

# EL USO DE LA CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus sinensis*) PARA LA ELIMINACIÓN DE COBALTO (II) DE AGUAS CONTAMINADAS

*Data de aceite: 01/08/2023*

### **Ismael Acosta Rodríguez**

Laboratorio de Micología Experimental  
Facultad de Ciencias Químicas  
Universidad Autónoma de San Luis  
Potosí, S.L.P.  
San Luis Potosí, S.L.P., México.  
ORCID: 0000-0001-8620-2727

### **Adriana Rodríguez Pérez**

Universidad Autónoma de San Luis Potosí.  
Centro de Investigación y Extensión  
de la Zona Media. El Balandran. Calle  
Escontría No. 230. Barrio 3, C.P. 79660.  
Cd. Fernández, San Luis Potosí.  
ORCID: 0000-0002-6570-6579

### **Juan Fernando Cárdenas González**

Universidad Autónoma de San Luis  
Potosí. Centro de Investigación y  
Extensión de la Zona Media. El Balandran.  
Calle Escontría No. 230. Barrio 3, C.P.  
79660. Cd. Fernández, San Luis Potosí  
ORCID: 0000-0002-3502-5959

### **Víctor Manuel Martínez Juárez**

Área Académica de Medicina Veterinaria  
y Zootecnia. Instituto de Ciencias  
Agropecuarias. Universidad Autónoma del  
Estado de Hidalgo. Avenida Universidad  
Km. 1 s/n Exhacienda Aquetzalpa, 43600  
Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México.  
ORCID: 0000-0002-7426-6835

### **Dalila del Socorro Contreras Briones**

Laboratorio de Micología Experimental  
Facultad de Ciencias Químicas  
Universidad Autónoma de San Luis  
Potosí, S.L.P.  
San Luis Potosí, S.L.P., México.  
ORCID: 0000-0001-8620-2727

### **Juana Tovar Oviedo**

Laboratorio de Microbiología  
Facultad de Ciencias Químicas  
Universidad Autónoma de San Luis  
Potosí, S.L.P.  
San Luis Potosí, S.L.P., México.

**RESUMEN:** En este trabajo, se analizó la capacidad de remoción de Cobalto (II) en solución acuosa por la biomasa de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) por el método colorimétrico de la Metililsobutilcetona. Se evaluó la bioadsorción a diferentes pH's (4,0, 5,0, 6.5 y 7.5) durante 4 horas. También se estudió el efecto de la temperatura en el intervalo de 28°C hasta 50°C y la remoción a diferentes concentraciones iniciales de Co (II) de 25 a 300 mg/L. La mayor bioadsorción (200 mg/L) fue a las 4 horas, a pH de 6.5 y 28°C. Con respecto a la

temperatura, la más alta remoción fue a los 50°C y 4 horas, con una remoción del 63%. A las concentraciones de metal analizadas, la biomasa natural mostró una buena capacidad de remoción, además de que remueve eficientemente el metal in situ (93% de remoción de aguas contaminadas, a los 7 días de incubación, con 10 g de la biomasa natural en 100 mL), por lo que se puede utilizar para eliminarlo de aguas residuales industriales.

**PALABRAS CLAVE:** Bioadsorción, Cobalto (II), biomasas naturales, cáscara de naranja.

**ABSTRACT:** The objective of this In this work, the Cobalt (II) removal capacity in aqueous solution by the biomass of the orange peel (*Citrus sinensis*) was analyzed by the colorimetric method of Methylisobutylketone. Bioadsorption was evaluated at different pH's (4.0, 5.0, 6.5 and 7.5) for 4 hours. The effect of temperature in the range from 28°C to 50°C and the removal at different initial concentrations of Co (II) of 25 to 300 mg/L were also studied. The highest bioadsorption (200 mg/L) was at 4 hours, at pH 6.5 and 28°C. Regarding temperature, the highest removal was at 50°C at 4 hours, with a removal of 63%. At the metal concentrations analyzed, the natural biomass showed a good removal capacity, in addition, this efficiently removal the metal in situ (93% of contaminated water, at 7 days of incubation, with 10 g of natural biomass in 100 mL), so it can be used to remove it from industrial wastewater.

**KEYWORDS:** Bioadsorption, Cobalt (II), natural biomass, orange peel.

## INTRODUCCIÓN

La naranja es el fruto del naranjo dulce, árbol que pertenece al género *Citrus* de la familia de las rutáceas. Es originaria del sureste de China y norte de Birmania, aunque se la conoce en el área mediterránea desde hace cerca de tres mil años. Desde su lugar de origen, el naranjo se extendió a Japón y a lo largo de la India, llegó a Occidente, por la Ruta de la Seda. Los árabes la introdujeron en el sur de España en el siglo X, aunque el naranjo dulce no fue conocido hasta 1450. A partir de ese momento fue extendiéndose por toda Europa, alcanzando gran popularidad durante la segunda mitad del siglo XV [1]. En México, es una de las frutas que más se consume, y actualmente, al conducir por la Zona Media pueden admirarse las huertas de cítricos a la orilla de la carretera, pues la mancha urbana ha alcanzado las plantaciones. Del total de la producción cítrica del estado, en la Zona Media el 30% se produce en el municipio de Ciudad Fernández, 6% en Rioverde y 5% por ciento en Lagunillas [2, 3]. Su uso más frecuente como jugo nutritivo, especialmente en el desayuno. También se le encuentra en gran cantidad de loncheras escolares, como fruta fresca y golosina para el recreo. En la industria de los alimentos se aprovecha para elaborar mermeladas; aceites y esencias de naranja (que se obtienen de la cáscara del fruto); aromatizantes y saborizantes. Además, es un ingrediente en diversos platillos de la cocina mexicana [4].

La naranja es una fruta de escaso valor calórico, con un buen aporte de fibra soluble (pectinas), que se relacionan con la disminución del colesterol y la glucosa en sangre, y

con el desarrollo de la flora intestinal. También contiene una elevada cantidad de ácido ascórbico o vitamina C (82 mg/naranja) y menos vitamina A, carotenoides con actividad provitamínica A:  $\alpha$  y  $\beta$ -carotenos, y criptoxantina, los cuales se han relacionado en la prevención de distintos tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares [1, 4]. También contiene otros carotenoides sin actividad provitamínica A, como la luteína y la zeaxantina, que están presentes en la retina y el cristalino del ojo, y se asocian inversamente con el riesgo de padecer cataratas y degeneración macular [5]. Además, tiene los ácidos málico y ácido cítrico, el cual es capaz de potenciar la acción de la vitamina C, favorecer la absorción intestinal del calcio, y facilitar la eliminación de residuos tóxicos del organismo, como el ácido úrico [4, 5].

Por otro lado, el gran crecimiento industrial ha producido un aumento progresivo de los vertidos de aguas residuales provenientes de las mismas y, por tanto, un deterioro en la calidad del agua. Las sustancias contaminantes suponen un peligro para la salud tanto humana como medioambiental. Algunas son de origen orgánico, como hidrocarburos y pesticidas, e inorgánico, como los metales pesados, los cuales tienen un papel fundamental por su importancia y potencial peligrosidad [6]. Algunos metales que tienen una gran importancia toxicológica y exotoxicológica son: mercurio, cromo, plomo, cadmio, níquel y cinc, y una vez emitidos al medio ambiente, éstos se acumulan y concentran en el suelo y sedimentos, donde pueden permanecer cientos de años afectando a los ecosistemas. Por lo tanto, resulta más factible controlar el problema desde el origen, la fuente de emisión, antes de que éstos lleguen al medioambiente [6].

En México, la agroindustria es una de las actividades más importantes debido a su crecimiento en los últimos años, y es la que más genera subproductos que no son aprovechados [7], entre los que se encuentran: el bagazo de café, el agave, maguey, caña de azúcar, pajas de distintos cultivos, residuos orgánicos de frutas y verduras [8]. Al respecto, se ha reportado el uso de diferentes productos de plantas con la capacidad de acumular y/o bioadsorber metales pesados, las cuales incluyen: cáscara de naranja [9], hojas de Té verde [10], *Agave lechuguilla* y *Yucca carnerosana* [11], naranja y tuna [12], *Theobroma cacao* [13] y *Persea americana* [14], por lo que el objetivo de este trabajo fue analizar *in vitro* la capacidad de bioadsorción de Cobalto (II) por la biomasa de la cáscara de naranja (*C. sinensis*).

## MATERIAL Y MÉTODOS

La biomasa se obtuvo a partir de la cáscara de naranja (*C. sinensis*), adquirida en el mercado República de la ciudad capital de San Luis Potosí, S.L.P. entre los meses de julio-agosto de 2020. Para la obtención de la biomasa, la cáscara se lavó 24 horas con EDTA al 10% (p/v), y después 72 horas con agua tridesionizada en agitación constante, con cambios del agua cada 12 horas. Posteriormente, se hirvió 1 hora, para eliminar los restos

de materia orgánica, se secó a 80°C, durante 24 horas en horno bacteriológico, se molió en licuadora hasta pulverización y se guardó en frascos ámbar hasta su uso.

Se trabajó con 100 mL de una solución de 200 mg/L de Co (II) obtenida por dilución de una solución patrón de 1 g/L preparada en agua tridesionizada a partir de CdCl<sub>2</sub> (Marca Analit). Se ajustó el pH de la dilución a analizar con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M y/o NaOH 1 M, antes de adicionarla a la biomasa.

La concentración de Cobalto (II) en solución acuosa se determinó por un método colorimétrico utilizando Metilisobutilcetona [15]. Todos los experimentos se realizaron 3 veces y por duplicado.

## RESULTADOS

Inicialmente, se analizó la bioadsorción de 200 mg/L de Cobalto (II), a diferentes tiempos de incubación y a los siguientes valores de pH: 4.0, 5.0, 6.5 y 7.5 encontrando que a pH de 6.5 se remueve un 42% del metal a las 4 horas (Figura 1). La literatura [11], reporta un tiempo de incubación óptimo de 24 horas con una remoción del mismo metal de 93%, 77.5%, y 70.4%, para los hongos *Paecilomyces* sp., *Penicillium* sp. y *Aspergillus niger*, respectivamente [16], para el polvo de hojas de *Cocos nucifera*, que reduce la concentración de Cobalto (II) un 84.82% en 70 minutos [17].

Con respecto a la influencia del pH inicial sobre la eficiencia de remoción se encontró que la mayor actividad se evidenció a pH de 6.5, pues a los 240 minutos se remueve el 42% del metal (Figura 1). Se ha reportado un pH óptimo de 4.0-6.0, 1.0 para la biomasa de Té verde [10], de 5.0 para los hongos *Paecilomyces* sp., *Penicillium* sp. y *A. niger* [16], de 6.0 para la biomasa libre e inmovilizada de la cianobacteria *Spirulina platensis* [18], para el hongo *Paecilomyces catenlannulatus*, en el cual se incrementa la remoción de Co (II), cuando se aumenta el pH de 4.5 to 7.0 [19], para el alga *Hypnea valentiae*, con valor de pH de 6.0 [20], *Pseudomona aeruginosa* SPB-1, en la cual la máxima adsorción de [Co(III)-EDTA] fue a un pH de 7.0 [21], para el polvo de hojas de *C. nucifera*, cuyo pH óptimo fue de 5.0 [17] y para las hojas modificadas de *Ficus carica*, con una remoción de 57.15% a pH de 6.0 [22], Lo cual puede deberse a que el metal se precipita como Co(OH)<sub>2</sub>, y que hay menos competencia entre los grupos H<sup>+</sup> y Co<sup>2+</sup> [23].

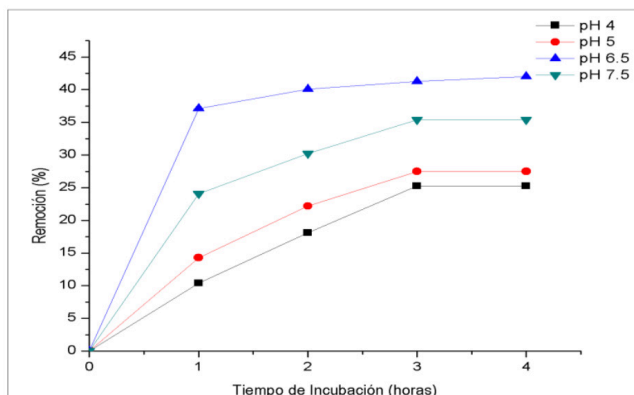


Figura 1. Efecto del tiempo de incubación y del pH inicial sobre la remoción de Cobalto (II) (1.0 g de biomasa, 200 mg/L Cobalto (II), 28°C, 100 rpm).

También, se encontró que a mayor temperatura es mayor la bioadsorción del metal, pues a 50°C y 20°C, se remueve 63% y 36% del metal en solución a los 240 minutos y de incubación, respectivamente (Figura 2), resultados similares a los reportados para los hongos *Paecilomyces* sp., *Penicillium* sp. y *A. niger*, con una adsorción máxima de 100%, 97.1% y 94.1%, respectivamente, a 50°C y 24 horas de incubación [16], para el hongo *P. catenulannulatus*, en el cual se incrementa la remoción de Co (II), cuando se aumenta la temperatura de 20°C a 40°C [19], resultados similares se han reportado para *P. aeruginosa* SPB-1 [21], polvo de hojas de *C. nucifera* [22], y de *Ficus benghalensis* [24], pero son diferentes para lo reportado para el alga *H. valentiae* [20], en la cual se ha reportado que la capacidad de adsorción disminuye de 47.44 a 46.03 mg/L, al aumentar la temperatura de 25°C a 45°C. Por el contrario, el aumento en la capacidad de la biomasa analizada puede atribuirse a la activación de la superficie del adsorbente y al aumento de la difusividad del metal al incrementar la temperatura y la movilidad de los iones metálicos [19, 25].

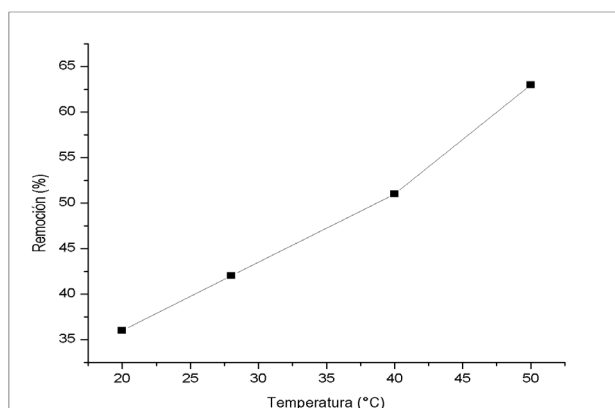


Figura 2. Efecto de la temperatura de incubación sobre la remoción de Cobalto (II) (1.0 g de biomasa, 200 mg/L Cobalto (II), pH 6.5, 100 rpm).

En relación al efecto de diferentes concentraciones de Cobalto (II) en solución, sobre la remoción del mismo, a un pH de 6.5 +/- 0.2, con 1 g de biomasa de cáscara de naranja, a 28°C, y 100 rpm, se encontró que, a mayor concentración del metal, la remoción es mayor, hasta 225 mg/L del metal, elimina el 43% del mismo a los 240 minutos, y a mayores concentraciones, no aumenta la remoción del mismo (Figura 3), lo cual es similar a otros reportes de la literatura, entre los que se encuentran los hongos *Paecilomyces* sp., *Penicillium* sp. y *A. niger* [16], para el polvo de hojas de *C. nucifera*, que reduce la concentración de Cobalto (II) un 84.82% in 70 min at a pH de 5.0 [22], para la paja de arroz y el alga marina *Macrocistis pyrifera*, en las cuales la adsorción del metal aumenta al incrementarse la concentración de este [26, 27], pero son diferentes para lo reportado para el alga *H. valentiae* [20], en la cual se ha reportado que la capacidad de adsorción aumenta al incrementar la concentración inicial de Cobalto (II) de 181 a 600 mg/L, y para las hojas de *Tectona grandis*, obtenido de tierras de cultivo del distrito de Vellore, India [28].

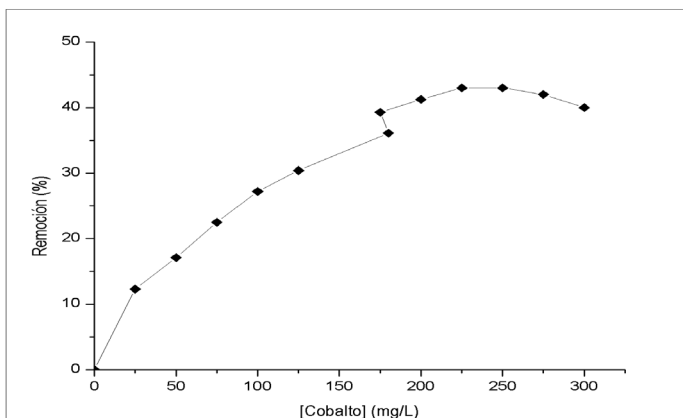


Figura 3. Efecto de diferentes concentraciones de Cobalto (II) sobre la remoción de éste (1.0 g de biomasa, 28°C, pH= 6.5, 100 rpm, 100 rpm).

En la figura 4, se observa el efecto de la concentración de la biomasa sobre la remoción del metal. Si se incrementa la concentración de ésta, se aumenta la eliminación del metal en solución, pues con 10 gramos de biomasa, se remueve el 100% a los 240 minutos, mientras que con 1 g de biomasa se remueve el 42% en el mismo tiempo de incubación, debido a que hay más sitios de unión de este, pues la cantidad de bioadsorbente añadido, determina el número de sitios de unión disponibles para la bioadsorción de Cobalto (II) [17]. Estos resultados son similares a los reportados para algunas biomásas naturales y microorganismos como *P. aeruginosa* SPB-1 [21], para el polvo de hojas de *C. nucifera* [22], para la paja de arroz [26], el alga marina *M. pyrifera* [27] y un compuesto de nanocelulosa/nanobentonita [29]. Pero, son diferentes a lo reportado para biomasa de Té verde (83.5% de remoción con 0.25 de biomasa [10].

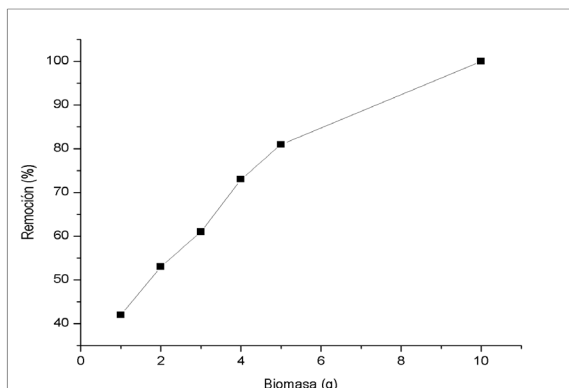


Figura 4. Efecto de diferentes concentraciones de biomasa sobre la remoción de Cobalto (II) (200 mg/L, 28°C, pH= 6.5, 100 rpm).

Con objeto de analizar el posible uso de la biomasa para eliminar Cobalto (II) de desechos industriales, se adaptó un ensayo de biorremediación en solución acuosa, incubando 10 gramos de la biomasa natural con aguas residuales contaminadas con 50 mg/L de Cobalto (II) (ajustado), a 28°C y 100 rpm (muestras obtenidas de una laguna de desechos industriales “Tanque Tenorio”, localizada al oeste de la Ciudad de San Luis Potosí) [30, 31, 32], observando que después de 7 días de incubación se remueve el 93% de la concentración inicial del metal de la muestra de agua contaminada, (Figura 5), lo cual coincide con algunos reportes de la literatura con diferentes biomazas y microorganismos en la remoción del mismo metal como: los hongos *Paecilomyces* sp., *Penicillium* sp. y *A. niger* [16], la acumulación de Cobre y Cobalto por *Eichhornia crassipes* [33], la bioremediación de aguas contaminadas con diferentes metales pesados con las biomazas de la cáscara de naranja amarga verde (*Citrus aurantium*), kumquat (*Citrus japonica*) y semilla de uva palomino fino (*Vitis vinifera* “Palomino”) [34] y la bioadsorción de diferentes metales pesados por el hongo *A. niger* [35].

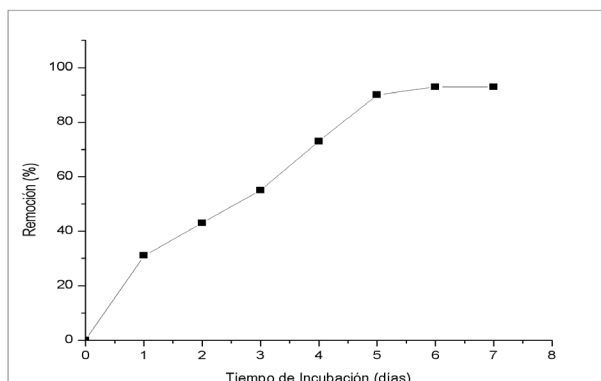


Figura 5. Biorremediación de Cobalto (II) por la biomasa de cáscara de naranja a partir de agua contaminada (100 mL) con 50 mg de Cobalto (II/L, (ajustado). 10 g de biomasa, 28°C, 100 rpm).

Los datos obtenidos demuestran que esta biomasa tiene la capacidad para remover Cobalto en solución, lo cual coincide con algunos reportes de la literatura, utilizando la misma biomasa para la remoción de diferentes contaminantes, como la remoción de cromo (VI) [9], cadmio, zinc, cobalto y níquel [36].

## CONCLUSIONES

La biomasa de la cáscara de naranja mostro una buena capacidad para bioabsorber 200 mg/L de Co (II) en solución, después de 240 minutos de incubación, a 28°C, una agitación constante de 100 rpm con 1 g de biomasa; por otro lado, la biomasa puede remover eficientemente el metal *in situ* (93% de remoción, con 7 días de incubación, 10 g de biomasa, en agua contaminada con el metal. Estos resultados sugieren la potencial aplicabilidad esta biomasa para la remediación de lugares contaminados con dicho metal.

## REFERENCIAS

1. O. Moreiras Tuni, A. Carajal, Cabrera Forneiro, L. y Cuadrado Vives C. Tablas de Composición de los Alimentos. Guía Práctica. S.A. Ed. Pirámide. España. (2013).
2. Centro de Investigación Regional Noreste. INIFAP. [www.inifapcirne.gob.mx](http://www.inifapcirne.gob.mx). (2017)
3. S. Rivera-López, A. Perales-Salvador, M. Del Valle-Sánchez, I. Caamal-Cauich. Panorama de la producción y comercialización de naranja en México. 13 (7): 9-14 (2020).
4. C.L. Hernández Hernández, y G. Galindo Mendoza. Breve Historia de la citricultura en la zona media potosina. Universitarios Potosinos. 241: 18-23 (2019).
5. S. del Pozo de la Calle, J.M. Ávila Torres, E. Ruiz Moreno, T. Valero, G. G. Varela Moreiras. Valor natural de las naranjas y clementinas. Fundación Española de la Nutrición (FEN). 1-12 (2012).
6. M.I. Díaz-de Alba, J.A. Gestos-Trojas, M.D. Granado-Castro, M.D. Galindo-Riaño, M.J. Casanueva-Marengo. Potencial uso de residuos agroalimentarios en la eliminación de metales contaminantes para la mejora del medioambiente. XLI Jornadas de Viticultura y Enología de la Tierra de Barros. I Congreso Agroalimentario de Extremadura. 367-385 (2019).
7. V.I. Valdez, B.J. Acevedo, B.J. y S.C. Hernández. Distribution and potential of bioenergy resources from agricultural activities in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 2147-2153 (2010).
8. J. M. Sánchez-Silva, R.R. González-Estrada, F.J. Blancas-Benitez y A. Fonseca-Cantabrana. Utilización de subproductos agroindustriales para la bioadsorción de metales pesados. *TIP Rev. Esp. en Ciencias Quim-Biol*. 23: 1-18 (2020).
9. I. Acosta-Rodríguez, H.M. González Sánchez, M.G. Moctezuma-Zárate, J.F. Cárdenas González y V. M. Martínez Juárez. Remoción de Cromo (VI) en solución por la biomasa de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* Osbeck). Tlatemoani. *Rev. Acad. de Inv. UASLP*. 9:1-17 (2012).



10. D. Imessaoudene, N. Bensacia, y F. Chenoufi. Removal of cobalt(II) from aqueous solution by spent green tealeaves. *J. of Radioanal. Nuc. Chem.* 324: 1245–1253 (2020).
11. N.A. Medellín-Castillo, M.G. Hernández-Ramírez, J.J. Salazar-Rábago, G.J. Labrada-Delgado y A. Aragón-Piña. Bioadsorción de Plomo (II) presente en solución acuosa sobre residuos de fibras naturales procedentes de la industria ixtlera *Agave lechuguilla* Torr. y *Yucca carnerosana* (Trel.). *Rev. Int. Cont. Amb.*33 (2): 269-280 (2017).
12. L. Vizcaíno Mendoza, N. Fuentes Molina. Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretartada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina.* 25 (1): 43–60 (2015).
13. D.L. Ajifack, J.N. Ghogomu, T.D. Noufame, J. N. Ndi y J. M. Ketcha. Adsorption of Cu (II) Ions from Aqueous Solution onto Chemically Prepared Activated Carbon from *Theobroma cacao*. *British J. of Appl. Science & Technol.* 4(36): 5021-5044 (2014).
14. V. Hernández López, M.M. Nájera Pérez, J.F. Cárdenas González, V.M. Martínez Juárez e I. Acosta Rodríguez. Utilidad de la cáscara de aguacate (*Persea americana*) para la eliminación de Cromo (VI) de aguas contaminadas. *Transver. Cient. Tecnol.* 4 (1): 110-117 (2020).
15. G. Charlot. *Colorimetric Determination of Elements*, Elsevier Publishing Company-Amsterdam-London-New York, New York, NY, USA, 12th edition, 1964.
16. J.F. Cárdenas González, A.S. Rodríguez Pérez, J.M. Vargas Morales, V.M. Martínez Juárez, I. Acosta Rodríguez, M. Michel Cuello, G. Gallegos Fonseca, M.E. Escalera Chávez, y A. Muñoz Morales. Biosorption of Cobalt (II) from aqueous solutions by fungal biomasses. *Bioinor. Chem. Appl.* Volume 2019. Article ID 8757149, 8 pages.
17. D. Hymavathi y G. Prabhakar. Optimization, equilibrium, and kinetic studies of adsorptive removal of cobalt(II) from aqueous solutions using *Cocos nucifera* L. *Chem. Engin. Comm.* 204 (9): 1094–1104 (2017).
18. R. Vannela y S. K. Verma.  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , and  $\text{Zn}^{2+}$  accumulation by *Cyanobacterium Spirulina platensis*. *Biotechnol. Prog.* 22 (5): 1282–1293 (2006).
19. F. Li, Z. Gao, X. Li, and L. Fang. The effect of environmental factors on the uptake of  $^{60}\text{Co}$  by *Paecilomyces catenlannulatus*. *J. Radioanal. Nuc. Chem.* 299 (3): 1281–1286 (2013).
20. L. Vafajoo, R. Cheraghi, R. Dabbagh, y G. McKay. Removal of cobalt (II) ions from aqueous solutions utilizing the pre-treated *2-Hypnea Valentiae* algae: equilibrium, thermodynamic, and dynamic studies. *Chem. Eng. J.* 331, 39–47 (2018).
21. A. Paraneeswaran, S. K. Shukla, T. Subba Rao y K. Prashanth. Removal of toxic Co-EDTA complex by ahalophilic solar-salt-pan isolate *Pseudomonas aeruginosa* SPB-1. *Chemosphere*, 95: 503–510 (2014).
22. R. Dabbagh, Z.A. Moghaddam y H. Ghafourian. Removal of cobalt(II) ion from water by adsorption using intact and modified *Ficus carica* leaves as low-cost natural sorbent. *Des. Water Treat.* 57 (42): 9890-19902 (2016).
23. M. Kapahi y S. Sachdeva, Bioremediation options for heavy metals. *J. health & Poll.* 9(24): 1-20 (2019).

24. D. Hymavathi y G. Prabhakar. Studies on the removal of Cobalt(II) from aqueous solutions by adsorption with *Ficus benghalensis* leaf powder through response surface methodology. Chem. Eng. Comm. 204 (12): 1401–1411 (2017).
25. L. Dusengemungu, G. Kasali, C. Gwanama y K. O. Ouma. Recent advances in biosorption of copper and cobalt by filamentous fungi. Frontiers in Microbiol. 11: 1-16. 2020.
26. A.A. Swelam, M.B. Awad, A.M.A. Salem y A.S. El-Feky. Biosorption of cobalt(II) ions from aqueous solution using rice straw and its modification. J. Scien. Eng. Res. 4 (1):121–129 (2017).
27. M. Rabanal Atalaya. Estudio de la biosorción de Co(II) por el alga marina *Macrocystis pyryfera*. Tesis Profesional. Químico. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. (2006).
28. S. Vilvanathan and S. Shanthakumar. Column adsorption studies on nickel and cobalt removal from aqueous solution using native and biochar form of *Tectona grandis*. Environ. Progress & Sustain. Energy. 36 (4): 1030–1038 (2017).
29. T.S. Anirudhan, J. Deepa y J. Christa. Nanocellulose/nanobentonite composite anchored with multi-carboxyl functional groups as an adsorbent for the effective removal of Cobalt(II) from nuclear industry wastewater samples. J. Colloid Interface Science. 467: 307–320 (2016).
30. B. López Álvarez. Cambios de uso de suelo y su impacto en el sistema acuífero del valle de San Luis Potosí, aplicando modelación numérica. Tesis Doctoral En Ciencias Ambientales. Instituto Potosino de Ciencia y Tecnología, San Luis Potosí, SLP, México, 2012.
31. Comité Técnico del Agua Subterránea (COTAS). Estudio técnico respecto a las condiciones geohidrológicas y sociales del acuífero 2411 “San Luis Potosí” en el Estado de San Luis Potosí: San Luis Potosí. Reporte, 74: Comité Técnico de Agua Subterránea del Acuífero del Valle de San Luis Potosí, Comité Técnico del Agua Subterránea (COTAS), Rio Verde, San Luis Potosí, 2005.
32. Norma Oficial Mexicana Nom-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, Estados Unidos Mexicanos Secretaría de Salud, Norma Oficial Mexicana Nom-127-SSA1-1994, México, 1994.
33. S. Leenu y D. Sheela. Impact of Co and Cu (heavy metals) on *Eichhornia crassipes* (Mart) solms, with special reference to bioaccumulation and phytoremediation. Asian J. of Science and Technol. 7 (05): 2996-2998 (2016).
34. L. Sánchez Ponce. Aplicación de residuos vegetales en el tratamiento de aguas contaminadas por metales. Trabajo de Fin de Grado en Química. Facultad de Ciencias. Universidad de Cadiz. España (2018).
35. M Flores Rivera, N. Pacheco Castillo, J. Cárdenas González, M.G. Moctezuma Zarate, V. Martínez Juárez, A. Rodríguez Pérez e I. Acosta Rodríguez. Bioadsorción de Diferentes Metales Pesados por el Hongo *Aspergillus niger*. Actas Inageq. 25: 167-180 (2019).
36. X. Li, Y. Tang, X. Cao, D. Lu, F. Lou y W. Shao. 2008. Preparation and evaluation of orange peel cellulose adsorbents for effective removal of cadmium, zinc, cobalt and nickel. Colloids and Surfaces. 317: 512-521 (2008).