

# **FILTROS HÍBRIDOS UNA ALTERNATIVA PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN EN AGUAS RESIDUALES**

Fernanda Itzel González-Moreno

Lilia Berenice Orozco-Solorio

Mireya del Socorro Ovando Rocha

Felipe Caballero-Briones



## **HYBRID FILTERS AS ALTERNATIVE TO REDUCE POLLUTION IN WASTEWATER**

### **FILTROS HÍBRIDOS UNA ALTERNATIVA PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN EN AGUAS RESIDUALES**

Fernanda Itzel González-Moreno<sup>1\*</sup>, Lilia Berenice Orozco-Solorio<sup>2</sup>, Mireya del Socorro Ovando-Rocha<sup>1</sup>, Felipe Caballero-Briones<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica de Altamira, Blvd de los Ríos Km. 3+100, Puerto Industrial, C.P.89603, Altamira, Tamaulipas, México.

<sup>2</sup> Mexichem Compuestos SA de CV, Km. 4.5 Autopista Altamira S/N, Nuevo Puerto Industrial, C.P. 89603, Altamira, Tamaulipas, México

<sup>3</sup>Instituto Politécnico Nacional, Materiales para Energía, Salud y Medioambiente (GESMAT), CICATA Altamira, Km 14.5 Carretera Tampico-Puerto Industrial Altamira, C.P. 89603, Altamira, Tamaulipas, México.

**\*E-mail: fergonzalez200026@gmail.com**

#### **ABSTRACT**

In the present contribution, the description of a project on the elaboration of hybrid filters based on poly(vinyl chloride) (PVC), graphene oxide (GO) and cellulose, performed in CICATA Altamira is presented. Cellulose is the most abundant organic compound on Earth and it is present in the plants and their residues, that's why the project proposes the use of spent coffee grounds, as source of cellulose. A description of the different types of filtration, the properties of cellulose, its obtaining from spent coffee grounds is done, as well as the characteristics of three types of compounds as possible filtering media, i.e. PVC/GO, PVC/cellulose and GO/cellulose. Finally, the use of a PVC/GO/Cellulose composite is proposed for a hybrid filter for wastewater treatment, to give an added value to the spent coffee residues.

**Keywords:** Cellulose, coffee grounds, extraction, filter, filtration.

*Fecha de aceptación: Junio 18, 2020.*



## RESUMEN

En este trabajo se presenta la descripción de un proyecto que se realiza en CICATA Altamira sobre la elaboración de filtros híbridos a partir de un policloruro de vinilo (PVC), óxido de grafeno (GO) y celulosa, el compuesto orgánico más abundante de la tierra y presente en todas las plantas y sus residuos. El proyecto que se propone consiste en extraer la celulosa a partir de la borra de café, el residuo proveniente de la extracción de la bebida aromática, una de las más consumidas en el mundo. Se hace una descripción de los diferentes tipos de filtración, de las propiedades de la celulosa, de su obtención a partir de la borra de café y se revisan las características de tres tipos de compositos: PVC/GO, PVC/celulosa y GO/celulosa, respecto a su aplicación en filtros y se hace la propuesta de un filtro híbrido a base de PVC/GO/celulosa para el tratamiento de aguas residuales y poder darle un valor agregado a un residuo tan abundante como la borra de café.

**Palabras clave:** borra de café, celulosa, extracción, filtro, filtración.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua afecta a todos los seres vivos que coexistimos en este planeta y conforme crece este tipo de contaminación nuestra esperanza de vida disminuye, por ser un recurso no renovable. Recordemos que, de toda el agua de la Tierra, solo un 0.007% de las aguas dulces se encuentran disponibles para uso humano. La descarga de aguas residuales sin tratar provoca la contaminación y disminuye la calidad de los cuerpos de agua provocando una situación de riesgo a la salud de la población y de los ecosistemas, como esquematiza la Figura 1 [1].



**Figura 1.** Contaminación del agua.

Para mitigar la contaminación en agua, hay que llevar a cabo diversos procedimientos como la sedimentación, coagulación, filtración, etc., dependiendo el tipo de contaminante que estemos tratando. Adicionalmente, se han desarrollado

métodos para reducir contaminantes presentes en menores concentraciones que los tratamientos convencionales no pueden, o para usos especiales domésticos, industriales o militares por mencionar algunos. Uno de estos métodos es el uso de filtros híbridos.

## **Primero que nada...¿Qué es la filtración?**

La filtración es un mecanismo o dispositivo para separar una sustancia suspendida en un fluido. Puede usarse tanto para separar contaminantes o recuperar materiales de valor agregado, tales como minerales, productos químicos o alimentos [2].

Con la filtración es posible remover partículas, utilizando un filtro de acuerdo con el tamaño de la partícula a tratar. De acuerdo al tamaño de la partícula a remover, la filtración se puede resumir de esta forma:

*Filtración gruesa o cribado:* separación de objetos que podemos observar a simple vista; *Microfiltración:* permite separar tamaños de partículas de 0.1  $\mu\text{m}$ -10  $\mu\text{m}$ , como sólidos en suspensión, partículas finas, coloides, algas y microorganismos como bacterias; *Ultrafiltración,* en la que se retienen virus, proteínas y macromoléculas grandes, de entre 0.01 y 0.1  $\mu\text{m}$ ; *Nanofiltración,* se la que se retienen partículas con

un tamaño de 0.01  $\mu\text{m}$ -0.001  $\mu\text{m}$ , como iones multivalentes y macromoléculas pequeñas; y la *Ósmosis inversa,* que podría ser considerada como un método de filtración, al separarse del agua los iones de sodio y cloro, por ejemplo, del agua de mar, aunque con las membranas de ósmosis inversa el rechazo de solutos no ocurre mediante filtración, sino que el mecanismo de transporte característico es el de disolución-difusión a través de la membrana [3].

## **Filtros**

Un medio de filtración es cualquier material permeable a uno o varios compuestos de una mezcla, solución o suspensión, e impermeable a los demás componentes [4]. Un filtro coordina diversas propiedades, como el tamaño y distribución de los poros (rectos o tortuosos), sus características químicas como la resistencia a solventes, ácidos y álcalis, su resistencia mecánica y su humectabilidad. Los filtros y membranas para el tratamiento de aguas se gradúan de acuerdo al rechazo de contaminantes por su tamaño, como se explicó antes, y a la permeabilidad que tienen hacia el agua pura, o sea el flujo de agua por unidad de área, corregido a la presión de trabajo requerida. La cantidad y variedad de materiales para elaborar filtros van desde placas metálicas con poros visibles al ojo humano, hasta membranas con poros microscópicos y desde

láminas de tela tejida hasta lechos de arena. Los medios filtrantes pueden estar elaborados de cualquier material permeable a un determinado fluido e impermeable a la sustancia que se desea retener o desechar, incluyendo: minerales, carbonos, vidrio, metales, óxidos metálicos y otros materiales cerámicos cocidos, fibras orgánicas naturales y sintéticas, y material laminar sintético [4].

Existen también los llamados filtros híbridos, que además de tener la capacidad de realizar la separación debido al tamaño y distribución de los poros, combinan materiales orgánicos con cerámicos, pueden tener las superficies de los poros funcionalizadas, incluir adsorbentes para darles la función adicional de retener ciertas sustancias por afinidad química, dándoles una mayor selectividad por la afinidad que tengan con los contaminantes presentes.

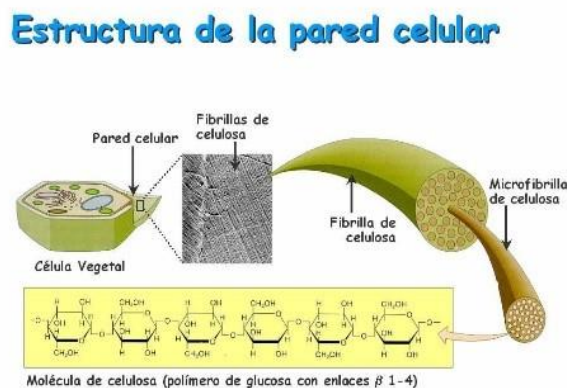
Algunos ejemplos de filtros híbridos y sus aplicaciones incluyen, un filtro de nanofibras de poliacrilonitrilo (PAN) con nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  (PAN/ $\text{TiO}_2$ ). Los resultados demuestran que al añadir  $\text{TiO}_2$  la eficiencia de filtración de este filtro nano-fibroso se incrementa para partículas del orden de 0.1-0.5  $\mu\text{m}$ , probablemente debido a la carga electrostática de las partículas añadidas [5]. Otro ejemplo reportado, es la construcción de Filtros de nanofibra de celulosa nanocristalina

funcionalizada con (2,2,6,6-tetrametilpiperidin-1-il) oxil (TEMPO), (TEMPO-CNF), en la cual, el grupo  $\text{C6 OH}$  se oxida a un grupo carboxílico. Estas membranas modificadas tienen una gran afinidad con metales pesados [6]. Otra funcionalización que se ha reportado, por ejemplo, para adsorción de bacterias por interacción electrostática, es la impregnación de sustratos porosos como fibras poliméricas electrohiladas de polietilén tereftalato (PET) u otros polímeros con nanocelulosa [6].

Recientemente, en CICATA Altamira se desarrolló un filtro híbrido de un compuesto de poli (cloruro de vinilo) (PVC) con óxido de grafeno (GO) y diversos aditivos [7]. Este filtro, además de la retención de sólidos, retiene colorantes, aceites y algunos metales pesados, divalentes y trivalentes en aguas contaminadas. Su función híbrida se debe a que presenta un tamaño de poro del orden micrométrico dado por los aditivos inertes y a que el grafeno tiene afinidad con sustancias orgánicas por su esqueleto de carbono y con iones debido a sus grupos funcionales. Sin embargo, este filtro presenta una baja permeabilidad por lo que requieren una presión de operación del orden de 80 MPa, por lo que en el proyecto en marcha el objetivo es mejorar estos filtros agregando nanocelulosa.

## ¿Qué es la celulosa?

La celulosa es el compuesto orgánico natural más abundante en la Tierra. Su estructura en la pared celular de las plantas se presenta en la Figura 2.



**Figura 2.** Estructura de la celulosa.

Es el componente esencial de la pared de las células vegetales en todo tipo de plantas, madera y fibras naturales, y se encuentra combinada, regularmente, con sustancias como la lignina, hemicelulosas (carbohidratos más cortos), pectinas y ácidos grasos [8]. La celulosa tiene propiedades físicas interesantes, por ejemplo, es higroscópica pero insoluble en álcalis y ácidos débiles; no se descompone en solventes orgánicos; puede hilarse y tejerse al formar fibras largas y gruesas; su tenacidad, su resistencia a la elongación, son considerables, puede modificarse químicamente para formar acetato de celulosa que es una fibra impermeable al agua pero con

propiedades mecánicas similares y al hacerse compósitos de celulosa se pueden obtener estructuras ligeras pero muy resistentes. Estas propiedades hacen de la celulosa un material versátil y de amplio uso en medios filtrantes.

## ¿Por qué utilizar el café como fuente de celulosa?

El café es una de las bebidas más apreciadas en el mundo. El consumo en promedio por persona de café en México es de 1600 kgs anuales. Para producir la bebida que se consume y que todos llamamos café, se utiliza solo el 9.5% del peso del grano del café, siendo el 90.5% restante los residuos (borra del café) que nos interesan.

## Por eso... ¿Qué es la borra del café?

La borra del café es el residuo orgánico que proviene del grano de café ya molido, tostado y procesado para consumo donde el café ha sido extraído. Este residuo puede ser utilizado para producir biocombustibles, para el cultivo de hongos comestibles, como combustible en calderas, etc. En la composición de la borra de café se encuentran minerales, aceites y un 57%-71% de fibra, constituida de celulosa, que a su vez está envuelta por una corriente continua de lignina, pectinas y hemicelulosas [10].

Para realizar la extracción de la celulosa existen varios métodos, pero el más usado a nivel industrial es el llamado método a la sosa, que consiste en tratar la materia prima con hidróxido de sodio (NaOH) para eliminar ceras, pectinas y resinas, operación seguida por el blanqueo, o sea, una hidrólisis ácida con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> que elimina las ligninas. Luego se lleva a cabo una cloración con NaClO<sub>2</sub> con el que se obtiene la holocelulosa. Finalmente se realizan varios lavados, una segunda extracción en NaOH, un último blanqueo en NaClO<sub>2</sub> y lavados en agua, reposo y secado, con el que las fibras de celulosa se separan en las fibrillas de celulosa [11].

Tomando esto en cuenta **¿qué ocurre en los compósitos de celulosa con el óxido de grafeno, o con PVC?**

**Compósitos de GO/Celulosa:** se obtienen materiales muy flexibles ya que el GO se impregna en las fibras de celulosa. Estos materiales se han utilizado para la remoción de Cerio III en líquidos iónicos [12]. También existe un gran resultado al hablar de filtro de membranas compuestas de GO/Celulosa (llamados Filtros CGCM), ya que se estima pueden lograr eficientemente y de manera simultánea el tratamiento de aguas residuales y la separación por adsorción [13].

**Compuestos de PVC/Celulosa:** Se ha reportado que el agregar la celulosa al PVC se reducen las propiedades mecánicas a comparación del puro PVC [16], además de presentar una descomposición térmica más rápida [17].

**Entonces, ¿Qué se espera de un filtro híbrido de PVC/GO/Celulosa?**

- Un filtro con mayor permeabilidad que reduzca la presión de operación, y que esté situado en un punto medio entre la alta rigidez y la alta flexibilidad, con la reducción de precio por usarse PVC, uno de los polímeros más baratos del mercado.

- Que mantenga la funcionalidad del GO como adsorbente de metales pesados, colorantes, aceites y otros compuestos orgánicos en aguas residuales.

- Que de valor agregado a un residuo abundante como la borra de café

## REFERENCIAS

[1] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Agua-Calidad: Aguas Residuales, [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_resumen14/06\\_agua/6\\_2\\_3.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_2_3.html). Consultado: Mayo 26, 2020.

[2] I. Hutten, Handbook of nonwoven filter media. Elsevier Science & Technology Books, 2007.

[3] Asociación Española de Desalación y Reutilización, Diferencias entre microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa, <https://aedyr.com/diferencias-microfiltracion->

ultrafiltracion-nanofiltracion-osmosis-inversa.

Consultado: Jun. 11, 2020.

[4] D. Purchas and K. Shutterland, Handbook of Filter Media. Elsevier Science, 2002.

[5] D. Cho, A. Naydich, M. Frey and J. Joo, "Further improvement of air filtration efficiency of cellulose filters coated with nanofibers via inclusion of electrostatically active nanoparticles", Polymer 54 (2013) 2364-2372.

[6] A. Mautner, "Nanocellulose water treatment membranes and filters: a review", Polym Int 69 (2020) 741-751.

[7] L. Orozco, "PVC modificado con óxido de grafeno para la fabricación de membranas para filtrado de aguas", Tesis de Maestría (2020), CICATA-IPN Unidad Altamira. Altamira, Tamps.

[8] A. Sanz, Tecnología de la celulosa. La industria papelera, <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php>. Consultado: Jun. 14, 2020.

[9] International Coffee Organization, Promoción y desarrollo del mercado, [http://www.ico.org/es/promotion\\_c.asp?section=Qu%E9\\_hacemos](http://www.ico.org/es/promotion_c.asp?section=Qu%E9_hacemos). Consultado: Jun. 15, 2020.

[10] A. García, L. Riaño, "Extracción de Celulosa a partir de la Borra de Café", Cenicafe 50 (1999) 205-214.

[11] S. Salgado, G. Bolio, S. Córdova, L. Lagunes, R. Falconi and L. Veleza, "Métodos para Extraer Celulosa de la Paja de Caña de Azúcar (Saccharum spp.)", AgroProductividad 10 (2017) 54-59.

[12] Y. Hao, Y. Cui, J. Peng, N. Zhao, S. Li and M. Zhai, "Preparation of graphene oxide/cellulose composites in ionic liquid for Ce (III) removal", Carbohydrate Polymers 208 (2019) 269-275.

[13] S. Tian, J. Guo, C. Zhao, Z. Peng, C. Gong, L. Yu, X. Liu, and J. Zhang, "Preparation of Cellulose/Graphene Oxide Composite Membranes and Their Application in Removing Organic Contaminants

in Wastewater", Journal of Nanoscience and Nanotechnology 19 (2019) 2147-2153.

[14] H. Kaczmarek, K. Bajer and A. Podgórski, "Properties of Poly(vinyl chloride) Modified by Cellulose", Polymer Journal, vol. 37, no. 5, pp. 340-349, 2005.

[15] M. Ghozali and A. Haryono, "Effect of Size of Cellulose Particle as Filler in the PVC Biocomposites on Their Thermal and Mechanical Properties", Materials Science Forum 737 (2019) 67-73.