

Aprovechamiento de las cáscaras de la naranja como bioabsorbente para el tratamiento de efluentes industriales

Use of orange shells as a bioabsorbent for the wastewater treatment

Kennet Pardo¹, Karen Cogley¹, Alejandra Cisneros¹, Stephanie De Gracia¹, Alexis Tejedor De León^{2*}

¹Licenciatura en Ingeniería Industrial – Centro Regional de Veraguas – Universidad Tecnológica de Panamá,

²Departamento de Materiales y Metalurgia – Centro Regional de Veraguas – Universidad Tecnológica de Panamá

Resumen Este proyecto elaborado en la asignatura Ciencia de los Materiales, tuvo como objetivo fundamental aprovechar las cáscaras de la naranja, tanto en su forma natural como en la forma activada, para utilizarlas como sustratos en la absorción de poluentes disueltos en efluentes sintéticos. Las muestras utilizadas en los ensayos de bioabsorción, pasaron por diferentes operaciones unitarias: obtención de las cáscaras, secado, molienda, tamizado y carbonización térmica. Los ensayos fueron realizados para la remoción de pigmentos y sales disueltas en un efluente artificial, simulando este ser proveniente de una industria textil. Resultados preliminares indican que, tanto los sustratos de la biomasa seca, como aquél de su forma activada, no presentan diferencias significativas, al menos desde una perspectiva visual, es decir, que ambos sustratos remueven el pigmento disuelto en el efluente tratado, con ellos. Sin embargo, en lo que a la conductividad, a la salinidad y el pH del efluente, aquél tratado con la biomasa, presentó mejores niveles de remoción que el tratado con su forma activada. Lo anterior permite concluir, aunque de manera preliminar, que la cáscara de naranja al natural y de forma pulverizada, es mejor precursor como bioabsorbente para la remoción de pigmentos y sales disueltas en efluentes sintéticos, por lo que se hace necesario realizar más experiencias para corroborar lo anteriormente expuesto.

Palabras claves Cáscara de naranja, efluentes industriales, carbón activado, biomasa.

Abstract This project, developed in the course Materials Science, had as its main objective to take advantage of orange peels, both in their natural form and in the activated form, to be used as substrates in the absorption of dissolved pollutants in synthetic effluents. The samples used in the bioabsorption tests underwent different unit operations: obtaining the shells, drying, milling, sieving and thermal carbonization. The tests were carried out for the removal of pigments and dissolved salts in an artificial effluent, simulating this one coming from a textile industry. Preliminary results indicate that both the substrates of the dry biomass and that of their activated form do not present significant differences, at least from a visual perspective, ie, that both substrates remove the pigment dissolved in the treated effluent with them. However, as regards the conductivity, salinity and pH of the effluent, that treated with the biomass, presented better levels of removal than the treated with its activated form. This allows concluding, although in a preliminary way, that the orange peel naturally and in a pulverized form, is a better precursor as a bioabsorbent for the removal of pigments and dissolved salts in synthetic effluents, so it is necessary to do more experiments to corroborate above.

Keywords Orange shells, wastewater, activated carbon, biomass.

* Corresponding author: alexis.tejedor@utp.ac.pa

1. Introducción

Se calcula que en el mundo se producen 38,2 millones de toneladas de cáscaras naranja al año, desechos que con gran volumen y casi sin utilidades en la actualidad.

Las mismas pueden ser aprovechadas para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados y residuos orgánicos, o para la alimentación en granjas acuícolas [1].

Gracias a un tratamiento de descompresión instantánea controlada, es posible modificar la estructura de estos residuos, otorgándoles propiedades adsorbentes como mayor porosidad y mayor área superficial [2].

El investigador Luis Alberto Romero Cano, del Grupo de Investigación en Materiales de Carbón de la Facultad de Ciencias de la UGR, explica que, mediante un tratamiento químico posterior han conseguido "añadir grupos funcionales

al material y volverlo selectivo para remover contaminantes orgánicos y metales presentes en el agua".

Un estudio posterior de estos investigadores ha demostrado que es posible empacar estos nuevos materiales en columnas de lecho fijo, de forma similar a un filtro por el cual se hace pasar el agua contaminada en un proceso con un flujo continuo, tal como se realizan los tratamientos de aguas residuales.

El tratamiento de aguas residuales de origen industrial incluye el mecanismo y proceso usado para tratar aguas residuales que han sido contaminadas por algún medio por actividades de origen antropogénico industrial o comercial y luego son liberadas al medio ambiente o reutilizadas.

Entre una de las técnicas para la depuración de aguas residuales en diferentes sectores de actividad industrial, se menciona la bioadsorción como un proceso de adsorción que consiste en la captación de diversas especies químicas por una biomasa, ya sea viva o muerta, a través de mecanismos fisicoquímicos [3 -4].

En el desarrollo de este proyecto de investigación se aborda la bioadsorción, principalmente de pigmentos disueltos en medios acuoso, como alternativa de solución utilizando un subproducto agroindustrial, es decir la cáscara de naranja como precursor de bajo costo y de fácil consecución.

2. Materiales y métodos

En los párrafos a continuación se describen los procedimientos utilizados, desde la obtención de la materia prima, su activación a los estudios de bioadsorción.

2.1 Materia prima y preparación de la biomasa

En los ensayos se utilizaron cáscaras de naranja, como las que se muestran en la figura 1.



Figura 1. Obtención de la materia prima.

2.1.1 Secado

Una vez seleccionadas las cáscaras de naranja se llevó a cabo el tratamiento preliminar de la muestra, el cual consistió en un lavado sucesivo con agua de la red pública.

Posterior a la limpieza se procedió a su secado en una estufa residencial, tratando de mantener la temperatura en un rango de 50 – 60 °C, como se observa en la figura 2.



Figura 2. Muestras de cáscaras secas.

2.1.2 Molienda

Terminada la fase de secado, se procedió a la reducción del tamaño de las cáscaras, mediante operaciones unitarias de molienda, obteniéndose un polvo homogéneo como se observa en la figura 3.



Figura 3. Muestras de cáscaras secas pulverizadas.

2.1.3 Lavado

Una vez obtenida la biomasa se procedió a su lavado, primero con agua corriente a temperatura ambiente, pero posteriormente con agua caliente, como se muestra en la figura 4.



Figura 4. Imagen del lavado de la biomasa.

El lavado se hizo necesario, por el hecho de que se observó que las cáscaras pulverizadas al contacto con un medio acuoso liberaban su pigmentación propia, lo que a nuestro entender podría interferir en los ensayos posteriores de bioadsorción.

2.2 Activación de la biomasa

Se seleccionó una cantidad de la biomasa para carbonizarla, sometiéndola a altas temperaturas hasta convertirla en carbón. En medio de la carbonización, mientras que estaba sometido a altas temperaturas se roció con agua el carbón para activarlo de forma física (térmicamente), como se muestra en la figura 5.



Figura 5. Muestra de biomasa carbonizada y de su activación térmica.

2.3 Materiales y reactivos

Para los ensayos de bioadsorción con efluentes sintéticos, se utilizó como pigmento, azul de metileno de pureza conocida. El equipo de bioadsorción estuvo constituido por vidriaría química y un equipo portátil multipámetro para determinar parámetros físico químicos elementales.

El procedimiento experimental para llevar a cabo los ensayos de adsorción se realizó mediante procesos en discontinuo a temperatura ambiente y pH natural, como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Sistema de filtración utilizado en los ensayos de bioadsorción.

El sólido adsorbente, tanto la biomasa natural como la activada, se pesaron y se introdujeron en un recipiente de vidrio, para posteriormente introducir el efluente a tratar, tratando de simular un sistema de filtración por gravedad.

El tiempo de filtración se controló mediante la abertura del recipiente, ver figura 7.



Figura 7. Sistema de filtración utilizado en los ensayos de bioadsorción.

El porcentaje de remoción para los parámetros analizados, se calculó mediante la utilización de la siguiente fórmula:

$$\{ \% R \}_e = [C_i - C_f / C_i] \{ * 100 \}_e \quad (1)$$

Donde,

% R = Porcentaje de remoción

C_i = Concentración inicial del parámetro

C_f = Concentración final del parámetro en cuestión

Los instrumentos de laboratorio utilizados fueron un medidor multiparámetro marca Horiba, Water Checher U-10.

3. Resultados y discusión

El pigmento natural de la biomasa, tanto en su forma natural como en la forma activada es de un color naranja, que lo desprende al contacto con el medio acuoso. Por tal razón se seleccionó un pigmento de otra tonalidad, i.e azul de metileno como pigmento a ser removido del efluente sintético.

En los ensayos preliminares de adsorción, también se utilizó otro precursor como referencia, y se realizaron ensayos de remoción utilizando carbón activado comercial.

Los resultados se presentan en la tabla 1 a continuación:

Tabla 1. Utilización de carbón activado comercial

Parámetro	Tratamiento con carbón comercial		
	Antes	Después	% Remoción
Oxígeno (mg/L)	0.00	0.00	0
Salinidad (%)	0.26	0.24	7.69
pH	7.86	6.74	14.25
Conductividad (mS/s)	4.99	4.72	5.41

Al realizar las pruebas de laboratorio, encontramos algunos detalles que no tomamos en cuenta, debido a que desconocíamos la alta pigmentación natural de la biomasa tanto en su forma natural como en la forma de carbón activado, como se mencionó con anterioridad.

Una vez detectado esto, se procedió a realizar un intenso lavado con el propio filtro armado, añadiendo agua a distintas temperaturas consecutivamente hasta, eliminar lo más que se pudo la pigmentación propia de las cáscaras.

Se debe resaltar que no se pudo eliminar por completo la pigmentación natural de la biomasa obtenida, sin embargo, eso no fue inconveniente para utilizarlas como precursores para el tratamiento de efluentes industriales. En la figura 8 se presenta una imagen en la cual se puede observar, en el centro un recipiente con el efluente a tratar, y en los extremos el mismo efluente tratado, con la biomasa activada y con la biomasa en su estado natural.



Figura 8. Muestra de efluente sin tratar y tratado con las biomasa de las cáscaras de la naranja.

Para comprender mejor el proceso de adsorción utilizando la biomasa tanto en su estado natural como activada se realizaron pruebas preliminares, cuyos resultados se presentan en las tablas 2 y 3 a continuación.

Tabla 2. Utilización de carbón activado prelavado a partir de la biomasa, estudios preliminares

Parámetro	Tratamiento con carbón comercial		
	Antes	Después	% Remoción
Oxígeno (mg/L)	0.06	0.06	0
Salinidad (%)	0.386	0.32	15.79
pH	7.01	6.52	6.99
Conductividad (mS/s)	7.06	6.08	13.88

Tabla 3. Utilización de biomasa natural prelavada, estudios preliminares

Parámetro	Tratamiento con carbón comercial		
	Antes	Después	% Remoción
Oxígeno (mg/L)	0.06	0.06	0
Salinidad (%)	0.386	0.35	7.89
pH	7.01	6.53	6.85
Conductividad (mS/s)	7.06	6.45	8.64

De las tablas anteriores se puede observar que cada uno de los tres precursores ensayados se comporta de manera diferente. Por ejemplo, si se compara el carbón activado comercial con el carbón activado obtenido por la carbonización térmica de las cáscaras de naranja, prácticamente se comportan de igual forma, sin embargo, mejores remociones en la salinidad fueron obtenidos con el carbón activado obtenido de la cáscara de naranja.

3.1 Ensayos finales

En las tablas 4 y 5 se presentan los resultados de los parámetros monitoreados en el tratamiento de efluente

sintético con la biomasa natural y la activada, después de haber sido lavadas en caliente.

Tabla 4. Utilización de carbón activado lavado a partir de la biomasa

Parámetro	Tratamiento con carbón comercial		
	Antes	Después	% Remoción
Oxígeno (mg/L)	0.05	0.03	40
Salinidad (%)	0.93	0.73	21.50
pH	6.74	9.0	-33.53
Conductividad (mS/s)	16.0	12.8	20

Tabla 5. Utilización de biomasa natural avada

Parámetro	Tratamiento con carbón comercial		
	Antes	Después	% Remoción
Oxígeno (mg/L)	0.05	0.05	0
Salinidad (%)	0.93	0.71	23.65
pH	6.74	7.65	-13.50
Conductividad (mS/s)	16.0	12.3	23.12

Como se puede observar en las tablas anteriores, el único de los cuatro parámetros monitoreados, el pH del efluente tratado se vio modificado por medio de la filtración con los precursores utilizados, es decir se observó un aumento en el pH final del efluente, lo que nos lleva a pensar de que tanto la biomasa natural como su forma de carbón activado, probablemente liberaron algún compuesto ácido durante la bioadsorción.

Ensayos de monitoreo del agua poslavado se realizaron con la finalidad de verificar si en efecto, la biomasa, cuando de su lavado modificaba el pH del medio. En este sentido, se controló el pH por cada litro de agua utilizado y se observó que éste se mantuvo en el rango entre 6.40 y 7.26.

Lo anterior, nos lleva a suponer que cuando de los mecanismos de absorción, se da alguna “especie” de intercambios entre los sitios activos de las partículas de biomasa y el poluyente absorbido, provocando con ello la modificación el pH del efluente.

Para verificar si en efecto, se hace necesario el proceso de lavado en los precursores, se procedió a su comparación y los resultados se presentan en las figuras 9 y 10 a continuación.

Como se puede observar en las figuras, el efecto de un lavado más intenso para remover la coloración natural de la biomasa, sea está en su estado natural, como en su forma de carbón activado, si se hace necesario para poder utilizarlas como precursoras en procesos de bioadsorción.

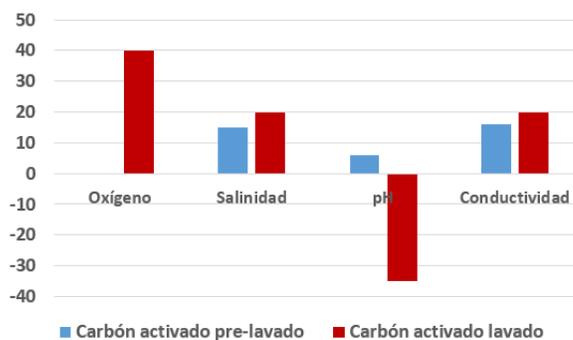


Figura 9. Gráfica de columnas, de las remociones en los parámetros estudiados con la utilización del carbón activado prelavado y el lavado.

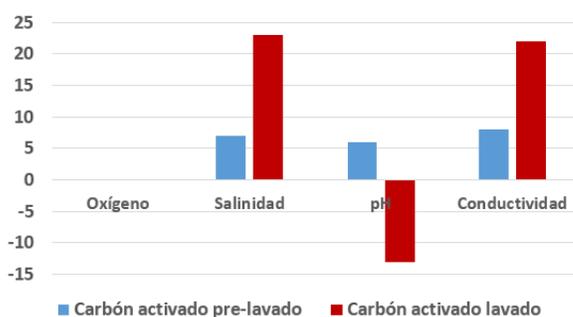


Figura 10. Gráfica de columnas, de las remociones en los parámetros estudiados con la utilización de la biomasa natural pre lavada y lavada.

Al final de los ensayos se puede decir, basado en las observaciones que, tanto la biomasa natural como su forma de carbón activado, fueron efectivas para la remoción de pigmento en el efluente sintético tratado.

Sin embargo, durante los estudios preliminares algunos parámetros, especialmente la conductividad del agua es removida con mayor efectividad con el uso de la biomasa en su estado natural que con el carbón activado. No obstante, cuando comparado este precursor obtenido con su congénere comercial, el primero superó con gran diferencia las remociones del carbón comercial en cuanto a conductividad y salinidad, se refiere.

En contraparte, al tratar el efluente sintético con la biomasa, esta presentó índices de remoción similar a los del carbón activado comercial, lo que indica que sin un gran tratamiento esta materia orgánica es capaz de competir o superar al comercial, por lo que se requieren mayores estudios al respecto.

Como se mencionó con anterioridad, se observó que el pH aumento en los tres filtros su remoción fue mayor en el carbón activado comercial. Cabe resaltar que en estas pruebas preliminares no se lavó eficientemente la biomasa en su estado natural y carbón activado.

Antes de realizar nuestras pruebas finales procedimos a lavar con gran esfuerzo la biomasa en ambos estados: natural y carbón activado, lo que provocó aun mayor eficiencia en los

filtros de la biomasa en ambos estados; siendo el pH lo que más llamó nuestra atención.

El carbón activado de biomasa removió 20% de oxígeno lo que en ensayos anteriores no se conseguía. Inesperadamente la biomasa natural superó aún el filtro de su forma activada, lo que es aún más satisfactorio ya que con un menor esfuerzo y tratamiento se pueden conseguir mayores resultados con esta materia orgánica en su estado natural.

El pH ahora modificó y se volvió más básico o alcalino, modificándose aún más en el filtro de carbón activado de biomasa.

Destacamos, por último, nuestra observación con mayor visibilidad, de que fue efectiva la remoción del azul de metileno disuelto en el efluente a tratar, con los dos precursores utilizados: biomasa natural y su forma de carbón activado.

4. Conclusión

Para poder utilizar la cáscara de naranja como precursor para la remoción de pigmentos disueltos en agua, se hace necesaria una etapa de lavado para que “libere” su pigmentación natural (color marrón) y pueda disponer de una superficie libre y con mayor eficiencia de remoción, como se demostró con los resultados.

Los resultados obtenidos indican que la biomasa, tanto en su forma natural como la de carbón activado son eficientes en la remoción de contaminantes en los efluentes industriales, especialmente en la remoción de pigmentos.

La literatura recomienda, como se mencionó anteriormente que mediante un tratamiento químico posterior se puede añadir grupos funcionales para volver selectivo la cáscara de naranja a ciertos contaminantes, sin embargo recomendamos que su transformación a carbón activado no es la manera más eficiente para lograr este objetivo.

Lo anterior pone de evidencia, que de acuerdo a los resultados obtenidos, la biomasa en su estado natural pareciera ser más eficiente que su forma activada para el tratamiento de efluentes industriales.

En la actualidad con la alta contaminación del medio ambiente y la abrumadora cantidad de flora y fauna que se ven afectados consecuencia de la alta contaminación de los efluentes industriales además de los recursos hídricos que se ven afectados y de alguna u otra forma llegan a nuestros hogares, sería un aporte muy significativo al cuidado del medio ambiente el aprovechamiento de material orgánico el cual no daña al ambiente, en este caso las cáscaras de naranjas, tomando en cuenta los altos porcentajes obtenidos en la remoción de contaminantes y los millones de toneladas que se pierden anualmente. Por ello creemos que su correcto uso y aprovechamiento puede brindar mejoras en el equilibrio medioambiental.

RECONOCIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional de Veraguas por facilitarnos los equipos necesarios (equipo portátil multiparámetros) y el Laboratorio de Química para la realización de las experiencias desarrolladas.

REFERENCIAS

- [1] [1] Álvarez, M. M., Hernández, J. G., Rovero, R., Tablante, A., & Rangel, L. (2000). Alimentación de tilapia con raciones parciales de cáscara de naranja. *Journal of Food*, 3(1), 29-33.
- [2] [2] Gil-Horán, R. H., Domínguez-Espinosa, R. M., & Pacho-Carrillo, J. D. (2008). Bioproducción de ácido láctico a partir de residuos de cáscara de naranja: Procesos de separación y purificación. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 23(2).
- [3] Pinzón-Bedoya M. L., & Vera Villamirzar, L. E. (2009). Modelamiento de la cinética de bioadsorción de Cr (III) usando cáscara de naranja. *Dyna*, 76(160), 95-106.
- [4] Tapia, N. J., Muñoz, J. C., Torres, F., & Yarango, A. (2003). Biosorción de Pb (II) por cáscara de naranja, Citrus cinesis, modificada. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 6(2), 39-44.