

Tratamiento complementario de agua potable utilizando un filtro de carbón activado impregnado con quitosano producidos a partir de biomasa residual

Complementary treatment of potable water using a filter of activated carbon impregnated with chitosan

Gerardo Cruz C.¹, Víctor Guzmán T.², Jhon Rimaycuna R.¹, Rubén Alfaro A.², José Cruz M.³, Dorian Aguirre C.³, Edwin Ubillus A.⁴

Resumen

Se probó la eficiencia de un filtro a base de carbón activado generado a partir de coronta de maíz e impregnado con quitosano, para el tratamiento complementario del agua potable producido en la ciudad de Tumbes. El carbón activado se obtuvo por activación química con $ZnCl_2$ a 600 °C durante 2 horas y bajo atmósfera de nitrógeno. Luego el quitosano fue impregnado bajo condición húmeda durante 4 horas en agitación constante. 30 g del material producido se colocaron en un soporte de plástico PVC de 1.5" de diámetro para constituir el filtro a ser utilizado durante el desarrollo de los experimentos con agua potable colectada en la zona de El Milagro – Tumbes. El filtro construido logró reducir eficientemente los niveles de concentración de turbidez, cloro residual en el agua potable llegando a valores entre 46.9 y 68.9 % y entre 87.5 hasta 100 % respectivamente. La cantidad inicial de bacterias heterótrofas en el agua también se logró reducir en niveles de 32,8 y 66,7 % en los primeros 50 min del experimento. El caudal promedio de agua tratada por el filtro fue de 0,20 l/min y la capacidad máxima de tratamiento de agua, teniendo como variable limitante la eficiencia en la reducción de bacterias heterótrofas, fue de 0,3 l agua/g de carbón impregnado con quitosano puesto en el filtro.

Palabras clave: carbón activado, residuos agroindustriales, quitosano, agua potable, bacterias heterótrofas

Abstract

The efficiency of a filter based on activated carbon made of corncob biomass and impregnated with chitosan, for the adjunctive treatment of drinking water produced in the city of Tumbes was tested. The activated carbon was obtained by chemical activation with $ZnCl_2$ at 600 °C for 2 hours under nitrogen atmosphere. Then the chitosan was impregnated under wet condition for 4 hours in constant stirring. 30 g of the produced material were placed in a plastic holder PVC 1,5" diameter to form the filter to be used for the development of experiments with drinking water collected in the El Milagro – Tumbes. The filter reduced efficiently the concentration levels of turbidity, residual chlorine in drinking water to between 46,9 and 68,9% and between 87,5 to 100% respectively. The initial amount of heterotrophic bacteria in the water was also able to be reduced until levels between 32.8 and 66.7% in the first 50 min of the experiment. The average flow rate of the treated water by the filter was 0.20 l /min and the maximum treatment capacity of water (having as the limiting variable the efficiency in reducing heterotrophic bacteria) was 0,3 l of water /g of activated carbon impregnated with chitosan.

Keyword: activated carbon, agro-industrial residues, chitosan, potable water, heterotrophs bacteria

1Departamento de Ingeniería Forestal y Gestión Ambiental, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Tumbes gjcruz@untumbes.edu.pe

2 Departamento de Biología y Bioquímica, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de Tumbes

3 Departamento de Química y Física, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Tumbes

4 Departamento de Contabilidad, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Tumbes

Introducción

Los episodios de contaminación de agua a nivel del departamento de Tumbes son diversos, siendo el más saltante la contaminación del Río Tumbes por metales pesados como cadmio, plomo y arsénico, generados de la minería artesanal, la carga orgánica y microbiana producto de la actividad urbana en la parte alta de la cuenca (Puño 2010). Esta contaminación ha generado una serie de impactos negativos sobre los ecosistemas circundantes (Bermejo y Cruz 2006; Carril y Feijoo 2008), además de la potencial afectación a la salud de las poblaciones rurales cercanas a la cuenca, debido al consumo de esta agua de forma directa o parcialmente tratada.

Así mismo, en la ciudad de Tumbes existe el riesgo latente de contaminación de agua potable debido al mal estado de gran parte de las redes del sistema de distribución de agua de la ciudad. Rimaycuna y Celi (2012) encontraron diversos contaminantes en muestras de agua potable tomadas de los grifos de viviendas en la ciudad de Tumbes que superan los límites máximos permisibles (MINSA, 2010); encontrando valores de bacterias heterotróficas (entre 520 UFC/ml y 612 UFC/ml. Otra de las sustancias presentes en el agua es el cloro residual, que aun siendo un agente antimicrobiano efectivo, permitiría la generación de Trihalometanos, sustancias potencialmente cancerígenas.

A pesar de ello no se establecen hasta ahora medidas concretas y de aplicación real que puedan servir para mitigar los efectos de los episodios descritos, dejando a la población expuesta a los efectos negativos sobre la salud.

La agricultura es una de las actividades económicas más importantes en el Perú, teniendo como cultivos sembrados de arroz, banano, mango, cacao, café, entre otros. Producto del procesamiento de los mismos, en los niveles primarios y secundarios, se generan una serie de residuos que en condiciones actuales de manejo causan diversos impactos negativos sobre el ambiente. La cantidad de residuos agrícolas y agroin-

dustriales generados es importante. En caso de café, la cáscara representa el 12,0% del grano seco; en mango, la cáscara representa el 23,5 % y la pepa 16.2 %; y para cacao, la cáscara de la vaina representa entre 70,0 y 75,0 %. En este argumento, y en base a la producción de 2012 (MINAGRI, 2013) las cantidades de residuos producidos en ese año fueron de 37 740 tn de cáscara de café, 43 522 tn de cáscara y 30 000 tn de pepas de mango y 43 750 tn de cáscara de vaina de cacao.

Una de las alternativas para el reciclaje de estos materiales es su potencial utilización para la elaboración de carbón activado, un material de alta área superficial que tiene múltiples aplicaciones en los campos del tratamiento de agua y aire contaminados y en diversas actividades productivas como agrícola, pecuaria, agroindustrial, médica, etc. Dos de los principales inconvenientes de la producción de carbón activado es el costo de la materia prima y el hecho que son materias primas no renovables. La principal característica que deben cumplir estas materias primas es la presencia, dentro de su composición, de importantes cantidades de material carbonáceo tal como celulosa, hemicelulosa y lignina, por lo que pueden ser utilizados como una materia prima continúa para la producción de carbón activado de alta calidad.

Actualmente y con la finalidad de reducir estos costos se están investigando diversos materiales residuales de la agricultura y agroindustria (Cruz *et al.* 2012), cáscara de arroz (Adekola & Adegoke 2005; 2009; Khan *et al.* 2010), cáscara de palma aceitera (Aik & Qipeng 2007), cáscara de semillas de palma (Gueu *et al.* 2006), semillas de guayaba (Rahman & Saad, 2003), residuos de la molienda de olivo (Moreno *et al.* 2001) entre otros.

Los sistemas de tratamiento de agua basados en materiales adsorbentes son costosos, que dificulta su empleo generalizado por la población. Esta desventaja podría superarse con el uso de materiales de bajo costo que permitan hacer rentable la utiliza-

ción de los mismos a mayor escala. Adicionalmente constituye una alternativa para el remplazo o complemento del tratamiento convencional de potabilización de agua o tratamiento de aguas residuales domésticas, de tal forma que permitiría la reducción de contaminantes específicos difíciles de eliminar con tratamientos convencionales.

Los experimentos que normalmente se realizan a nivel de laboratorio son tipo *batch*, que utilizan soluciones sintéticas de concentraciones en condiciones que difieren de la realidad (en la que el agua contiene los contaminantes de interés interactuando con otros contaminantes y otros componentes del agua, creando condiciones particulares que tienen que superarse durante el tratamiento)

En esta coyuntura se planteó el presente trabajo de investigación cuyo objetivo fue probar la eficiencia de un filtro el carbón activado producido a partir de coronta de maíz e impregnado con quitosano, como agente antimicrobiano, para el tratamiento complementario de agua potable.

A través de este estudio se apoya la solución de problemas ambientales actuales como los generados por la mala disposición de residuos agroindustriales. Estos recursos renovables son de bajo costo y permitirá la producción de carbones activados que puede ser combinado con agentes antimicrobianos como quitosano para potenciar su capacidad descontaminadora y lograr productos de alto valor agregado.

Material y métodos

Se preparó carbón activado a partir de coronta de maíz, de acuerdo al procedimiento propuesto por Cruz et al (2015); que utilizo coronta de maíz molida, seca y tamizada a un tamaño de partícula entre 0.5 y 1 mm. Luego una impregnación en seco con $ZnCl_2$ en proporción 1/1 para pasar a una carbonización a $600^{\circ}C$ durante 2 horas bajo atmósfera de nitrógeno (Figura 1). Finalmente el carbón obtenido se lavó con una solución de HCl al 1% y lavados consecutivos

con solución de HCl al 0,5 N; el enjuague se hizo con agua destilada a punto de ebullición y luego agua destilada a temperatura ambiente de forma exhaustiva. El carbón lavado se secó durante 24 horas a temperatura de $100^{\circ}C$ en una estufa.

Una muestra de quitosano elaborado de cartilago (pluma) de pota; se disolvió en solución de ácido acético al 1% durante 24 horas bajo agitación continua en un agitador mag

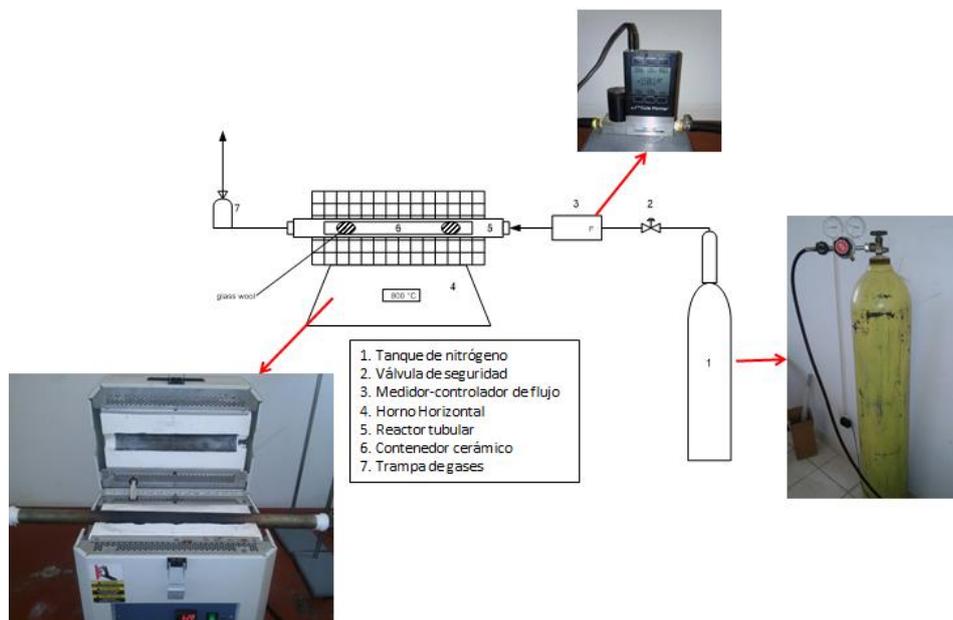


Figura 1. Equipo de carbonización utilizado en la preparación de carbón activado

nético. Se utilizó 500 ml de esta solución para sumergir 40 g de carbón activado de coronta de maíz. La mezcla se colocó en un recipiente plástico y se agitó por 4 horas.

Luego de la impregnación el carbón se filtró y se lavó consecutivamente con agua destilada a temperatura ambiente, para retirar el resto de quitosano; finalmente el carbón impregnado se secó a una temperatura de 50 °C durante 24 horas.

Para comprobar la presencia de quitosano sobre la superficie de carbón activado se tomaron micrográficas de microscopia electrónica de los carbones activados utilizando un microscopio electrónico de barrido VEGA 3 TESCAN.

Se colocaron 30 gramos del carbón activado impregnado, en un soporte de plástico de 1.5" de diámetro y se dispuso en un arreglo de tuberías y accesorios, como se muestra en la figura 2. El sistema diseño y construcción simuló las condiciones en la que es transportada el agua potable a nivel casero.

No se esterilizó y/o desinfectó el sistema previamente a las pruebas realizadas. El sistema contó con una conexión de recirculación para el agua que no pasaba a través del filtro, retornando el agua sin tratar al tanque de almacenamiento de agua potable.

La muestra de agua potable se colectó del sector "El Milagro" en base a resultados de calidad de agua encontrados por Rimaycuna y Celi (2002). Esta muestra de agua se almacenó en un balde de plástico tapado herméticamente durante un período de 35 horas, que es el tiempo de almacenamiento de agua que las familias utilizan en zonas donde el flujo de agua no es constante.

Inicialmente se lavó el sistema con el agua potable muestreada durante 10 minutos sin que esta pase por el filtro de carbón con la finalidad de eliminar posibles rezagos de agua y sólidos dentro del sistema y saturar el sistema acorde a las condiciones de calidad del agua potable inicial.

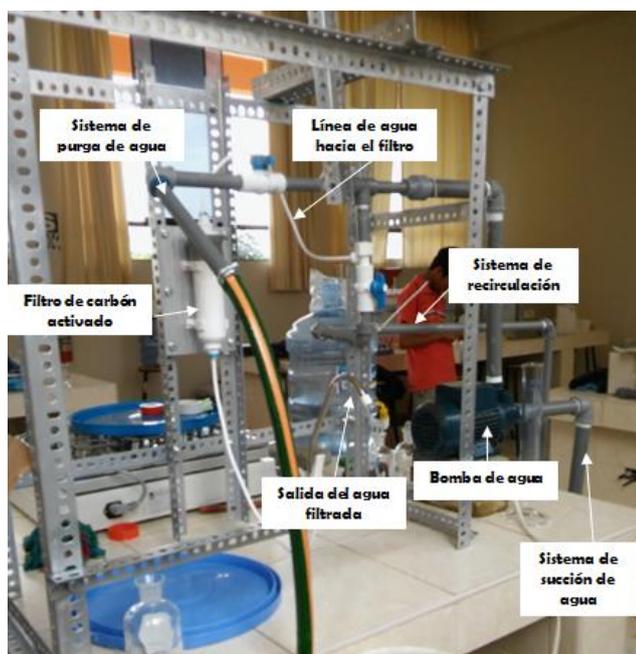


Figura 2. Arreglo de accesorios utilizado para las pruebas de tratamiento de agua potable complementario

Los parámetros físico-químicos y microbiológicos analizados fueron: pH, concentración de cloro residual (mg/l), turbidez (NTU), fosfatos (mg/l), nitritos (mg/l) y contenido

total de bacterias heterótrofas (UFC/ml) utilizando el método de placa fluida (APHA 2005). Las muestras fueron tomadas a distintos tiempos desde el inicio del experimento

hasta 130 minutos después. Adicionalmente el caudal de agua después de pasar por el filtro fue medido y registrado de acuerdo al avance del experimento.

El pH, concentración de cloro residual (mg/l) turbidez (NTU) fueron medidos de forma instrumental para lo cual se utilizó un potenciómetro WTW pH3210 - Merck, un medidor de cloro total y residual Hanna HI96711C y un turbidímetro *Lovibond Turbicheck*.

Para la determinación de fosfatos se utilizó para su determinación el método de referencia APHA (2005); método del ácido as

córbico; en el cual se midieron 50 ml de muestra, luego se agregó 5 ml de reactivo de color se homogenizó y se dejó en reposo por 15 min luego se realizó la lectura en el espectrofotómetro *Spectroquant Pharo 300* - Merck a 643 nm de longitud de onda.

Para nitritos se utilizó el método Colorimétrico, de acuerdo a APHA (2005); para el cual se midieron 50 ml de muestra, luego se agregó 2 ml de reactivo de color, se homogenizó y se dejó en reposo por 15 min luego se realizó la lectura en el espectrofotómetro a 543 nm de longitud de onda.

Resultados

La micrografía de microscopia electrónica (Figura 3) muestra de forma detallada las estructuras porosas de las muestras de car

bón activado derivado de coronta de maíz sin impregnar y con impregnación de quitosano.

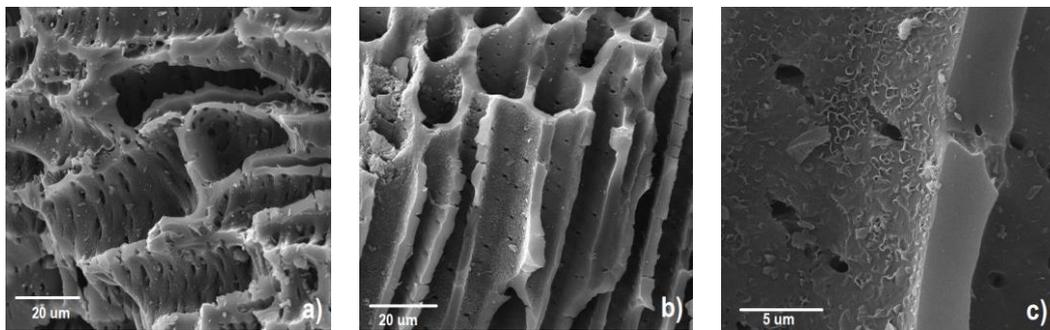


Figura 3. Micrografía de microscopia electrónica con campo de emisión del carbón activado sin impregnar a) e impregnado con quitosano b) y c).

En el comportamiento del nivel de caudal (l/min) durante el experimento (Figura 4) se identificó una variabilidad del caudal con valores de 0,09 a 0,33 l/min., sin embargo en la mayoría de los casos se precia que este nivel estuvo en el rango de 0,15 a 0,25 l/min. Se pudo constatar que luego del experimento, la cantidad de agua filtrada fue de 26 l en promedio, que supone un caudal promedio de 0.20 l/min durante todo el experimento.

La evolución del pH (figura 5 a) hace notar una tendencia definida a aumentar en función del tiempo. Sin embargo en ningún momento el valor del pH medido en las muestras en función del tiempo superaron al valor de pH del agua inicial.

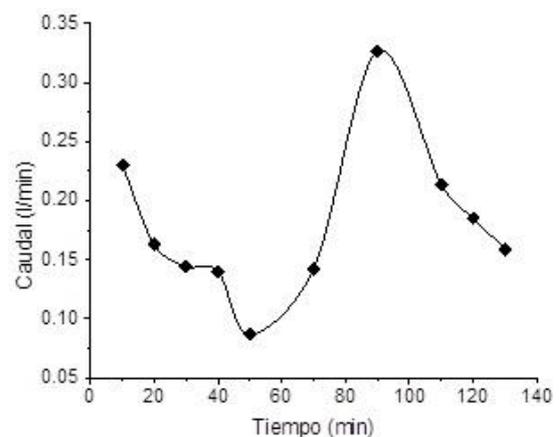


Figura 4. Comportamiento del caudal durante la toma de muestras

Los valores de cloro residual durante todo el tiempo experimental de (figura 5 b) estuvieron por debajo del valor de 0,1 mg/l para todos los casos, incluso llegando a

valores de 0 mg/l en 120 minutos, valores muy lejanos al valor del agua inicial de 0,64 mg/l.

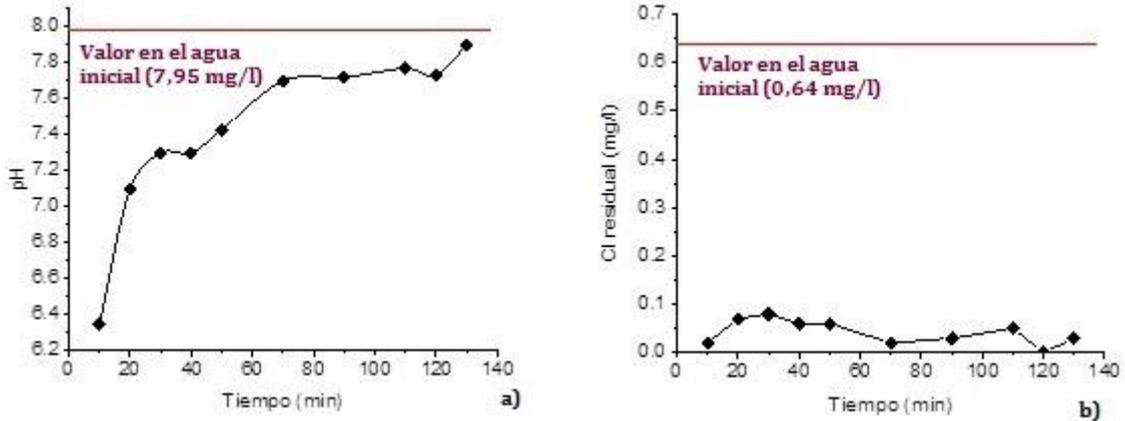


Figura 5. Evolución de la concentración de pH a) y Cloro residual b) analizados, durante el experimento.

Los niveles de turbidez se redujeron durante todo el período del experimento (figura 6 a) hasta por niveles muy por debajo del valor de turbidez del agua inicial de 6,14 NTU.

Los valores de nitritos (figura 6 b) y fosfatos (Figura 7) fueron muy bajos en el agua inicial y tratada; prácticamente la concentración fue la misma a través del tiempo, comparadas con la muestra inicial.

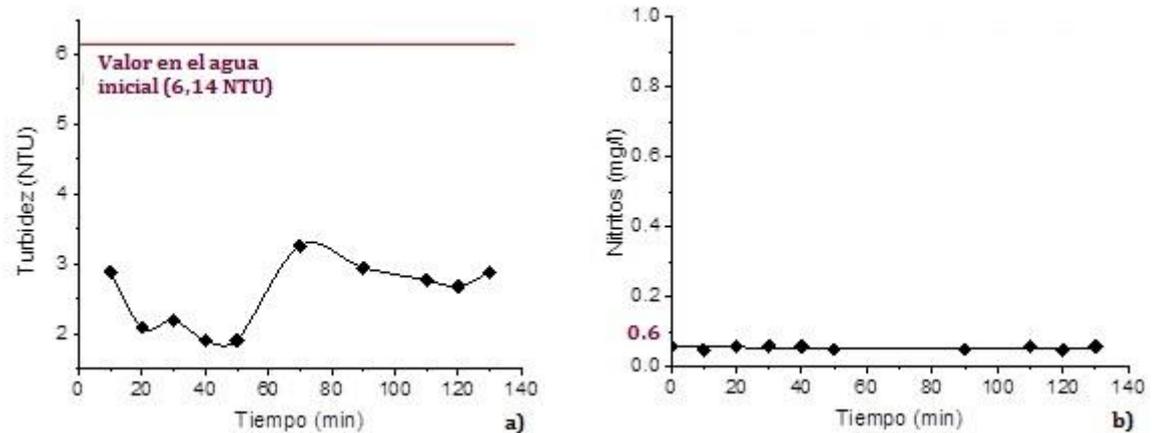


Figura 6. Evolución de turbidez a) y concentración de Nitritos b) analizados durante el experimento

El comportamiento de la concentración de bacterias heterótrofas tiende a reducirse, aunque entre los 70 y 90 minutos del experimento,

se observó un ligero aumento atípico de bacterias heterótrofas para luego empezar a disminuir (Figura 8).

Discusión

La estructura porosa del carbón activado derivado de coronta de maíz impregnada con quitosano está altamente organizada, observándose poros definidos e incluso po

ros de menor tamaño dentro de poros de mayor tamaño, indicando una buena organización de la estructura porosa. Así mismo es posible observar presencia de quitosano

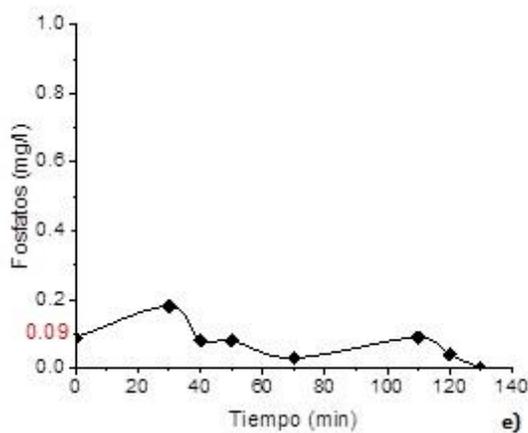


Figura 7. Evolución de la concentración de fosfatos analizados durante el experimento.

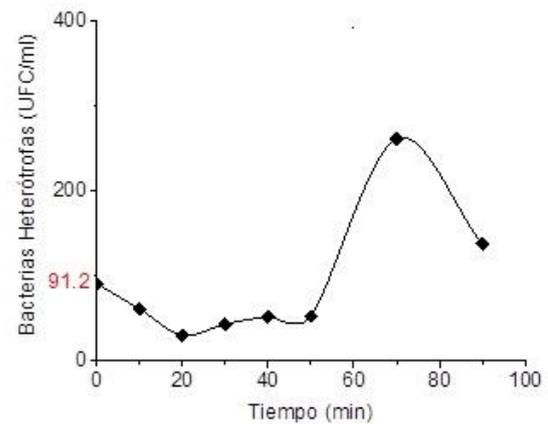


Figura 8. Evolución de la concentración de bacterias heterótrofas durante la filtración de agua.

adherido a la superficie del carbón activado. La morfología de los poros de carbón activado es diversa y no presenta forma regular, mientras que la morfología del quitosano adherido es variada con formas tipo donas irregulares. Comparando las fotografías de los carbones sin impregnar se nota que las partículas presentes en el carbón impregnado corresponde a quitosano.

De acuerdo a los límites máximos permisibles estipulados en el Decreto Legislativo Supremo N° 031-2010-SA - Reglamento de calidad de Agua para consumo humano y considerando los parámetros en estudio, el valor de pH en el agua potable debería ser entre 6.5 a 8.5, la turbidez máxima de 5 NTU, la cantidad máxima de bacterias heterótrofas de 500 UFC/ml, la cantidad de cloro residual de 5 mg/l como máximo y la concentración máxima de nitritos de 3 mg/l. La comparación de los estándares con los niveles encontrados en el agua inicial solo el valor de turbidez (6,14 NTU) estuvo por encima del límite máximo permisible. Los valores de los otros parámetros en el experimento cumplen con la normatividad, que fue diferente con lo encontrado por Rimaycuna y Celi (2012).

Se resalta la efectividad del filtro de carbón durante el periodo de duración del experimento (130 minutos), en la reducción de la turbidez y el de cloro residual. La cantidad de sólidos suspendidos reflejada como tur-

bidez fue eliminada por el filtro en valores que oscilaron entre 46,9 y 68,9%, mientras que la concentración de cloro residual fue eliminada en proporciones de 87,5 a 100%. El cloro residual es un parámetro importante durante el transporte de agua potable de la planta de tratamiento a los hogares; sin embargo, al ser un compuesto potencialmente formador de agentes cancerígenos (King & Marrett, 1996; Drogui & Daghrir, 2015) en altos niveles sería importante eliminarlo del agua antes de beberla, pues adicionalmente cambia las propiedades organolépticas del agua potable.

A pesar de que los niveles de bacterias heterótrofas no superaron el límite máximo permisible establecido en la legislación peruana vigente, el filtro demostró ser efectivo en su reducción durante los primeros 50 minutos del experimento, alcanzando niveles de reducción de estas bacterias entre 32.8 y 66.7%. A pesar que se conoce la efectividad del quitosano como agente antibacteriano (Kong et al. 2010), no se podría inferir si esta reducción de bacterias se debe a retención de las mismas en el filtro o a su eliminación.

Si se toma como referencia el caudal promedio calculado de 0,20 l/min, la cantidad de carbón utilizada de 30 g y el hecho de que el filtro haya sido efectivo durante los primeros 50 min para el caso de bacterias heterótrofas se podría calcular la cantidad

de agua máxima que se podría tratar con el filtro utilizado. La cantidad de agua máxima a tratar sería de 10 l de agua con esa calidad inicial y la cantidad de agua a tratar por g. de carbón activado utilizado sería de 0.3 l/g. De hecho es importante mencionar que la cantidad de sólidos suspendidos causantes de la turbidez del agua estarían disminuyendo drásticamente la vida útil del

filtro, por lo que será pertinente considerar para el diseño de estos sistemas, la inclusión de un filtro de sólidos previo al ingreso del agua al filtro de carbón activado.

Se requiere más experimentos que incluyan otros parámetros, considerados en la normatividad, como cloruros, conductividad eléctrica y bacterias coliformes.

Conclusiones

1. Se produjo carbón activado vía activación química con $ZnCl_2$ y se impregnó con quitosano con el método de impregnación húmeda para su uso en filtro para tratamiento complementario de agua potable.
2. El filtro construido logró reducir satisfactoriamente los niveles iniciales en el agua potable de concentración de turbidez y cloro residual hasta niveles entre 46,9 y 68,9 % y entre 87,5 hasta 100,0% respectivamente.
3. Se redujo satisfactoriamente la cantidad inicial de bacterias heterótrofas en agua en niveles de 32,8 y 66,7%, solo en los primeros 50 min del experimento.
4. El caudal promedio de agua que tratada con el filtro fue 0,20 l/min y la capacidad máxima de tratamiento de agua, con la variable limitante cantidad de bacterias heterótrofas, fue 0,3 l agua/g de carbón impregnado con quitosano puesto en el filtro.

Agradecimiento

Los investigadores agradecen el apoyo económico de la Universidad Nacional de Tumbes a través del Proyecto Canon Resolución N° 0722-2014/UNT-R. Al Instituto de Procesos Químicos Fundamentales de la Academia de Ciencias de República Checa.

Referencias bibliográficas

- Adekola F. A. and H. Adegoke. 2005. "Adsorption of blue-dye on activated carbons produced from rice husk, coconut shell and coconut coirpith". *Zfe Journal of Science*, 7(1):151-157
- Aik C., and J. Qipeng. 2007. "Adsorption of phenol by oil-palm-shell activated carbons". *Adsorption*, 13:129-137
- APHA. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (21th ed.). Washington, D.C.: American Public Health Association.
- Bermejo L., and G. Cruz. 2006. "Heavy metals in grain of rice, agricultural soil, drainage water, watering water and sludge in left side of Tumbes River. *Revista Manglar*. 4, (1): p. 11-25.
- Carril, V. and C. Feijoo. 2008. "Determinación de metales pesados en el cultivo de banano en los valles de Tumbes. *Revista Manglar*, 6(1): 11-20.
- Cruz, G., Pirilä, M., Huuhtanen. L. Carrión, E. Alvarenga, and R. Keiski. 2012. "Production of Activated Carbon from Cocoa (*Theobroma cacao*) Pod Husk. *J Civil Environment Engg* 2(2):10-15.
- Drogui, P., and Daghrir R., 2015. "Chlorine for Water Disinfection: Properties, Applications and Health Effects." In E. Lichtfouse, J. Schwarzbauer, Jan, & D. Robert (Eds.) *CO₂ Sequestration, Biofuels and Depollution* (pp. 1-32). Switzerland: Springer International: Publishing.
- Gueu S., B. Yao., Adouby K., and G. Ado. 2006. "Heavy metals removal in aqueous solution by Activated carbon prepared from coconut shell and seed shell of the palm tree". *Journal of applied Science*, 6 (13): 2789 - 2793
- Khan N., M. Faizal, I. Abustan, and M. Azmier. 2010. "Effect of preparation conditions of activated carbon prepared from rice husk by $ZnCl_2$ activation for removal of Cu (II) from aqueous solution. *International Journal of Engineering & Technology*, 10(6):27-31

- King, W., and L. Marrett. 1996. Case-control study of bladder cancer and chlorination by-products in treated water (Ontario, Canada) *Cancer Causes & Control*, 7(6):596-604.
- Kong, M., X. Chen, K. Xing, and H. Park. 2010. "Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: A state of the art review. *International Journal of Food Microbiology*, 144:51-63.
- MINAGRI. 2013. Dinámica agropecuaria. 2003 - 2012. Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos. Ministerio de Agricultura y Riego - Perú.
- MINSA. 2010. "Reglamento de la calidad de Agua para consumo humano." Ministerio de Salud. Decreto Legislativo Supremo N° 031-2010-SA.
- Moreno C., F. Carrasco, M. López, and M. Álvarez. 2001. "Chemical and physical activation of olive-mill waste water to produce activated carbons." *Carbon*, 39: 1415-1420.
- Puño N. 2010. "Plan de Manejo Ambiental para la Cuenca del Río Puyango Tumbes." Tesis Doctoral - Universidad Nacional de Piura. Perú.
- Rahman I. and B. Saad. 2003. "Utilization of Guava seeds as a source of activated carbon for removal of Methylene blue from aqueous solution." *Malaysian Journal of Chemistry*, 5(1): 8-14
- Rimaycuna J, y E. Celi. 2012. "Calidad del Agua Potable en el Distrito de Tumbes por Parámetros Físicos Químicos y Microbiológicos." Tesis Grado Ingeniero Forestal y del Medio Ambiente - Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Tumbes. Perú

