

Proceso de adsorción con carbón activado para la remoción de compuestos orgánicos de agua clarificada tratada para consumo humano

POR ALMA YURIDIA LÓPEZ REYES



Equipo de jarras para las pruebas preliminares de coagulación-floculación

Determinar los principales parámetros de operación del proceso de adsorción con carbón activado, para la remoción de los compuestos orgánicos presentes en el agua clarificada de la Planta Potabilizadora Madín (PPMD) es el objetivo de la presente investigación desarrollada en la coordinación de ingeniería ambiental bajo la dirección de la doctora Rosa Ma Ramírez Zamora.

Dentro del Valle de México, la presa Madín es uno de los pocos aprovechamientos de aguas superficiales para abastecimiento de agua potable. La cuenca de esta presa abarca un área de 105 km², localizándose en el Estado de México, en la zona oeste de la cuenca del valle de México, delimitada por las coordenadas geográficas: 19° 33' Y 19° 29'

latitud norte; 99° 33' Y 99° 15' de longitud oeste. Los límites políticos la ubican dentro del Estado de México, ocupando parte de los municipios de Jilotzingo, Atizapán de Zaragoza y Naucalpan.

La presa Madin, inaugurada en 1980, tiene una capacidad límite de 25 millones de m³, aunque sólo almacena 13 millones, previendo la necesidad de almacenar cantidades mayores de agua. Parte del volumen almacenado (540 a 600 L/s) se procede a potabilizar para ser distribuido a la red municipal de aguas, la cual abastece de agua potable a la zona conurbada del Estado de México, principalmente a los municipios de Atizapán de Zaragoza, Naucalpan y Tlalnepantla.

La presa Madín, como otros cuerpos de agua, puede contener diversos compuestos, de origen natural y antropogénico. Dentro de estos dos tipos de compuestos se incluyen aquellos que causan (olor y sabor, sustancias químicas orgánicas sintéticas, plaguicidas, herbicidas, compuestos asociados a color) precursores de trihalometanos, partículas coloidales, así como materia orgánica natural; buena parte de estos compuestos son tóxicos, y deben ser removidos del agua a potabilizar (Tomaszewska *et al.*, 2004). La remoción de compuestos orgánicos es fundamental debido a la posible formación de productos carcinogénicos.

Debido a que el agua de la presa Madín se emplea para consumo humano, es de suma importancia tener una buena calidad del agua; sin embargo, ésta se encuentra deteriorada presentando altos valores de color y turbiedad, parámetros que pueden estar asociados a los compuestos orgánicos presentes en el agua de la presa. Los límites permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 son de 20 UTN (Unidades de Turbiedad Nefelométricas) para turbiedad y 5 U Pt-Co (Unidades Platino-Cobalto) para color respectivamente, por tanto, los procesos fisicoquímicos convencionales (coagulación, floculación, sedimentación y filtración sobre arena) instalados en la Planta Potabilizadora Madín deben alcanzar la calidad requerida por esta norma; cabe mencionar que debido a los altos valores de turbiedad y de color que se presentan en época de lluvias, en el agua de la presa Madín, el flujo normal de operación de la PPMD (600 L/s) es reducido para poder entregar agua potable que cumpla con los estándares de esos dos parámetros establecidos en la norma previamente mencionada (CONAGUA, 2008).

Debido a lo anterior, se requiere de la aplicación de algún proceso efectivo que opere bajo condiciones óptimas para remover de manera eficiente esos dos parámetros. Dentro de los procesos más eficientes para remover compuestos orgánicos se tiene el proceso de adsorción con carbón activado (Cook *et al.*, 2001; Tomaszewska *et al.*, 2004; MWH, 2005; Schreiber *et al.*, 2005).

El carbón activado se utiliza desde hace mucho tiempo en la potabilización del agua. Hasta hace unas décadas, su objetivo era la remoción de olor y sabor. Actualmente, el carbón activado ya no sólo se aplica con los fines anteriores, sino con el propósito de retener los compuestos orgánicos y sintéticos más dañinos que se han encontrado en la mayor parte de las fuentes de agua potable (MWH, 2005; Sharp *et al.*, 2006). De manera general, los factores que influyen en el proceso de adsorción con carbón activado son: las características fisicoquímicas del adsorbente (área superficial, estructura porosa, granulometría, composición química, dureza), las características del adsorbato (estructura molecular, masa molecular, grupos funcionales, solubilidad, ionización) y finalmente las características de la fase (pH, temperatura, mineralización, MON).

PLANTA POTABILIZADORA MADÍN

La presa cuenta con la Planta Potabilizadora Madín que opera la Comisión Nacional del Agua, el tren de potabilización del agua superficial de la presa Madín, que se muestra en la Figura 1, se constituye de los procesos de coagulación-floculación, sedimentación, filtración rápida por arena y desinfección con cloro (PYCORSÁ, 1980; National Academy of Sciences, 1955)

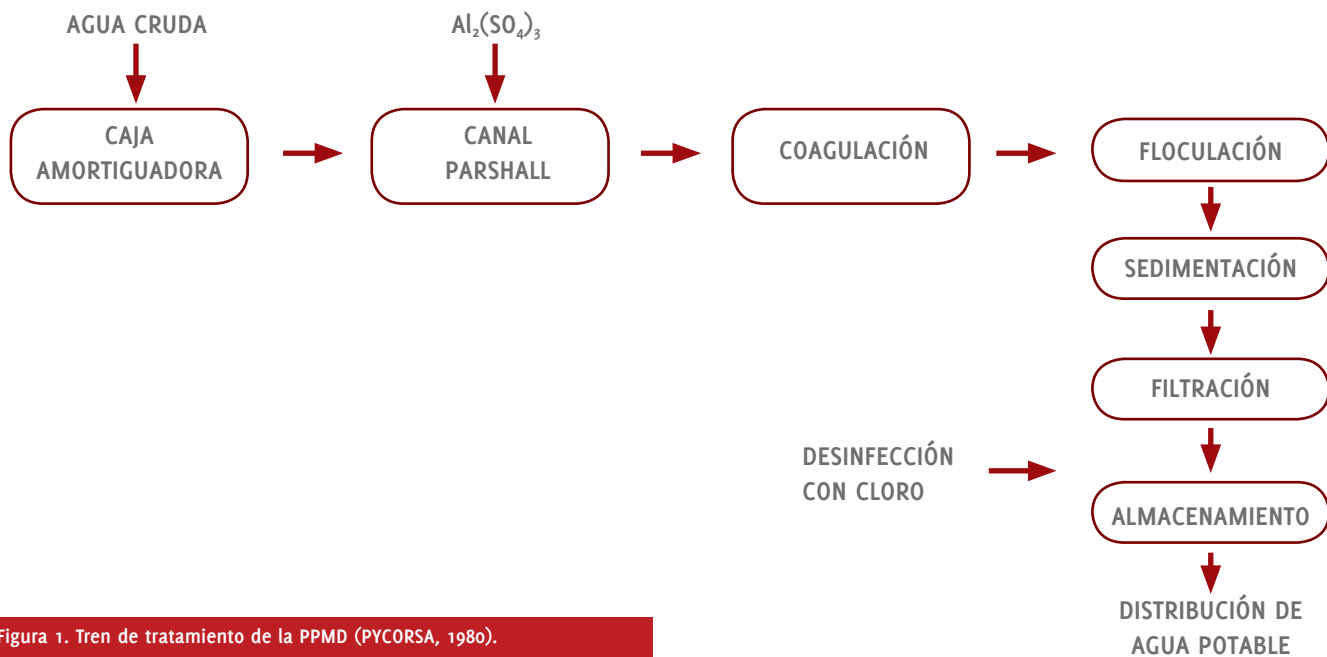


Figura 1. Tren de tratamiento de la PPMD (PYCORSÁ, 1980).

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En el desarrollo de esta investigación se realizaron pruebas de clarificación (coagulación-floculación-sedimentación), de filtración sobre arena, de adsorción con carbón activado y de cinéticas de adsorción.

En la clarificación se realizaron pruebas de jarras, aplicando la combinación de coagulante-floculante compuesta por una poliamina de alto peso molecular y otra de bajo peso molecular, las cuales fueron seleccionadas con base en los resultados de un estudio anterior que evaluó 78 combinaciones de ambos tipos de reactivos. En las pruebas de coagulación-floculación se utilizó un equipo de prueba de jarras para determinar la dosis de reactivos. Para generar el volumen suficiente del influente al proceso de adsorción se usó un reactor de coagulación-floculación-sedimentación con capacidad de 100 Litros, dotado con una paleta de agitación de velocidad variable. Este sistema cuenta además con un dispositivo para regular la velocidad de mezclado. Los gradientes de velocidad utilizados durante las pruebas y el tiempo de sedimentación se señalan en la Tabla 1.

Tiempo (m's'')	Velocidades.de agitación (rpm)
10''	300
6'20''	88
7'00''	67
8'15''	50

Tabla 1 Tiempos y rpm de agitación en las pruebas de jarras

FILTRACIÓN SOBRE ARENA

Se simuló una filtración en medio granular ya que es el tipo de filtración que opera en la PPM. Por ello se utilizó este sistema para simular la etapa de filtración sobre arena, el cual consistió en tres embudos de filtración interconectados por la parte inferior a un matraz *Kitasato*, el paso del agua por el filtro se realizó por vacío sobre una membrana de 40 micras de diámetro de poro.

PRUEBAS DE ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO

A continuación se describe el sistema y la técnica experimental de las pruebas de cinéticas de adsorción realizadas.

CINÉTICAS DE ADSORCIÓN

Las cinéticas de adsorción se realizaron en un reactor discontinuo (*batch*), con el efluente obtenido al final de la etapa de filtración, precedido por la etapa de coagulación-floculación. Se utilizaron 3 tipos de carbón activado: carbón

mineral lignítico, de cáscara de coco y mineral bituminoso. Para cada carbón activado las condiciones evaluadas fueron: dosis de 5 y 40 mg/L, pH 5.5 y 8.5, dando en total 12 cinéticas de adsorción, que se efectuaron por duplicado dando así 24 experimentos. Cada experimento consistió en poner 500 mL de agua, con sus respectivas combinaciones de tipo de carbón, dosis y pH. Las mezclas carbón-aqua clarificada se sometieron a agitación a 210 rpm para favorecer el contacto del carbón activado con las moléculas por adsorber. Las pruebas se realizaron en un reactor cerrado para evitar evaporación de la fase líquida. Se colectaron muestras de 30 mL a diferentes intervalos de tiempo hasta que ya no se observó disminución en la concentración de compuestos orgánicos medidos como carbono orgánico disuelto (COD), color real, absorbancias UV a 254 y 272 nm.

Para ajustar el pH del agua a un valor de 5.5 se utilizó una solución de ácido clorhídrico (HCl) 0.1 N, mientras que para acondicionar a 8.5 se utilizó una solución de hidróxido de sodio (NaOH) de concentración igual a 0.01 N.

TÉCNICAS ANALÍTICAS

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS

Antes y después de cada etapa se hicieron lecturas de parámetros fisicoquímicos como color real, UV_{254} , UV_{272} y COD.



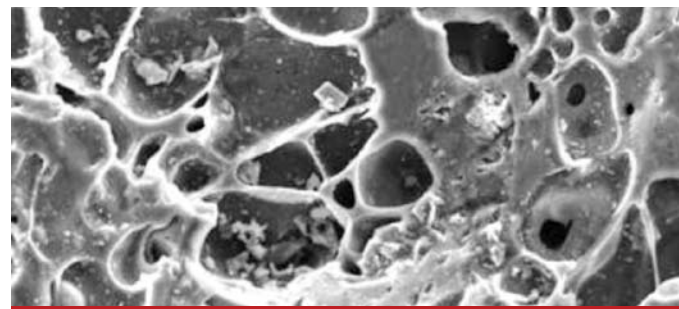
Toma de muestras en la Planta Potabilizadora Madín

Para realizar estas lecturas, las muestras previamente fueron filtradas sobre membranas *Milipore* de nitrocelulosa, de diámetro de 2.5 cm y con tamaño de poro de 0.45 μm , para posteriormente llevar a cabo las mediciones de dichos parámetros.

La determinación de los parámetros fisicoquímicos se llevó a cabo en el laboratorio del Instituto de Ingeniería de la UNAM de acuerdo a los procedimientos empleados y recomendados en el *Standard Methods for Analysis of Water and Wastewater* (APHA et al., 2005).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se determinaron los principales parámetros de operación del proceso de adsorción con carbón activado, para la remoción de los compuestos orgánicos presentes en el agua clarificada PPMD, mediante pruebas de cinéticas de adsorción realizadas en reactor discontinuo (*batch*), evaluando la influencia del tipo de carbón, dosis y pH. Se observó que el parámetro que influyó más en la eficiencia del proceso fue el pH; este comportamiento puede deberse a que la carga en la superficie del carbón activado es positiva, mientras que los compuestos orgánicos disueltos a pH de 5.5 mantienen una carga negativa, lo que origina que el proceso de adsorción sea más eficiente bajo estas condiciones.



Micrografía de carbón activado

De acuerdo a los resultados de las pruebas realizadas, se establece que las condiciones óptimas del proceso de adsorción son: dosis de 5 mg/L de carbón activado de origen mineral (CAGR-B) a pH de 5.5. Con una capacidad de adsorción de 416.67 mg de COD por g de carbón activado y un tiempo de equilibrio de 9 h. El color real final al que llegó el carbón CAGR-B fue 3 (U Pt-Co), por lo cual cumple con los requerimientos de la NOM-127-SSA1-1994, y con el nivel de color necesario para el agua de la Planta Potabilizadora Madín.

De los tres modelos cinéticos evaluados, el modelo de pseudo-segundo orden se ajustó mejor a los datos experimentales de carbono orgánico disuelto, lo que indica que una adsorción química de compuestos orgánicos se está llevando a cabo.

Con base en los resultados obtenidos en este estudio, se recomienda profundizar en el proceso de adsorción mediante la realización de isotermas de adsorción, aplicando un diseño experimental. Además se recomienda realizar pruebas de adsorción para el agua de la Planta Potabilizadora Madín a nivel piloto utilizando el carbón activado mineral lignítico (CAGR-B) a pH de 5.5 y un tamaño de partícula de 0.0513 cm, que es el tamaño recomendado para columnas empacadas.

Para la aplicación del proceso de adsorción en columnas a nivel piloto, se calculó mediante un programa de computadora desarrollada por el grupo de investigación "Procesos fisicoquímicos avanzados de transferencia de masa para el tratamiento y aprovechamiento de agua y residuos" que el área total de adsorción es de 52 m^2 dividida en tres columnas rectangulares, con una altura total de 3.88 m, un tiempo de saturación del lecho de adsorción de 24.5 días para tratar un flujo de agua de 0.6 m^3/s , que es el flujo que maneja la Planta Potabilizadora Madín.

Con esta investigación, realizada bajo la dirección de la doctora Rosa María Ramírez Zamora, Alma Yuridia López Reyes obtuvo mención honorífica en su examen profesional el pasado 5 de marzo. 🏆

