

# Utilización de carbón activado producido a partir de cáscara de *Macadamia* sp para la remoción de microcistina presente en agua destinada al consumo humano en condiciones de laboratorio

## Use of activated carbon produced from *Macadamia* sp shells for the removal of microcystins present in water intended for human consumption under laboratory conditions

María Laura Correa Quevedo<sup>1\*</sup>, María Edelira Velázquez Figueredo<sup>1</sup> , <sup>1</sup>Universidad Nacional de Asunción. Facultad de Ciencias Químicas. San Lorenzo, Paraguay. \*Autor de correspondencia: mbyja20@yahoo.com.mx.

Recibido: julio 2019

Aceptado: diciembre 2019

Recibido en versión modificada: junio 2020

Correa Quevedo, M. L. & Velázquez Figueredo, M. E. (2020). Utilización de carbón activado producido a partir de cáscara de *Macadamia* sp para la remoción de microcistina presente en agua destinada al consumo humano en condiciones de laboratorio. *Revista Investigaciones y Estudios-UNA*, 11(1), 02-09. <https://doi.org/10.47133/IEUNA1>

**Resumen.** Este trabajo de investigación se desarrolló en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de Asunción con el objetivo de evaluar la capacidad de remoción de la toxina microcistina presente en agua destinada al consumo humano, utilizando carbón activado producido a partir de residuos agroindustriales, específicamente cáscara de *Macadamia* sp. La activación del carbón se realizó a la temperatura de 950° C, con inyección de vapor de agua con caudal fijo de 42 mL/min y tiempo de activación de 60 minutos. Se ha aplicado la Norma ASTM D 3860–98, calculándose los valores de las constantes de la isoterma de Freundlich, siendo  $k=0,081(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{L}\cdot\text{mg}^{-1})^{1/n}$  y  $n=0,538$  observándose una capacidad máxima de adsorción de 16,4 mg/g y un porcentaje de remoción del 89 % con respecto a la concentración de microcistina inicial, concluyéndose así que el carbón activado a partir de cáscara de *Macadamia* sp es capaz de

remover la microcistina en agua destinada al consumo humano.

**Palabras clave:** adsorción, carbón activado, isoterma de Freundlich, microcistina.

**Abstract.** This research work was carried out at the Faculty of Chemical Sciences of the National University of Asunción with the aim of evaluating the ability to remove the microcystin toxin present in water intended for human consumption, using activated carbon produced from agro-industrial waste, specifically *Macadamia* sp shell. The activation of the carbon was carried out at the temperature of 950°C, with injection of water vapor with a fixed flow rate of 42 mL/min and an activation time of 60 minutes. Standard ASTM D 3860–98 has been applied, calculating the values of the constants of the Freundlich isotherm, with  $k=0,081(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{L}\cdot\text{mg}^{-1})^{1/n}$  and  $n=0,538$ , observing a maximum capacity of adsorption of 16,4mg/g and a removal percentage of 89% with respect to the initial concentration of microcystin, thus concluding that activated carbon from macadamia husk is capable of removing microcystin in water for human consumption.

**Keywords:** activated carbon, adsorption Freundlich isotherm, microcystin.

## INTRODUCCIÓN

El uso inadecuado de los recursos hídricos, debido al desarrollo de las actividades agrícolas e industriales, unido a factores relativos a la urbanización desordenada y al crecimiento poblacional, ha provocado de manera amplia, la contaminación de las aguas superficiales. La eutrofización de los cuerpos de agua con nitrógeno, fósforo y otros nutrientes en exceso, bajo ciertas condiciones ambientales de temperatura, incidencia de luz y velocidad de viento, puede conducir a romper el equilibrio biológico del medio acuático y favorecer al apareamiento de floraciones de determinadas especies fitoplanctónicas.

La presencia de floraciones de organismos fitoplanctónicos y sus subproductos en ríos, lagos y reservorios destinados al abastecimiento, interfiere directamente en la calidad del agua, pudiendo introducir efectos negativos, tanto de orden estético y organoléptico por la producción de olor y sabor, como de salud pública debido a la producción de compuestos potencialmente tóxicos y cancerígenos.

Las alteraciones en la calidad de agua para abastecimiento, debido a la presencia de estos organismos, introducen dificultades diversas de las estaciones de tratamiento de agua o sistemas de abastecimiento, si estos no estuvieran preparados para removerlas. La exposición a las toxinas por ingestión de agua de consumo, durante la práctica de actividades recreativas, al ducharse y, posiblemente, por el consumo de comprimidos de complementos alimenticios elaborados con algas, podría ser peligrosa para la salud. El principal peligro de muchas de las cianotoxinas es la exposición repetida o crónica; no obstante, en algunos casos es más importante la toxicidad aguda.

Las cianotoxinas son consideradas las toxinas más importantes de los cuerpos de

agua, y la microcistina LR, una hepatotoxina de toxicidad muy elevada, es la más frecuentemente hallada (Pérez, Soraci & Tapia, 2008). Las microcistinas generalmente están en el interior de las células; sólo en situaciones de rotura celular (lisis) se liberan al agua circundante en cantidades considerables (Chorus & Bartram, 1999).

Considerando el aumento de los riesgos a la salud, asociados a la presencia de floraciones de cianobacterias y subproductos en agua destinado al abastecimiento la Resolución N° 222/02 de la SEAM, establece la obligatoriedad del monitoreo de las toxinas de cianobacterias denominadas Microcistina, estableciendo un máximo aceptable de 1 µg/L (SEAM, 2002).

Existen varios métodos para eliminar o captar a la microcistina, uno de ellos es el carbón activado, que es un método que se basa en la adsorción y consiste en retirar del agua las sustancias solubles mediante el filtrado a través de un lecho de este material, consiguiéndose que las distintas sustancias a eliminar pasen a través de los poros de los que se compone, separando y reteniendo en la superficie interna de los gránulos los compuestos más pesados.

La capacidad de remoción de compuestos orgánicos e inorgánicos del carbón activado depende del área superficial, el volumen del poro y la distribución del tamaño del poro, aunque también están fuertemente influenciados por la superficie química (Universidad de Sevilla, 2011).

Hay muchos modelos matemáticos que intentan describir la relación entre la cantidad de adsorbato por unidad de adsorbente y la concentración de adsorbato en agua. El modelo de la isoterma de Freundlich es el más utilizado porque, aunque sea empírica, describe con precisión los datos experimentales de adsorción (Di Bernardo & Dantas, 2005). Este modelo se basa en la distribución entre el adsorbato presente en la fase líquida (agua) y la fase sólida (adsorbente) en equilibrio (Ng, Losso, Marshall & Rao, 2002; Kuroda, Albuquerque

Júnior & Trofino, 2005).

En este trabajo se evaluó la capacidad de remoción de metabolitos de cianobacterias en agua destinada al consumo humano, utilizando carbón activado producido a partir de residuos agroindustriales como la cáscara de *Macadamia* sp.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El alcance de la investigación es descriptivo, de diseño experimental y enfoque cuantitativo.

**Diseño para la recolección de datos.** Para obtener las constantes de la isoterma de Freundlich se ha aplicado la Norma ASTM D 3860-98, en la cual se establece una serie de concentraciones de carbón activado a ser utilizadas como adsorbente, de acuerdo con la concentración de la cianotoxina presente en agua.

**Equipos y materiales.** Reactor de acero inoxidable instalado en el interior de un horno eléctrico con control y regulación de temperatura hasta 1200 °C, con válvula de admisión de vapor de agua. Equipo lector automático de Elisa, Awaveness – Fax 3200.

**Reactivo.** Kit de análisis de microcistina total en agua QuantiPlate™ de la marca Envirologix.

### Procedimientos experimentales.

**1. Obtención de carbón activado a partir de cáscara de *Macadamia* sp.** El carbón activado a partir de cáscara de *Macadamia* sp (Figura 1) se ha obtenido por activación física Velázquez (2014), colocando 750 g de cáscara de nuez de *Macadamia* sp en un reactor de lecho fijo, la pirolisis se ha realizado con una tasa de calentamiento promedio de 19 °C/min, hasta la temperatura de 400 °C y luego se ha realizado la activación propiamente aplicado una tasa de calentamiento promedio de 7 °C/min, hasta la temperatura final de 950 °C, inyectando vapor de agua con caudal fijo de 42 mL/min y el tiempo de activación ha sido de 60 minutos.

### 2. Caracterización del carbón activado

de *Macadamia* sp. Se ha realizado la determinación del número de yodo, según la Normativa mexicana NMX-F-296-SCFI-2011.



Figura 1. Carbón activado de cáscara de *Macadamia* sp.

**3. Metabolitos de cianobacterias.** La recolección de agua que contiene cepas de cianobacteria *Microcystis aeruginosa* (Figura 2), se ha realizado en el Lago Ypacarai, en la zona costera de la Playa Areguá Departamento Central, siendo trasladadas a uno de los laboratorios del área industrial de la Facultad de Ciencias Químicas.



Figura 2. Cianobacterias en el Lago Ypacarai.

La muestra colectada de agua se ha sometido a congelación y descongelación (repetido tres veces) para promover la lisis de las células y la consiguiente liberación de microcistina intracelular (Brasil & Brandão, 2005; Kiyomi Kuroda et al., 2005; Azevedo & Magalhães, 2006) (Figura 3).

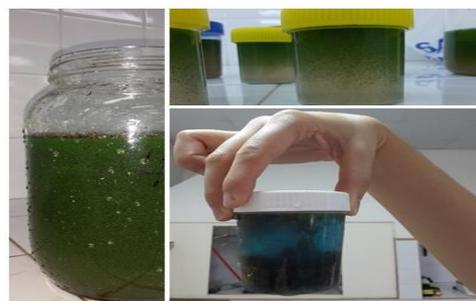


Figura 3. Toma de muestra y procesamiento.

Se ha filtrado la solución para eliminar el material en suspensión con una membrana de porosidad 0,40  $\mu\text{m}$  y luego con otra de poro 0,22  $\mu\text{m}$ .

La solución filtrada de microcistina (Figura 4) se ha homogeneizado y se ha medido la concentración de microcistina total inicial ( $C_0$ ) utilizando el kit QuantiPlate™ de la marca Envirologix, el cual está diseñado para el análisis cuantitativo de microcistina en muestras de agua superficial.

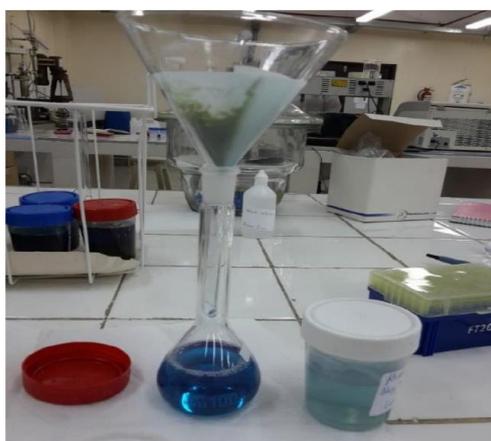


Figura 4. Solución filtrada de microcistina.

**4. Construcción de la Isoterma de Freundlich.** Hay muchos modelos matemáticos que intentan describir la relación entre la cantidad de adsorbato por unidad de adsorbente y la concentración de adsorbato en agua. El modelo de la isoterma de Freundlich es el más utilizado porque, aunque sea empírica, describe con precisión los datos experimentales de adsorción (Di Bernardo & Dantas, 2005). Este modelo se basa en la distribución del adsorbato presente en la fase líquida (agua) y la fase sólida (adsorbente) en equilibrio (Kuroda et al., 2005).

La cantidad de microcistina adsorbida,  $X$ , se ha calculado mediante la ecuación 1:

$$X = C_0V - C_eV \quad (\text{Ec. 1})$$

$X$  = Cantidad de microcistina adsorbida, mg.

$C_0$  = Concentración de microcistina antes del tratamiento con carbón activado, mg/L.

$C_e$  = Concentración de microcistina después del tratamiento con carbón activado, mg/L.

$V$  = Volumen de muestra, L.

La cantidad de microcistina adsorbida por unidad de masa de carbón activado,  $\frac{X}{M}$ , se ha calculado mediante la ecuación 2:

$$\frac{X}{M} = \frac{C_0V - C_eV}{M} \quad (\text{Ec. 2})$$

$M$  = Masa del carbón activado, g.

$\frac{X}{M}$  = Microcistina adsorbida por unidad de peso de carbón activado, mg/g.

Representación gráfica de la Isoterma de Freundlich: Según Levine, 2014: “La ecuación de Freundlich presenta la forma:

$$q_e = KC_e^{\frac{1}{n}} \quad (\text{Ec. 3})$$

$q_e$  = es la cantidad de microcistina por unidad de adsorbente (mg/g);

$C_e$  = es la concentración de microcistina restante en solución en el equilibrio (mg/L);

$K$  y  $n$  son coeficientes determinados empíricamente.

Según Ng et al. (2002), cuando los datos de la ecuación son representados en un diagrama “ $x - y$ ”, donde  $y = \log q_e$ , y  $x = \log C_e$ , la pendiente de la curva es  $1/n$  y la intersección con el eje “ $y$ ” es  $\log K$ . La isoterma de Freundlich han sido construida en forma lineal, utilizando la siguiente ecuación y el modelo fue validado con  $R^2$ .

$$\log q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K \quad (\text{Ec. 4})$$

A partir del gráfico de isotermas, se ha calculado la capacidad máxima de adsorción ( $q_{e, \text{max}}$ ) para el carbón activado, así como las constantes “ $K$  y  $n$ ” que caracterizan el proceso de adsorción.

**5. Determinación de la capacidad de remoción de microcistina en agua.** Para determinar la capacidad de remoción de la microcistina en agua utilizando como adsorbente carbón activado a partir de *Macadamia* sp, se ha aplicado el procedimiento establecido por la Norma ASTM D 3860-98, la cual establece que como la sustancia de interés ha sido la microcistina en agua, se optó por trabajar con la isoterma de Freundlich. En la Tabla 1, se presentan los pesos de carbón activado y los volúmenes de la solución de microcistina que han de ser

empleados, dependiendo de la concentración de constituyentes absorbibles.

Se han tomado los pesos de carbón activado pulverizado seco (0,01; 0,02; 0,04; 0,10; 0,20; 0,40; 1,0; 2,0 y 4,0 g) correspondientes al volumen 100 mL para las

Transcurrida las 2 horas, se ha filtrado inmediatamente cada muestra de prueba a través de una membrana de 0,45 micras (Figura 7).

La concentración final de microcistina (C) se ha determinado empleando el kit de

**Tabla 1. Volúmenes de las soluciones de muestra y pesos de carbón activado para la determinación de la capacidad de adsorción.**

Concentración de constituyentes adsorbibles (mg/L)	Volumen de solución de muestra, mL	Peso de carbón sugerido (Base seca)
≤10	500	0,001; 0,0025; 0,005; 0,007; 0,01; 0,025 y 0,05 g.
>10; 100	100	0,01; 0,02; 0,04; 0,10; 0,20; 0,40; 1,0; 2,0 y 4,0 g.
>100	100	0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0 y 10,0 g.

concentraciones en el rango de 10 a 100 mg/L (Figura 5), en intervalos regulares de tiempo, para permitir la filtración.

En general, intervalos de 5 minutos son adecuados. El contacto se ha realizado a 20°C y con una velocidad de agitación de 160 rpm.



**Figura 5. Muestras de carbón activado seco pesados.**

Posterior a la adición de cada muestra con carbón activado, se ha agitado cada contenedor por 2 horas (Figura 6), de forma a asegurar el contacto íntimo entre adsorbente-adsorbato.

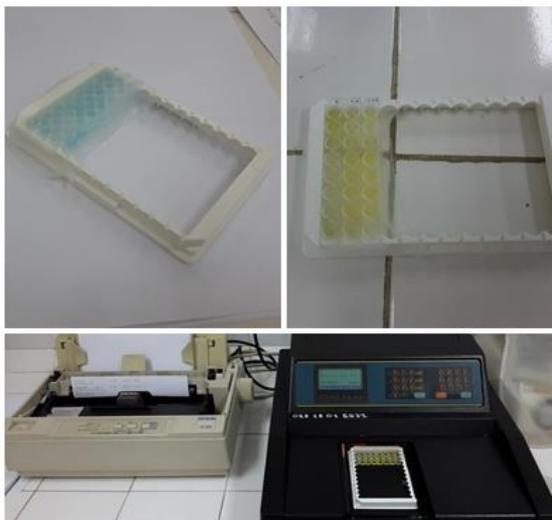


**Figura 6. Etapa de adsorción de las muestras de carbón activado con la solución de microcistina.**



**Figura 7. Filtración de la solución de microcistina posterior a la adsorción con carbón activado.**

análisis de Microcistina total en agua QuantiPlate™ de la marca Envirologix (Figura 8).



**Figura 8. Cuantificación de microcistina por test de ELISA.**

Todas las pruebas se han realizado por triplicado.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos por el desarrollo de la metodología descrita en el trabajo se detallan a continuación.

**1. Caracterización del carbón activado de *Macadamia* sp.** El carbón activado *Macadamia* sp se ha obtenido con un rendimiento de 21,6% y se procedió a analizar el Índice de Iodo, observándose dicho valor en la Tabla 2.

Tabla 2. Índice de Iodo del carbón activado de *Macadamia* sp.

Análisis	Especificación	Resultado
Índice de Iodo (mgI <sub>2</sub> /g)	Min. 200	848

**2. Determinación de capacidad máxima de adsorción y constantes de la isoterma de Freundlich.** Se han aplicado las condiciones de operación establecidas por la Norma ASTM D 3860-98 para la determinación de la

absorbida se encuentra la concentración inicial y la residual expresada en µg/L de la solución al ponerse en contacto con el carbón activado en estudio.

Una vez obtenidas las masas de microcistina adsorbida por unidad de peso de carbón, se ha graficado la isoterma de Freundlich (Figura 9) para el sistema microcistina en agua-carbón activado de *Macadamia* sp.

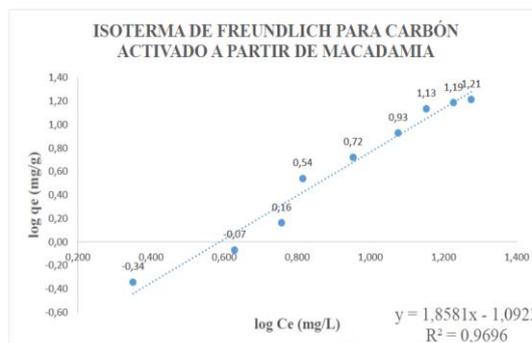


Figura 9. Isoterma de Freundlich para carbón activado de *Macadamia* sp.

En la Tabla 4, se aprecia los resultados de los valores de la capacidad de adsorción máxima, las constantes “n” y “k” para el

Tabla 3. Masa de microcistina adsorbida por unidad de masa de carbón activado de *Macadamia* sp.

Muestra	Promedio de la concentración inicial (C <sub>0</sub> ) de microcistina (mg/L)	Promedio de la concentración de equilibrio (C <sub>e</sub> ) de microcistina (mg/L)	Masa de microcistina adsorbida (mg) (Ec. 1)	Desviación estándar de la masa de microcistina adsorbida	Promedio de masa del carbón activado (g) M	Desviación estándar de la masa de carbón activado	Microcistina adsorbida por unidad de peso de carbón (mg/g) X/M
M <sub>1</sub>	20,62	18,87	0,175	0,002	0,0107	0,003	16,355
M <sub>2</sub>	20,62	16,879	0,374	0,001	0,0243	0,004	15,395
M <sub>3</sub>	20,62	14,221	0,640	0,001	0,047	0,002	13,615
M <sub>4</sub>	20,62	11,915	0,871	0,001	0,1026	0,001	8,484
M <sub>5</sub>	20,62	8,973	1,165	0,022	0,2219	0,028	5,249
M <sub>6</sub>	20,62	6,531	1,409	0,005	0,4071	0,006	3,461
M <sub>7</sub>	20,62	5,717	1,491	0,027	1,0252	0,029	1,454
M <sub>8</sub>	20,62	4,252	1,637	0,031	1,9204	0,025	0,852
M <sub>9</sub>	20,62	2,242	1,838	0,030	4,0506	0,031	0,454

\* Volumen de solución de microcistina: 100mL o 0,1 L.

capacidad de adsorción de contaminantes en fase acuosa por el carbón activado. En la Tabla 3 se observa los datos necesarios para calcular la masa de microcistina adsorbida por unidad de masa de carbón activado de *Macadamia* sp. Entre los datos necesarios para el cálculo de la masa de microcistina

carbón activado de *Macadamia* sp.

Tabla 4. Capacidad máxima de adsorción y constantes de la isoterma de Freundlich para el carbón activado de *Macadamia* sp.

q <sub>e, max</sub>	K	n
16,4 mg/g	0,081(mg.g <sup>-1</sup> .L.mg <sup>-1</sup> ) <sup>1/n</sup>	0,538

## DISCUSIÓN

**1. Caracterización de carbón activado de *Macadamia* sp.** Se observa que el valor obtenido de índice de Iodo de carbón activado es superior al mínimo establecido por la Norma de referencia. El índice de yodo se emplea como representativo de la cantidad de microporos en la muestra de carbón y se utiliza como indicador de la capacidad de adsorción del carbón activado.

**2. Determinación de capacidad máxima de adsorción y constantes de la isoterma de Freundlich.** Müller, Raya-Rodriguez, & Cybis (2009) reportaron para un carbón activado del que no se especifica su precursor, valores de  $k=1,32$  (mg.g<sup>-1</sup>.L.mg<sup>-1</sup>)<sup>1/n</sup> y  $n=3,47$ . Estos valores están por encima de los determinados en esta investigación, pero esto puede deberse a que en el estudio de Müller et al. (2009) se utilizó concentraciones del orden de los 100 µg/L y en esta investigación se trabajó con concentraciones del orden de los 20.000 µg/L, siendo el proceso de adsorción sensible a las concentraciones empleadas, puede deberse a este motivo que los valores de “k” y “n” para el carbón activado de *Macadamia* sp son más bajos.

Por lo tanto, se observa que la capacidad de absorción de microcistina en agua, depende tanto de su concentración, como de la naturaleza y características del carbón activado empleado en la potabilización del agua. La selección adecuada de un adsorbente para la eliminación de microcistina en agua, además de las mediciones de adsorción, requiere de una apreciación de las propiedades físicas, químicas y superficiales del adsorbente.

Con los parámetros de equilibrio “k y n” determinados experimentalmente, es posible calcular los parámetros cinéticos de adsorción, y una vez determinados los parámetros de equilibrio y cinéticos, se podría predecir a través de modelos matemáticos la velocidad de

adsorción de la microcistina empleando carbón activado como adsorbente.

## CONCLUSIONES

A partir de los resultados experimentales se ha determinado que la capacidad máxima de remoción de microcistina, de agua captada del Lago Ypacaraí, utilizando carbón activado de cáscara de *Macadamia* sp ha sido de 16,4 mg/g y que el porcentaje de remoción ha sido de 89%. El intervalo de concentraciones del carbón activado utilizado en el ensayo no fue suficiente para reducir la concentración inicial de la microcistina a 1µg/L, según lo establecido en la Resolución N° 222/02 de la Secretaria del Ambiente. Sin embargo, se esperaba esto, ya que, la concentración inicial de la microcistina empleada es superior a los valores promedios reportados. Aunque considerando el elevado porcentaje de remoción en las condiciones de estudio y las características de la isoterma, es posible aseverar que sería factible la utilización de carbón activado producido a partir de residuos agroindustriales para la remoción de microcistina presentes en las aguas que serán destinadas a consumo humano después del tratamiento correspondiente.

## FINANCIACIÓN

La investigación fue presentada por la Facultad de Ciencias Químicas y financiado con fondos de investigación del Rectorado de la Universidad Nacional de Asunción, Paraguay. Convocatoria 2015.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Azevedo, S.M.F.O. & Magalhães, V. (2006). Metodología para quantificação de cianotoxinas. In: Pádua, V.L. (Org.). *Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos*

- por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. Rio de Janeiro: ABES, 467-503.
- Brasil, C.P. & Brandão, C.C.S. (2005). Avaliação da remoção de microcistina em água de abastecimento público por diferentes carvões ativados em pó produzidos no Brasil. In: *23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Anais Campo Grande: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES.
- Chorus I. & Bartram, I. (1999). Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. Suíza, Ginebra: Organización Mundial de la Salud. Consultado: 29 de octubre del 2015. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42827>
- Di Bernardo, L. & Dantas, A.D.B. (2005). *Métodos e técnicas de tratamento de água*. 2. ed. São Carlos: Rima.
- Kuroda, E. K., Albuquerque Júnior, E.C de, Bernardo, L.D. & Trofino J.C. (2005). Caracterização e escolha do tipo de carvão ativado a ser empregado no tratamento de águas contendo microcistinas. In: *23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Anais. Campo Grande: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES
- Müller, C. C., Raya-Rodriguez, M. T. & Cybis, L. F. (2009). *Adsorção em carvão ativado em pó para remoção de microcistina de água de abastecimento público*. Consultado: 18 de nov. 2015. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v14n1/v14n1a04.pdf>
- Ng, C., Losso, J. N., Marshall, W.E. & Rao, R.M. (2002). Freundlich adsorption isotherms of agricultural by-product-based powdered activated carbons in a geosmin-water system. *Bioresource Technology*, 85(2), 131-135.
- Norma ASTM D 3860-98. *Standard Practice for Determination of Adsorptive Capacity of Activated Carbon by Aqueous Phase Isotherm Technique*: ASTM International.
- Norma mexicana NMX-F-296-SCFI-2011. Industria azucarera y alcoholera. *Determinación del número de yodo en muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar*: Secretaría de Economía.
- Pérez, D. S., Soraci, A. L. & Tapia, M.O. (2008). Cianobacterias y cianotoxinas: Rol de las microcistinas en la salud humana y animal y su detección en muestras de agua. *Revista Analecta Veterinaria*, 28(1), 48-56. Consultado: 25 de setiembre de 2015. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/11209>
- Universidad de Sevilla. (2011). *Manual del carbón activado*. Sevilla: Grupo TAR Bioingeniería. Consultado: 05 de marzo 2015. Disponible en: <http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>
- Velázquez, M. E. (2014). Obtención de carbón activado a partir de cascara de macadamia. En: *8º Congreso de Ciencias Químicas. 7 al 9 de mayo*. Asunción: Federación de Químicos del Paraguay.
- Secretaría del Ambiente. (2002). Resolución N° 222/02: *Por la cual se establece el padrón de calidad de las aguas del territorio nacional*. Asunción: SEAM. Consultado: 01 de diciembre de 2015. Disponible en: [http://www.seam.gov.py/sites/default/files/resolucion\\_222\\_02.pdf](http://www.seam.gov.py/sites/default/files/resolucion_222_02.pdf)