



**FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.**

LICENCIA CREATIVE COMMONS: Atribución no comercial 2.5 Colombia (CC BY-NC- 2.5).

AÑO DE ELABORACIÓN: 2019

TÍTULO: Optimización de un sistema de filtración con nanomateriales para la mejora de los índices de calidad del agua

AUTOR (ES): García Linarez, Cristian Camilo y Gonzalez Escobar, Anyi Carolina.

DIRECTOR(ES)/ASESOR(ES): Marimón Bolivar, Wilfredo

MODALIDAD: Trabajo de investigación.

PÁGINAS: 78 **TABLAS:** 26 **CUADROS:** 0 **FIGURAS:** 7 **ANEXOS:** 2

CONTENIDO:

RESUMEN

1. GENERALIDADES
2. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS
3. CONCLUSIONES
4. RECOMENDACIONES
5. BIBLIOGRAFIA
6. ANEXOS

DESCRIPCIÓN: El trabajo de investigación presenta la reducción de los parámetros fisicoquímicos que determinan la calidad del agua comparando los resultados obtenidos en la filtración mediante el carbón activado estándar y modificado con nanopartículas magnéticas para dos muestras de agua, agua lluvia y agua contaminada (correspondiente a el agua que reposa en el desarenador del laboratorio de Pavimentos de la Universidad Católica de Colombia).



METODOLOGÍA:

Obtención de las muestras de agua

Las muestras de agua utilizadas en esta investigación fueron dos tipos de agua:

- Agua lluvia, obtenida de la reserva de agua lluvia con la que cuenta la Universidad Católica de Colombia.
- Agua contaminada, obtenida de laboratorio de pavimentos de la Universidad Católica de Colombia, el cual cuenta con un desarenador donde reposa el agua que se utiliza en los laboratorios.

Caracterización del carbón activado

- **Síntesis del carbón activado**

La impregnación del carbón activado granular con las nanopartículas magnéticas, se basó en la modificación de una técnica utilizada por coeprecipitación llamada metodología verde. Para este procedimiento se añadió 75 ml de FeCl_3 (0.1 mol/L) y 11 gramos de carbón activado a un vaso precipitado de 100 ml mediante agitación mecánica a 75 °C. Al alcanzar esta temperatura se adiciono gota a gota 20 ml de una solución acuosa de L-Glutation de concentración 0.214 mol/L en el vaso precipitado con un valor de pH ajustado a la solución mezclada a > 8.5 . La mezcla se llevó a una temperatura $85 \pm 5^\circ\text{C}$ manteniendo la reacción durante una hora. Al final de este período, las nanopartículas se separaron por aplicación de campo magnético y después se lavaron varias veces con agua desionizada y alcohol, para posteriormente secarlas a 60°C durante 12 horas.

- **Caracterización**

Las características de la muestra de carbón activado impregnado de nanopartículas magnéticas se determinaron mediante diferentes ensayos, en donde las características del área de superficie específica y de la estructura de poro de los adsorbentes se obtuvieron por adsorción/desorción de N_2 a la temperatura del nitrógeno líquido (77 K) usando un analizador de área de superficie. Las propiedades magnéticas del material se estudiaron mediante medidas de magnetómetro de muestra vibratoria (VSM Lakeshore, Modelo 665) a una temperatura de 300K y con mediciones de magnetización en función del campo aplicado en un rango entre -30 kOe a 30 kOe. Los grupos funcionales expuestos en la superficie del material y que fueron los responsables de la remoción de contaminantes, se determinaron mediante espectroscopia infrarroja



por transformada de Fourier en un equipo *SHIMADZU IR Prestige21 FTIR Spectrometer*. Los tamaños físicos de las partículas se midieron a través de microscopia electrónica de barrido SEM en un *CARL ZEISS MODELO EVO-HD-MA-15*. La caracterización cristalográfica se realizó a través de un análisis de difracción de rayos x en un PROYECTO *X'PERT PRO MPD PANalytical*, donde el material obtenido se sometió a bombardeo con rayos x emitidos de un ánodo de Cu con longitud de onda 1.54 Å en un rango de 10° - 90° con tamaño de paso de 0.026 y un tiempo de paso de 20 s.

CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA

- **Condiciones iniciales de las muestras de agua**

Se determinaron los parámetros fisicoquímicos para cada muestra de agua en su condición inicial con ayuda de un Multi-parámetro, en este equipo se midieron los parámetros como pH, resistividad, sólidos suspendidos, salinidad y temperatura, por el contrario, el color, turbiedad, alcalinidad y sólidos totales se determinaron con una técnica diferente. El parámetro de color se midió mediante un espectrofotómetro HACH DR2800, el parámetro de turbiedad mediante un turbidímetro de mesa HACH 2100N y los sólidos totales mediante la diferencia de pesos de la muestra, es decir, a una capsula de porcelana se le tomo su peso inicial mediante una balanza, se agregaron 80 ml de muestra de agua a esta capsula, después en una mufla eléctrica se evaporo la muestra a sequedad, se dejó secar la capsula en un desecador para así volver a tomar el peso de la capsula para determinar la diferencia de pesos, el valor de sólidos totales se obtuvo mediante la relación de diferencia de pesos y el volumen utilizado.

- **Condiciones de las muestras de agua después del proceso de coagulación-floculación.**

Se realizó el laboratorio de test de jarras para lograr el proceso de coagulación-floculación, para ello se agregaron 600 ml de las muestras de agua en seis (6) vasos precipitados, donde tres de ellos contenían agua lluvia y los restantes agua contaminada, a estos se le añadieron diferentes concentraciones de 50 ml, 32.4 y 20 ml del reactivo Policloruro de Aluminio el cual actuó como coagulante. Durante un minuto en un agitador mecánico se mezcló a 100 rpm la muestra de agua con el coagulante. Finalmente, se dejó trabajando el agitador mecánico durante 20 minutos a 20 rpm, estas muestras se dejaron reposando durante 45 minutos para la sedimentación del floc. Después de la sedimentación de los floc se midió la



turbiedad en cada recipiente para la muestra de agua lluvia y agua contaminada, esto para determinar el menor valor de turbiedad obtenido con la coagulación-floculación a las diferentes concentraciones. La muestra de agua con menor valor de turbiedad fue la utilizada para el proceso de filtración a la cual se le midieron los parámetros fisicoquímicos.

- **Condiciones de la muestra después de la filtración por el carbón activado granular**

La filtración por el carbón activado granular se realizó tomando un volumen determinado de cada muestra de agua, estas muestras de agua se filtraron por medio de una columna la cual contenía 500 g de carbón activado granular, con anterioridad se dejó este material durante 12 horas en agua destilada para eliminar cualquier porcentaje de partículas de suciedad que generará cambios en los resultados.

- **Condiciones de la muestra de agua después de la filtración por el carbón activado impregnado con nanopartículas magnéticas.**

La filtración por el carbón activado impregnado con nanopartículas magnéticas se realizó de igual manera que la filtración por el carbón activado granular, es decir, se dejó el material durante 12 horas en agua destilada para eliminar cualquier porcentaje de suciedad, posteriormente en la columna se añadieron 500 g de carbón activado impregnado con nanopartículas, se filtró un volumen determinado de cada muestra de agua por separado, a este efluente resultante se le determinaron los parámetros fisicoquímicos como pH, conductividad, resistividad, salinidad, temperatura, sólidos suspendidos, color, turbiedad y sólidos totales mediante las técnicas anteriormente nombradas.

- **Índice de calidad del agua**

El índice de calidad de agua para cada muestra, es decir, agua lluvia y contaminada, se determinó con las mediciones realizadas de los parámetros fisicoquímicos obtenidos después de la filtración tanto por el carbón activado granular y el carbón activado impregnado con nanopartículas. El índice de calidad de agua se halló mediante la ecuación:



$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Los factores de normalización y valores de importancia se asumieron teniendo en cuenta entre que rango se obtuvieron los parámetros y qué importancia tiene cada uno para esta investigación.

PALABRAS CLAVE: NANOTECNOLOGIA, NANOPARTICULAS MAGNETICAS, CARBON ACTIVADO, INDICE DE CALIDAD DE AGUA, FILTRACIÓN, SINTETIZACION .

CONCLUSIONES:

1. En la caracterización de las muestras de agua se pudo observar que los parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua lluvia en su condición inicial fueron óptimos, aun así, se realizaron los demás procesos con el fin de comparar la eficiencia de la nanotecnología en los tratamientos de agua y determinar qué tanto se puede mejorar esta muestra de agua. Por el contrario, para el agua contaminada se observó que los parámetros fisicoquímicos excedieron los óptimos y visiblemente no es un agua segura.
2. Se logró realizar la sintetización de las nanopartículas con carbón activado mediante el método de síntesis verde, es decir, un método más ecológico a los convencionales, lo cual determinó el tamaño de las nanopartículas magnéticas de 60nm con remanencia de magnetización igual cero.
3. Mediante la caracterización del carbón activado con nanopartículas magnéticas se logró comprobar que este material tiene magnetización de 20 emu/g, asimismo mediante el ensayo XRD se comprobó que las nanopartículas corresponden a las magnéticas de acuerdo a la gráfica obtenida puesto que arrojó los picos y valores correspondientes a la gráfica estandarizada para este compuesto.
4. Los ensayos que determinaron las características del carbón activado lograron comprobar que la impregnación con las nanopartículas fue óptima, debido a que esto asegura que las nanopartículas magnéticas con el carbón activado siempre estarán impregnadas y no se tendrá el riesgo de desprendimiento de ellas en el momento de realizar la filtración., de igual manera estos ensayos



permitieron determinar que grupos funcionales actuaron ya que estos fueron los responsables de la reducción de los parámetros.

5. De acuerdo a los resultados obtenidos durante el desarrollo de los ensayos para la caracterización de cada muestra de agua, se analizó la eficacia de implementar la nanotecnología en procesos de filtración. En este proceso se observó que el filtro con carbón activado sintetizado con nanopartículas tuvo mayor porcentaje de retención para cada parámetro, lo cual determino que este filtro es más efectivo, por ende, garantiza un mejor proceso para el tratamiento de aguas. Aunque los resultados de los parámetros fisicoquímicos de cada agua después de la filtración por el carbón activado con nanopartículas fueron óptimos según los valores máximos admisibles en la Resolución 2115 de 2007, para el caso de la muestra de agua contaminada el valor de pH no se encuentra entre el rango de 6.5-9.0, por esto se asegura que esta muestra de agua sea completamente segura para el consumo humano ya que tiene un pH moderadamente alcalino.
6. Después de hacer el proceso de filtración mediante el carbón activado no modificado y el carbón activado con nanopartículas magnéticas se pudo comprobar una vez más que el uso de estas es eficiente en los procesos de tratamiento de agua debido a que tuvo una buena reducción en los parámetros fisicoquímicos como se pudo comprobar en los parámetros de turbiedad y color, lo cual genera interés en seguir utilizando estas nuevas tecnologías para el tratamiento de agua sino también en diferentes campos de la ingeniería civil.
7. Con la filtración mediante el carbón activado impregnado de nanopartículas magnéticas se logró obtener un agua aceptable para el agua lluvia y para el agua contaminada con un rango muy cercano para que la muestra de agua sea buena según el IDEAM, de igual manera esto se pudo afirmar y comprobar mediante la Resolución 2115 de 2007 que son normas hoy vigentes.

FUENTES:

ABC COLOR, 2003. Contaminación del agua. [en línea]. Disponible en:

<http://www.abc.com.py/articulos/contaminacion-del-agua-720320.html>.

AMBIENTE, M.D.E. y TERRITORIAL, V.Y.D., 2007. Resolución 2115 de 2007. , pp. 23.

AURELIA, C.G., ARTICULO, D., CASTAÑEDA, J.R., MARTÍNEZ, M., CORTÉS,



- F., FRANCO, C., PERUGACHI, R., PAREDES, C. y CORNEJO, M., 2018. Las Nanoarcillas y sus potenciales aplicaciones en el Ecuador. *Informador Téncino (Colombia)* [en línea], vol. 19, no. 1, pp. 9. ISSN 2256-5035. DOI 10.23850/22565035.45. Disponible en:
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/213/156>.
- BAREÑO, I.R.A., 2016. *Diseño, Propuesta E Implementación De Un Filtro Para Tratamiento De Aguas De Uso Doméstico En Tanques De Reserva En La Población Del Casco Urbano De La Inspección De San Antonio De Anapoima* [en línea]. S.l.: Universidad libre. Disponible en:
<http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10401/ANTEPROYECTO SEMINARIO FILTRO ARENA ULTIMA ENTREGA JUNIO 11.pdf?sequence=1>.
- BARRENECHEA, A., 2004. Aspectos físicoquímicos de la calidad del agua. *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: teoría.* [en línea], vol. 1, pp. 2-56. Disponible en:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomol/uno.pdf>.
- BERDONCES, J.L., 2008. La problemática del tratamiento del agua potable. *Medicina naturista*, vol. 2, no. 2, pp. 22-28. ISSN 1576-3080.
- BLACKMAN, J.A., 2008. Metallic Nanoparticles. *Handbook of Metal Physics* [en línea], vol. 5, pp. 175-229. ISSN 1570002X. DOI 10.1016/S1570-002X(08)00207-3. Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570002X08002073>.
- CARLOS, S., REGIONAL, E., HIDR, R. y COLLAZOS, P., 2012. *Diseño, Construcción Y Evaluación De Un Filtro.* S.l.: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- CASTAÑEDA, J.R., 2016. Nanotecnología Aplicada Al Tratamiento De Agua En México. *Revista Electrónica* [en línea], vol. 14, pp. 9. Disponible en:
http://revistaelectronica-ipn.org/Contenido/15/TECNOLOGIA_15_000355.pdf.
- CHULLUNCUY, N., 2011. Tratamiento de Agua para Consumo Humano. *Ingeniería Industrial*, no. 29, pp. 153-170. ISSN 1025-9929. DOI 1025-9929.
- Clair N. Sawyer _ Perry L. McCarty _ Gene N. Parkin-*Química para ingeniería ambiental-Mc Graw Hill (2001).pdf*, 2001. Cuarta. S.l.: s.n. ISBN 958-41-0164-1.
- DIAZ, K. y NIÑO, Y., 2018. *Evaluación del comportamiento de materiales alternativos para lechos filtrantes en proceso de potabilización de agua.* S.l.: Universidad Católica de Colombia.
- ECOTICIAS, 2018. Más de 2.000 millones de personas no tienen acceso al agua potable en nuestro planeta. [en línea]. Disponible en:
<https://www.ecoticias.com/sostenibilidad/182182/2000-millones-personas->



- tienen-acceso-agua-potable-nuestro-planeta.
- FERNANDEZ, N.J. (Universidad de P. y SOLANO, F., 2013. Indicadores de la Calidad del Agua. Generalidades. *Indices de Calidad y de Contaminación del Agua*, pp. 27-35. ISSN 0717-9308. DOI 10.4067/S0717-93082006000400004.
- FERNANDO, L., GIRALDO, G., ALEJANDRO, E., FRANCO, M., JULIÁN, J. y ARANGO, S., [sin fecha]. La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. , vol. 1, no. 1.
- GONZÁLEZ, R., 2011. LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA. *Twenergy* [en línea]. Disponible en: <https://twenergy.com/a/la-contaminacion-del-agua-412>.
- HUANG, J., HUANG, G., AN, C., HE, Y., YAO, Y., ZHANG, P. y SHEN, J., 2018. Performance of ceramic disk filter coated with nano ZnO for removing *Escherichia coli* from water in small rural and remote communities of developing regions. *Environmental Pollution* [en línea], vol. 238, pp. 52-62. ISSN 18736424. DOI 10.1016/j.envpol.2018.03.008. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.008>.
- JIANG, Y., XIE, Q., ZHANG, Y., GENG, C., YU, B. y CHI, J., 2019. International Journal of Mining Science and Technology Preparation of magnetically separable mesoporous activated carbons from brown coal with Fe₃O₄. *International Journal of Mining Science and Technology* [en línea], vol. 29, no. 3, pp. 513-519. ISSN 2095-2686. DOI 10.1016/j.ijmst.2019.01.002. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.01.002>.
- JOH, G., CHOI, Y.S., SHIN, J.-K. y LEE, J., 2011. Problematic algae in the sedimentation and filtration process of water treatment plants. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, vol. 60, no. 4, pp. 219-230. ISSN 0003-7214.
- LÓPEZ PARAGUAY, M.Z., 2013. Adsorción de arsénico y fluoruros en nanopartículas y su posterior separación del agua tratada. *Tesis Doctoral*, pp. 131.
- LOZADA, P.T., VÉLEZ, C.H.C. y PATINO, P., 2009. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista de Ingenierías: Universidad de Medellín*, vol. 8, no. 15, pp. 3. ISSN 1692-3324.
- MARICELLY, M., CORTES, F. y CAMILO, F., 2013. Tratamiento de agua basado en la adsorción de crudo en nanopartículas porlares y no polares. *Informador Técnico (Colombia)*, vol. 77, pp. 59-68.
- MEDINA, M., GALVÁN, L. y REYES, R., 2015. LAS NANOPARTÍCULAS Y EL MEDIO AMBIENTE. *Universidad, Ciencia y Tecnología* [en línea], vol. 19, no. 74, pp. 49-58. ISSN 1316-4821. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-



- 48212015000100005.
- MUÑOZ CRUZ AMÍLCAR, 2008. " CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ". *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO*,
- ORELLANA, J.A., 2005. Tratamiento de las aguas. *Ingeniería Sanitaria-UTN-FRRO* [en línea], pp. 1-123. Disponible en:
https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_06_Tratamiento_de_Aguas.pdf.
- PAYERAS, A., 2018. Parámetros de la calidad de las aguas de riego. *Bonsai Menorca* [en línea]. [Consulta: 16 septiembre 2018]. Disponible en:
<http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/#Dureza>.
- PEÑATE, B., 2016. La nanotecnología para el Tratamiento de Aguas. *iAgua*.
- POYO LORENZO, S., 2017. Qué es el carbón activado y para qué sirve. *Bekia Salud* [en línea]. [Consulta: 19 septiembre 2018]. Disponible en:
<https://www.bekiasalud.com/articulos/carbon-activado-para-que-sirve/>.
- PUBLICA, M.D.E.S., PRESIDENTE, E.L. y REPUBLICA, D.E.L.A., 1998. Decreto 475 de 1998. , vol. 1998, no. 43.
- RESTREPO MEJÍA, A.P., ARANGO RUÍZ, Á. y GARCÉS GIRALDO, L.F., 2012. La electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Producción+Limpia* [en línea], vol. 1, no. 2, pp. 58-77. ISSN 1909-0455. Disponible en: <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/514>.
- REYNOLDS, K.A., 2001. Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. *Latinoamérica*, pp. 48-49.
- ROBERT, P., 2004. Filtros eficientes producidos a partir de nanotubos de carbono. *Rensselaer Polytechnic Institute* [en línea]. Disponible en:
<https://news.rpi.edu/luwakkey/435>.
- ROBERTO RUIZ UNIVERSIDAD DE ALICANTE, I.R., 2018. *Nanopartículas magnéticas para el tratamiento de aguas contaminadas* [en línea]. 2018. Alicante (España): s.n. Disponible en: <https://web.ua.es/es/actualidad-universitaria/2018/febrero18/12-18/nanoparticulas-magneticas-para-el-tratamiento-de-aguas-contaminadas.html>.
- ROMERO, J.A., 2008. *Biología - Potabilización del Agua - FL.pdf*. 3. México: s.n.
- RUIZ, A., BARBA, M. y LOZANO, E., [sin fecha]. Nanotoxicidad en los tiempos de la nanotecnología. [en línea]. Disponible en:
<https://www.sebbm.es/revista/articulo.php?id=368&url=nanotoxicidad-en-los-tiempos-de-la-nanotecnologia>.
- SÁNCHEZ, M., ELPIDIO, J., JASSO, C., EUGENIA, M., EUGENIA, M. y CRISTINA, N.C., 2012. Desinfección y purificación de agua mediante



- nanopartículas metálicas y membranas compósitas. ,
SIERRA, C., 2011. *Calidad del agua, Evaluación y diagnóstico*. S.l.: s.n. ISBN 9789588692067.
- Sistema de Nanofiltración Seldon WaterTap™. , 2017. pp. 12003.
- TALAT, M., MOHAN, S., DIXIT, V., SINGH, D.K., HASAN, S.H. y SRIVASTAVA, O.N., 2018. Effective removal of fluoride from water by coconut husk activated carbon in fixed bed column: Experimental and breakthrough curves analysis. *Groundwater for Sustainable Development* [en línea], vol. 7, no. January, pp. 48-55. ISSN 2352801X. DOI 10.1016/j.gsd.2018.03.001. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.03.001>.
- TEAM, F.N., 2006. El papel de la filtración en el tratamiento de agua. .
- URIBE, G.M. y LÓPEZ, J.L.R., 2007. La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso. *Revista Perfiles Latinoamericanos*, vol. 14, no. 29, pp. 161-186. ISSN 2309-4982.
- WALTER, J. y WEBER, J., 2003. *Control de calidad del agua Procesos fisicoquímicos*. REVERTÉ S. España: s.n. ISBN 84-291-7522-9.

LISTA DE ANEXOS:

- ANEXO A- Registro fotografico
- ANEXO B- Ensayo SEM