones de Ni (II). Se alcanzó a 55 °C, 200 ppm y 0.355 g de dosis de adsorbente un porcentaje de remoción superior al 90%, estableciendo el uso eficiente de la pulpa residual de la extracción de almidón de ñame para la eliminación del ion metálico en estudio.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Cartagena por su apoyo en laboratorios, software y tiempo de investigación para profesores.

## REFERENCIAS

- [1] W. Marimón-Bolívar, L. Tejada-Benítez, A. Herrera, "Removal of mercury (II) from water using magnetic nanoparticles coated with amino organic ligands and yam peel biomass," *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 10, 486-493, 2018.
- [2] A. R. Albis-Arrieta, S. A. Arzuza-Orellano, A. M. Mosquera-Palacio, "Remoción de Mercurio (II) en solución acuosa usando residuo industrial de yuca (*Manihot esculenta*)," *Revista Prospectiva*, 17(2), 33-39, 2019.
- [3] J. Shah, R. Jan, A. Haq, M. Zeeshan, "Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies for sorption of Ni (II) from aqueous solution using formaldehyde treated waste tea leaves," *Journal of Saudi Chemical Society*, 19, 301-310, 2015.
- [4] Z. N. Garba, N. I. Ugbaga, A. K. Abdullahi, "Evaluation of optimum adsorption conditions for Ni (II) and Cd (II) removal from aqueous solution by modified plantain peels (MPP)," *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(2), 170-179, 2016.
- [5] A. Murugesan, T. Vidhyadevi, S. S. Kalavani, P. Baskaralingam, C. D. Anuradha, S. Sivanesan, S., "Kinetic studies and isotherm modeling for the removal of Ni<sup>2+</sup> and Pb<sup>2+</sup> ions by modified activated carbon using sulfuric acid," *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 33 (3), 844-854, 2014.
- [6] C. Tejada-Tovar, A. Villabona-Ortiz, E. Ruiz-Paternina, "Remoción de Pb (II), Ni (II) y Cr (VI) en soluciones acuosas usando matrices modificadas químicamente," *Revista Prospectiva*, 12(2), 7-17, 2014.
- [7] A. Mishra, B. Tripathi, A. Rai, "Packed-bed column biosorption of chromium (VI) and nickel (II) onto Fenton modified *Hydrilla verticillata* dried biomass," *Ecotoxicology and environmental safety*, 132, 420-428, 2016.

- [8] N. Raval, P. Shah, N. Shah, "Adsorptive removal of nickel (II) ions from aqueous environment: A review," *Journal of Environmental Management*, 179, 1-20, 2016.
- [9] M. S. Sankhla, M. Kumari, M. Nandan, R. Kumar, P. Agrawal, "Heavy metals contamination in water and their hazardous effect on human health—a review," *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(10), 759-766, 2016.
- [10] R. T. Di Giulio, M.C. Newman, *Ecotoxicology, Casarett and Doull's Toxicology*. 8th edition, New York: McGraw Hill, 2013, vol. 1473.
- [11] R. Sudha, K. Srinivasan, P. Premkumar, "Removal of nickel (II) from aqueous solution using Citrus Limettioides peel and seed carbon," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 117, 115-123, 2015.
- [12] Y. Chen, H. Wang, W. Zhao, S. Huang, "Four different kinds of peels as adsorbents for the removal of Cd (II) from aqueous solution: Kinetics, isotherm and mechanism," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 88 146-151, 2018.
- [13] N.A.H.M. Zaidi, L.B.L. Lim, A. Usman, "Enhancing adsorption of Pb(II) from aqueous solution by NaOH and EDTA modified *Artocarpus odoratissimus* leaves," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(6), 7172-7184, 2018.
- [14] C. Lee, S. Lee, J. Park, C. Park, S. Lee, S. Kim, B. An, S. Yun, S. Lee, J. Choi, "Removal of copper, nickel and chromium mixtures from metal plating wastewater by adsorption with modified carbon foam." *Chemosphere*, 166, 203-211, 2017.
- [15] A. Bhatnagar, M. Sillanpää, A. Witek-Krowiak, "Agricultural waste peels as versatile biomass for water purification – A review," *Chemical Engineering Journal*, 270, 244-271, 2015.
- [16] S. Ben-Ali, I. Jaouali, S. Soussi-Najar, A. Ouederni, "Characterization and adsorption capacity of raw pomegranate peel biosorbent for copper removal," *Journal of Cleaner Production*, 142, 3809-3821, 2017.
- [17] Y. Wu, Y. Fan, M. Zhang, Z. Ming, S. Yang, A. Arkin, P. Fang, "Functionalized agricultural biomass as a low-cost adsorbent: utilization of rice straw incorporated with amine groups for the adsorption of Cr (VI) and Ni (II) from single and binary systems," *Biochemical Engineering Journal*, 105, 27-35, 2016.
- [18] E. Bibaj, K. Lysigaki, J. W. Nolan, M. Seyedsalehi, E. A. Deliyanni, A. C. Mitropoulos, G. Z. Kyzas, "Activated carbons from banana peels for the removal of nickel ions," *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(2), 667-680, 2019.
- [19] S. Singh, S. R. Shukla, "Theoretical studies on adsorption of Ni(II) from aqueous solution using *Citrus limetta* peels". *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 36(3), 864-872, 2017.
- [20] A. ul Haq, M. Saeed, S. Anjum, T. H. Bokhari, M. Usman, S. Tubbsum, "Evaluation of sorption mechanism of Pb (II) and Ni (II) onto pea (*Pisum sativum*) peels," *Journal of Oleo Science*, 66(7), 735-743, 2017.
- [21] M. Basu, A. K. Guha, L. Ray, "Adsorption of Cadmium on Cucumber Peel: Kinetics, Isotherm and Co-ion Effect," *Indian Chemical Engineer*, 60(2), 179-195, 2017.
- [22] A. Villabona-Ortiz, C. Tejada-Tovar, Á. González-Delgado, A. Herrera-Barros, G. Cantillo-Arroyo, "Immobilization of Lead and Nickel Ions from Polluted Yam Peels Biomass Using Cement-Based Solidification/Stabilization Technique," *International Journal of Chemical Engineering*, 2019.
- [23] E.D. Asuquo, A. D. Martin, "Sorption of cadmium (II) ion from aqueous solution onto sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) peel adsorbent: characterisation, kinetic and isotherm studies," *Journal of environmental chemical engineering*, 4(4), 4207-4228, 2016.
- [24] S. H. Ranasinghe, A. N. Navaratne, N. Priyantha, "Enhancement of adsorption characteristics of Cr (III) and Ni (II) by surface modification of jackfruit peel biosorbent," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(5), 5670-5682, 2018.
- [25] M. Mushtaq, H.N. Bhatti, M. Iqbal, S. Noreen, "Eriobotrya japonica seed biocomposite efficiency for copper adsorption: Isotherms, kinetics, thermodynamic and desorption studies," *Journal of Environmental Management*, 176, 21-33, 2016.
- [26] B. Garcia-Fayos, J. M. Arnal, J. Piris, M. Sancho, "Valorization of Moringa oleifera seed husk as biosorbent: isotherm and kinetics studies to remove cadmium and copper from aqueous solutions", *Desalination and Water Treatment*, 57(48-49), 23382-23396, 2016.
- [27] Y. F. Lam, L. Y. Lee, S. J. Chua, S. S. Lim, S. Gan, "Insights into the equilibrium, kinetic and thermodynamics of nickel removal by environmental friendly Lansium domesticum peel biosorbent," *Ecotoxicology and environmental safety*, 127, 61-70, 2016.
- [28] A. C. Silva, A. O. Jorgetto, M. H. Wondracek, R. M. Galera, J. F. Schneider, M.J. Saeki, V.A. Pedrosa, L. F. Zara, G. R. & Castro, "Properties, characteristics and application of grinded Malpighia emarginata seeds in the removal of toxic metals from water" *Groundwater for Sustainable Development*, 6, 50-56, 2018.
- [29] C. Tejada-Tovar, J. Gallo-Mercado, J. Moscote, A. Villabona, D. Acevedo-Correa, "Adsorción competitiva de plomo y níquel sobre cáscara de ñame y bagazo de palma en sistema continuo," *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(1), 52-61, 2018.
- [30] B.C. Maniglia, D.R. Tapia-Blácido, D. R. "Isolation and characterization of starch from babassu mesocarp," *Food Hydrocolloids*, 55, 47-55, 2016.
- [31] A. Albis, L. V. Cajar, M. I. Domínguez, "Análisis cinético de la adsorción de Cr (VI) en soluciones acuosas a concentraciones de 10-20 mg/L con el uso de cáscara de yuca amarga (*Manihot esculenta*)," *Revista Prospectiva*, 13(2), 64-71, 2015.
- [32] N. Priyantha, P. A. Kotabewatta, "Biosorption of heavy metal ions on peel of *Artocarpus nobilis* fruit: 1—Ni (II) sorption under static and dynamic conditions," *Applied Water Science*, 9(2), 37.
- [33] A. R. Albis Arrieta, J. D. Ortiz Toro, J. E. Martínez De la Rosa, "Remoción de cromo hexavalente de soluciones acuosas usando cáscara de yuca (*Manihot esculenta*): Experimentos en columna," *Revista Prospectiva*, 15(1), 16-28, 2017.
- [34] R. A. K. Rao, U. Khan, "Adsorption of Ni(II) on alkali treated pineapple residue (*Ananas comosus* L.): Batch and column studies," *Groundwater for Sustainable Development*, 5, 244-252, 2017.
- [35] B. R. Naik, C. Suresh, N. V. S. Kumar, K. Seshiah, A. V. R. Reddy, "Biosorption of Pb(II) and Ni(II) ions by chemically modified *Eclipta alba* stem powder: Kinetics and equilibrium studies," *Separation Science and Technology*, 52(10), 1717-1732, 2017.
- [36] M. Xu, J. Liu, K. Hu, C. Xu, Y. Fang, "Nickel (II) removal from water using silica-based hybrid adsorbents: Fabrication and adsorption kinetics," *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 24(10), 1353-1359, 2016.
- [37] S. Vilvanathan, S. Shanthakumar, "Ni (II) adsorption onto *Chrysanthemum indicum*: Influencing factors, isotherms, kinetics, and thermodynamics," *International Journal of Phytoremediation*, 18(10), 1046-1059, 2016.
- [38] T.D. Šoštarić, M.S. Petrović, F.T. Pastor, D.R. Lončarević, J.T. Petrović, J.V. Milojković, M.D. Stojanović, "Study of heavy metals biosorption on native and alkali-treated apricot shells and its application in wastewater treatment," *Journal of Molecular Liquids*, 259, 340-349, 2018.

- [39] C. Tejada-Tovar, E. Ruiz-Paternina, J. Gallo-Mercado, J. Moscote-Bohorquez, "Evaluación de la biosorción con bagazo de palma africana para la eliminación de Pb (II) en solución," *Revista Prospectiva*, 13(1), 59-67, 2015.
- [40] E.D. Asuquo, A. D. Martin, "Sorption of cadmium (II) ion from aqueous solution onto sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) peel adsorbent: characterisation, kinetic and isotherm studies," *Journal of environmental chemical engineering*, 4(4), 4207-4228, 2016.
- [41] N. Priyantha, A. N. Navaratne, T. P. K. Kulasooriya, "Investigation on adsorption kinetics of heavy metals by rice husk," *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 46(2), 125-41, 2018.
- [42] A. Naskar, D. Bera, "Mechanistic exploration of Ni (II) removal by immobilized bacterial biomass and interactive influence of coexisting surfactants," *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 37(1), 342-354, 2018.
- [43] L. Mangaleswaran, A. Thirulogachandar. V. Rajasekar, C. Muthukumar, K. Rasappan, "Batch and fixed bed column studies on nickel (II) adsorption from aqueous solution by treated polyurethane foam," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 55, 112-118, 2015.
- [44] T. Van Thuan, B. T. P. Quynh, T. D. Nguyen, V. T. T. Ho, L. G. Bach, "Response surface methodology approach for optimization of Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> and Pb<sup>2+</sup> adsorption using KOH-activated carbon from banana peel" *Surfaces and Interfaces*, 6, 209-217, 2017.
- [45] L. Wang, Y. Wu, "Kinetic and thermodynamic studies of the biosorption of Ni (II) by modified rape straw," *Procedia Environmental Sciences*, 31, 75-80, 2016.
- [46] J. Long, X. Gao, M. Su, H. Li, D. Chen, S. Zhou, "Performance and mechanism of biosorption of nickel (II) from aqueous solution by non-living *Streptomyces roseorubens* SY," *Colloids and Surfaces A*, 548, 125-133, 2018.
- [47] A. Kumar, V. Kumar, V. "Equilibrium and thermodynamic studies of Cd (II) biosorption by chemically modified orange peel," *Journal of Environmental Biology*, 37(2), 201, 2016.
- [48] A. A. Farhan, K. K. Ong, W. W. Yunus, M. L. Jabit, A. Fitrianto, U. A., Rauf, A. G. Hussin, C. C. Teoh, M. B. Ahmad, "Optimisation of Nickel (II) Adsorption Using Thermally Treated Rice Husk," *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 11(3), 717-730, 2016.
- [49] M. T. Amin, A. A. Alazba, M. Shafiq, M. "Comparative Sorption of Nickel from an Aqueous Solution Using Biochar Derived from Banana and Orange Peel Using a Batch System: Kinetic and Isotherm Models," *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2019.
- [50] S. Afroze, T. K. Sen, and H. M. Ang, "Adsorption removal of zinc (II) from aqueous phase by raw and base modified *Eucalyptus sheathiana* bark: Kinetics, mechanism and equilibrium study," *Process Saf. Environ. Prot.*, 102, 336-352, 2016.
- [51] A. A. Taha, M. A. Shreadah, A. M. Ahmed, H. F. Heiba, "Multi-component adsorption of Pb(II), Cd(II), and Ni(II) onto Egyptian Na-activated bentonite; equilibrium, kinetics, thermodynamics, and application for seawater desalination," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(1), 1166-1180, 2016.
- [52] N. S. Mohamad-Tahiruddin, S. Z. Ab Rahman, S. Z. "Adsorption of lead in aqueous solution by a mixture of activated charcoal and peanut shell," *World Journal of Science and Technology Research*, 1(5), 102-109, 2013.
- [53] M. E. Ossman, M. S. Mansour, M. A. Fattah, N. Taha. Y. Kiros, Y. "Peanut shells and talc powder for removal of hexavalent chromium from aqueous solutions," *Bulgarian Chemical Communications*, 3(3), 629-639, 2014.
- [54] S. Vilvanathan, S. Shanthakumar, "Ni<sup>2+</sup> and Co<sup>2+</sup> adsorption using *Tectona grandis* biochar: kinetics, equilibrium and desorption studies," *Environmental technology*, 39(4), 464-478, 2018.
- [55] Shi, B., Zuo, W., Zhang, J., Tong, H., & Zhao, J. (2016). Removal of Lead (II) Ions from aqueous solution using *Jatropha curcas* L. Seed husk ash as a biosorbent. *Journal of environmental quality*, 45(3), 984-992.