



Elaboración y evaluación de un filtro purificador de agua casero con carbón activado previamente preparado y su reproducción por estudiantes avanzados del nivel secundario

Development and evaluation of a homemade water purifying filter with previously prepared activated carbon and its reproduction by advanced secondary school students

Presentación: 12/09/2023

Aprobación: 16/02/2024

Santiago Décima

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Catamarca - Argentina
decimasantiago_23@hotmail.com

Resumen

Se preparó un filtro purificador de agua casero con materiales simples y con carbón activado, basado en carbón vegetal de quebracho blanco, obtenido mediante activación química con jugo de limón y agua. El mismo mostró eficiencia en cuanto a la filtración de agua contaminada con tierra, semillas, hojas, etc. También se hizo partícipe a estudiantes del nivel secundario en la reproducción del mismo diseño, alcanzando características semejantes en cuanto a la filtración de agua contaminada. Se destaca su interés, preocupación, responsabilidad y dedicación en la resolución de la problemática de contaminación en aguas a través del conocimiento científico y la producción tecnológica con materiales locales y de bajo costo. Se evaluó la capacidad adsorptiva del carbón activado en la adsorción de 4,00 g de café sin azúcar, adsorbato, variando la cantidad de carbón, adsorbente. Se obtuvo una relación de proporción directa entre la cantidad adsorbida de café y la empleada de carbón activado a temperatura ambiente y se apreció una escala colorimétrica con la disminución en la tonalidad oscura del café. Finalmente, se obtuvieron algunas propiedades fisicoquímicas del carbón activado; las cuales son, una densidad de $0,30 \text{ g/cm}^3$, un calor específico de $0,308 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ y concentraciones de humedad (5,67 %), volátiles (26,87 %), cenizas (4,62 %) y carbono fijo (62,84 %).

Palabras claves: Filtro purificador casero, carbón activado, estudiantes del nivel secundario, propiedades fisicoquímicas.

Abstract

A homemade water purifying filter was prepared with simple materials and activated carbon, based on white quebracho charcoal, obtained by chemical activation with lemon juice and water. It showed efficiency in terms of filtering water contaminated with soil, seeds, leaves, etc. Secondary school students were also involved in reproducing the same design, achieving similar characteristics in terms of the filtration of contaminated water. His interest, concern, responsibility and dedication in solving the problem of water pollution through scientific knowledge and technological production with local and low-cost materials stands out. The adsorptive capacity of activated carbon was evaluated in the adsorption of 4.00 g of unsweetened coffee, adsorbate, varying the amount of carbon, adsorbent. A direct proportion relationship was obtained between the adsorbed amount of coffee and the amount of activated carbon used at room temperature and a colorimetric scale was observed with the decrease in the dark tone of the coffee. Finally, some physicochemical properties of activated carbon were obtained; which are, a density of 0.30 g/cm^3 , a specific heat of $0.308 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ and concentrations of humidity (5.67%), volatiles (26.87%), ashes (4.62%) and fixed carbon (62.84%).

Keywords: Homemade purifying filter, activated carbon, secondary level students, physicochemical properties.

Introducción

El agua es un recurso natural necesario para la formación y el sustento de la vida. A su vez, constituye un recurso escaso, según un trabajo del 2009 solo el 3 % en el planeta es dulce y apta para el consumo humano, y se profundiza aún más al considerar los problemas de contaminación que la afectan, poniendo en riesgo la salud de la población (Bazán et al, 2009). Argentina enfrenta desafíos de calidad de aguas superficiales y subterráneas asociados con la presencia de contaminantes de origen natural, como el arsénico, flúor y/o exceso de sales, contaminantes antropogénicos como nitratos, contaminantes fecales, etc., y diversos contaminantes de origen industrial (Auge et al, 2006; Garzonio y Núñez, 2012). En Catamarca, el principal recurso hídrico es el río del Valle, nace en el Norte del Ambato hasta el Sur en Chumbicha. Este se almacena en el dique “El Jumeal”, para distribuir agua potable al departamento Capital y en el dique “Las Pirquitas”, que reserva agua potable y riega los departamentos Capital, Valle Viejo, Fray Mamerto Esquiú y Capayán. Estos acuíferos están sujetos a contaminación por vertido de efluentes de origen domiciliario e industriales (Vigo, 2010), además de la contaminación de fluoruro y arsénico (Vilches et al, 2005; Garzonio y Núñez, 2012), que también están en el acuífero freático en Salar de Pipanaco, Pomán (Saracho, et al., 2019).

Se ha demostrado que la exposición al agua contaminada con sal causa disfunción renal y pulmonar en algunos estudios exploratorios con pollos, alterando significativamente la composición y estructura de su microbiana intestinal (Mirsalimi, et al, 1993; Peng et al, 2022; Li-An et al, 2023). Por otro lado, en los seres humanos el ion fluoruro es un micronutriente esencial para la formación de huesos y dientes. Pero su excesivo consumo lo convierte en una sustancia tóxica con efecto acumulativo que puede ocasionar fluorosis dental, deficiencia renal y hepática, anorexia, abortos, mal formaciones, fluorosis óseas, o inclusive puede provocar diferentes tipos de cánceres (De Luis Román et al, 2004; Miñana,

2010; Licata, 2010). Así mismo, el consumo prolongado de agua contaminada con arsénico o sus sales inorgánicas puede desarrollar un síndrome tóxico y crónico denominado Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE), caracterizado por lesiones cutáneas benignas, que surgen luego de 1 a 15 años de ingesta, y no cuenta con un tratamiento curativo, pero si es prevenible (Gaiolia et al, 2009; Garzonio y Núñez, 2012).

El carbón vegetal es producto de la descomposición de la lignina, celulosa, hemicelulosa y de la pérdida de extraíbles producto de la exposición de la madera a altas temperaturas y baja concentración de oxígeno, generando combustión completa (Valverde et al, 2018). Este combustible vegetal, caracterizado por su fórmula molecular $3C_{16}H_{10}O_2$ (Díaz Batalla et al, 2010) y producto de la calcinación, tiene un amplio uso en actividades domésticas, en la producción energética, la industria química y medicinal, alimenticia y agrícola y en la purificación del agua por adsorción (Antal et al, 2003).

Los fenómenos de adsorción se pueden aprovechar en tecnologías capaces de adsorber los contaminantes presentes en el agua. Uno de los principales materiales con propiedades adsorptivas es el carbón activado, cuyo término refiere a carbones producidos mediante diversas formas de activación química o física con materiales ricos en carbono (Rouquerol et al, 1999), como el carbón vegetal. Sus principales propiedades de interés son su elevada microporosidad y adsorción, por el proceso de activación, y bajo costo económico (Figueiredo et al, 1999; Podkościelny, 2007). Se diseña normalmente para retener sustancias no polares (aceite mineral, polihidrocarburos aromáticos, cloro y derivados), sustancias halogenadas (I, Br, Cl, H, F) y sustancias generadoras de malos olores y sabores en el agua (levaduras, materia orgánica, microorganismos, etc.), sin alterar su composición, respetando sus oligominerales y sin generar residuos (Espinal, 2014). En el caso de un proceso de activación química, el material calcinado o carbonizado (en polvo o granos) se suele dejar reposando en sustancias activadoras como H_3PO_4 (Namane et al, 2005), KOH (Nabais et al, 2008), H_2SO_4 , $ZnCl_2$ (Bandosz, 2006), etc., durante varias horas. Además, las propiedades adsorptivas pueden explicarse con el modelo de Freundlich o de Langmuir en base a las isotermas de adsorción. Por ejemplo, en un trabajo se obtuvo la ecuación clásica de Langmuir para la adsorción física, mediante resultados de adsorción-desorción para columnas de carbón activado a partir de cascara de coco (Carriazo et al, 2010).

El ácido cítrico es un ácido orgánico tricarboxílico (Torres Basantes, 2006), presente en la mayoría de las frutas, sobre todo en cítricos como el limón, la naranja y la mandarina. Su fórmula molecular es $C_6H_8O_7$ (Bachmann, 1978). El limón suele contener mayor concentración de ácido cítrico, desde 6,88 g/L hasta 73,93 g/L, en comparación a las anteriores (Penniston et al, 2008; Leal, 2017), convirtiendo al jugo de limón en un candidato interesante, por su fácil adquisición, bajo costo y alta concentración de ácido cítrico, para ser empleado como sustancia activadora.

Actualmente, muchas localidades de la provincia de Catamarca y Argentina recurren a la compra de botellas o bidones de agua mineral de dispensadores para el consumo, lo cual conduce a un gasto económico periódico elevado. Así mismo, algunos domicilios optan por la compra de filtros purificadores que, en su gran mayoría, se caracterizan por su elevado costo en el mercado. Esto genera que algunas personas, sobre todo las de bajo recursos, no puedan costear algunas de estas alternativas y se posicionen en una situación perjudicial para su salud por todo lo expuesto en párrafos anteriores. Sin embargo, una alternativa interesante es la elaboración de un filtro purificador casero, que pueda ser elaborado con materiales simple, que no requieran un gasto económico (o no necesariamente), y que permita la filtración de residuos y adsorción de contaminantes en el suministro de

agua, ya sea a través del servicio de agua potable u otros. Cabe mencionar que un proceso de filtración sólo impide que las fases sólidas no pasen a través de un filtro, mientras que en un proceso de purificación se eliminan las impurezas del agua por adsorción, destilación y radiación UV (entre otras). La idea de un filtro purificador de agua (casero) es de combinar ambos procesos.

Por todo lo expuesto anteriormente, este trabajo aporta la evaluación de un diseño de filtro purificador de agua casero con carbón activado preparado con un método sencillo de activación química, utilizando jugo de limón y agua como sustancia activadora, para que cualquier persona sea capaz de elaborarlo y pueda implementarlo en su domicilio como herramienta tecnológica capaz de purificar el agua para su consumo. Así mismo, la mejor manera de brindar este conocimiento a la población para su rápida inserción y puesta en práctica, es a través de la escuela secundaria y/o primaria, por lo que también se trabajó con estudiantes de 4° año del nivel secundario (Colegio Juan Pablo II de la provincia de Catamarca), quienes trabajaron responsablemente en una réplica del mismo por grupo. Finalmente, se evaluaron las propiedades adsorptivas del carbón activado, mediante un mecanismo de columnas que permitía interactuar con café sin azúcar a temperatura ambiente, y se determinaron algunas de sus propiedades fisicoquímicas, como la densidad, calor específico y contenidos de humedad, volátiles y carbono fijo, mediante métodos simples.

Métodos y materiales

Los materiales empleados para la elaboración del filtro purificador se detallan a continuación:

- *Carbón activado* (15 g): Se utilizó un carbón vegetal regional de quebracho blanco sometido a un proceso de activación con jugo de limón, agua y en un horno de cocina a gas de uso doméstico. El proceso detallado se explica líneas más abajo.
- *Arena fina* (150 g): Arena de tamaño inferior a la arena gruesa conseguida en un corralón (pero se puede conseguir fácilmente en ríos, playas, médanos, etc.). Para mejorar la selección, la muestra se pasó por un colador de cocina (No. 10 Auge E11), para retener el resto de arena gruesa o superior descartable.
- *Arena gruesa* (350 g): Arena de tamaño inferior a la granza pero superior al de la arena fina. Se consiguió en un corralón (también se puede conseguir fácilmente en ríos, playas, médanos, etc.) y, para mejorar la selección de esta, se pasó por el mismo colador de cocina (No. 10 Auge E11), pero en este caso el contenido retenido era el que se seleccionaba.
- *Granza* (450 g): Consiste en piedras de tamaño pequeño (de ~2 cm³ cada una, en promedio). También se consiguió en un corralón, pero naturalmente también es fácil de conseguir, ya sea en ríos, quebradas, etc.
- *Algodón*: Consiste en el algodón de uso medicinal y doméstico que puede conseguirse en cualquier farmacia, negocio, etc. Mayormente siempre se cuenta con este recurso.
- *Botella de plástico*: Se utilizó una botella de gaseosa de plástico transparente de 1,5 litros.

El carbón vegetal, la granza, arena gruesa y arena fina fueron lavados con agua de cañería previamente a la elaboración del filtro purificador, con el objetivo de evitar la contaminación por “impurezas” en su constitución; como ser productos orgánicos que, después de un determinado periodo de uso, puede originar bacterias y/o germinación de otros organismos vivos, además de otros elementos como tierra, plásticos, cascaras, hojas, etc.

El proceso de lavado y limpieza de la granza, arena gruesa y arena fina se realizó por separado, pero de la misma manera. En un balde mediano con agua de cañería limpia se agregó primero la granza y se revolvió hasta que los restos de “impurezas” quedaran flotando o sean notables por la suciedad del agua. Posteriormente se cambió este líquido por uno nuevamente limpio e incoloro, repitiendo el procedimiento reiterada veces hasta que la coloración y/o residuos del mismo no sean visibles, para luego separar la mezcla heterogénea mediante decantación, filtración o vertiendo cuidadosamente el agua sin dejar caer el material. La granza húmeda y limpia, obtenida como resultado, se dejó secar en el sol dentro de un recipiente relativamente grande, para dejar espacios entre cada piedra y que el secado sea más rápido y efectivo. Luego se realizó lo mismo para los otros dos materiales. Una vez secos, se almacenó cada material en distintos bowls limpios con tapas, listos para ser empleados, ver figura 1 (a)-(c).

La preparación del carbón activado se realizó con el método de activación química similar al de algunos autores (Quintana et al, 2008; Carriazo et al, 2010; Grisales Motato y Rojas Arrieta, 2016). Primero se introdujo fragmentos pequeños del carbón vegetal seco en una licuadora de uso doméstico para producir carbón vegetal en polvo (también se puede hacer en un mortero o con martillo), el cual se pasó por un colador de cocina (No. 10 ASTM E11) para evitar los granos grandes. Luego, en una jarra medidora se preparó 150 ml de jugo de limón exprimido con 200 ml de agua de cañería, obteniendo una mezcla homogénea de 350 ml (sin semillas). Posteriormente, se introdujo 280 g del carbón vegetal en polvo dentro de un bowl junto con la mezcla anterior y se tapó dejándola reposar durante 12 h aproximadamente. Este resultado, se pasó por un filtro de tela limpio (colador de café), para separar el carbón de la mezcla líquida y se enjuago cuatro veces con agua de cañería pasándolo, en cada repetición, por el filtro de tela para retener el carbón. Este procedimiento se realizó con delicadeza para evitar perder muestras significativas del material. Luego, en una fuente pequeña para horno, se agregó toda la cantidad resultante amojosada y se la introdujo en el medio de un horno de cocina a gas de uso doméstico, que estuvo calentado durante 10 min. Finalmente, se dejó este contenido dentro del horno durante 1 h a una temperatura promedio de 180 °C. El resultado fue un carbón en polvo “activado” con una tonalidad más grisácea, ver figura 1 (d).

Al algodón se lo empleó directamente desde su empaque, sin realizar pretratamiento, y la botella de plástico simplemente se enjuagó con agua de cañería repetidas veces antes de su uso. En la figura 1 se muestran la granza, arena gruesa, arena fina y el carbón activado en condiciones para elaborar el filtro purificador casero.



Fig. 1: Cuatro de los materiales en condiciones para la elaboración del filtro purificador: (a) granza, (b) arena gruesa, (c) arena fina y (d) carbón activado.

En la figura 2 se muestra una comparación visual de los carbones en los distintos pasos del proceso de activación hasta llegar al carbón activado.

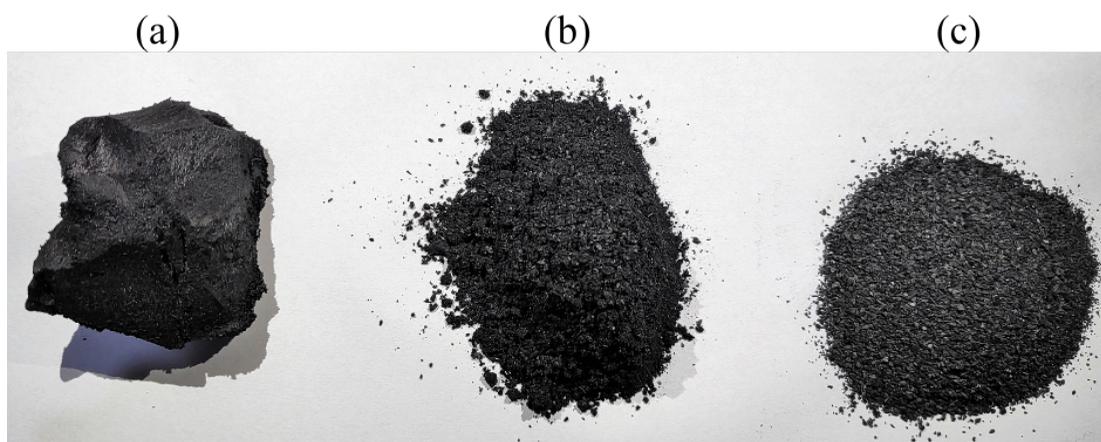
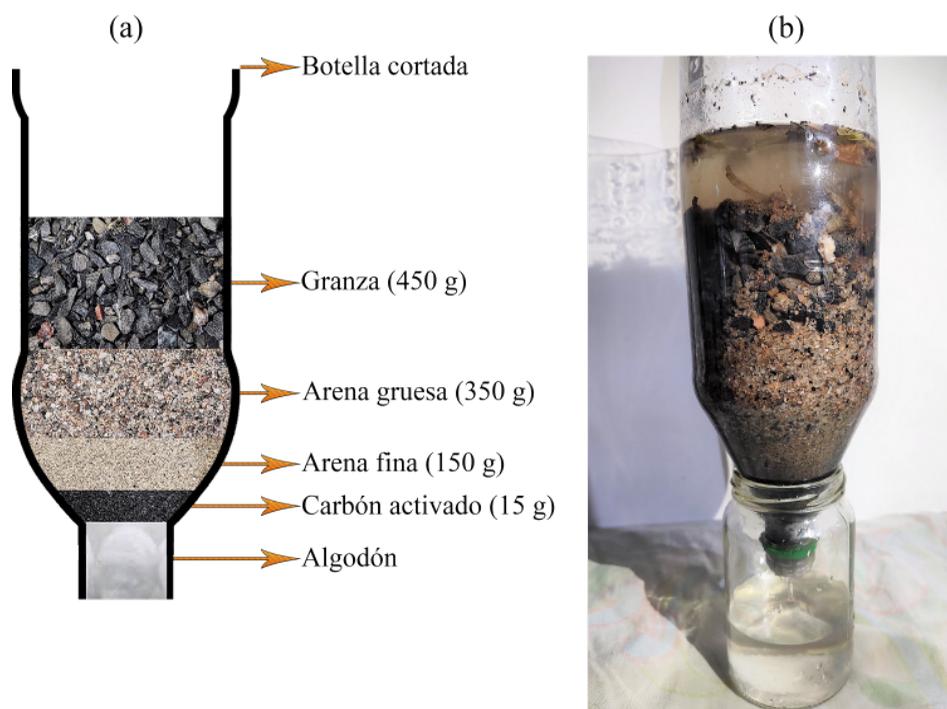


Fig. 2: Muestras del carbón en los distintos pasos del proceso de activación: (a) carbón vegetal, (b) carbón vegetal en polvo y (c) carbón activado.

El diseño o modelo que se empleará para la elaboración del filtro purificador es similar a uno presentado en un trabajo de tesis, pero sin la selección de varios tamaños de piedras (Carrión Paulo, 2019). Primero, se cortó la base de la botella de 1,5 litros y se agregó una pequeña cantidad de algodón en la tapa de la misma, con el objetivo que absorba y evite el paso del carbón activado. Posteriormente, se agregó una cantidad de 15 g del carbón activado, luego 150 g de arena fina, seguidamente 350 g de arena gruesa y, finalmente, 450 g de granza. El esquema y el filtro real elaborado en proceso de filtración de agua contaminada se muestran en la figura 3.



Esta propuesta puede justificarse de la siguiente manera. La granza es capaz de retener residuos grandes (hojas, plásticos, trozos de madera, etc.), la arena gruesa puede retener los contaminantes que logran evadir la granza (semillas, piedritas, etc.), luego la arena fina se encarga de retener lo que atraviesa por la arena gruesa (tierra, contaminantes pequeños, etc.) y, finalmente, el carbón activado puede adsorber otras sustancias contaminantes a nivel microscópico, incluso molecular, como se mencionó en la introducción.

Una vez elaborado el filtro purificador casero, se procedió a colocarlo por encima de un frasco de vidrio de ~360 ml de capacidad neta, que a su vez lo mantenía fijo, y se añadió menos de esa cantidad en agua de cañería para que libere el exceso de carbón a través del algodón y revisar que el sistema quede efectivamente fijo y en correcto funcionamiento. Con esto, el filtro purificador quedó en condiciones de evaluarse con agua contaminada.

El agua contaminada resultó de la mezcla de agua de cañería con tierra, hojas, semillas, etc., adquiriendo tonalidad marrón por la suciedad, donde se apreciaba estas fases sólidas en su composición. Posteriormente, se añadió ~300 ml de la misma dentro del filtro purificador casero para ver el proceso de filtración, figura 3 (b). Finalmente, las muestras de agua contaminada y agua filtrada fueron separadas en dos frascos esterilizados de plásticos para posteriormente evaluarlas en un microscopio. También se empleó este instrumento para analizar y comparar las muestras del carbón vegetal en polvo, de la figura 2 (b), y del carbón activado, de la figura 2 (c).

Esta propuesta se trabajó con un curso de cuarto año del nivel secundario, del colegio Juan Pablo II, donde se motivó a las y los estudiantes sobre las utilidades básicas del carbón activado en pasta de dientes, jabón exfoliantes, etc., como así la del filtro purificador casero, que se llevaría a cabo como trabajo evaluativo. Antes de su elaboración, se dictaron algunas clases a modo de introducción sobre la química del carbono, como elemento

fundamental en la Química Orgánica, se comparó algunas de las principales características del carbón activado respecto al carbón vegetal presentes en las bibliografías del nivel medio y se discutió sobre la problemática de contaminación en aguas para el consumo humano. Posteriormente, se presentó una clase sobre el mecanismo del filtro purificador casero, se explicó su importancia ante dicho problema y se detalló los materiales a usar, el orden de los mismos y la función que cumplen cada uno de ellos en su constitución. Luego, se elaboró uno a modo de muestra, para presenciar el proceso de filtración de agua contaminada. Esto motivó a las y los estudiantes a preparar uno por su propia cuenta.

Para la elaboración del filtro purificador por parte de las y los estudiantes se formaron 4 grupos de un máximo de 6 integrantes, con el propósito de que cada miembro aporte uno de los materiales al grupo y evitar dificultades en cuanto a la búsqueda y preparación de los mismos. Este trabajo se llevó a cabo aproximadamente dos semanas después de formar los grupos para que, en el caso de no conseguir cierto material o dificultarse el proceso de activación del carbón vegetal en polvo, se pueda consultar con el docente que lineamiento seguir, teniendo cierta flexibilidad ante situaciones dificultosas. Bajo este concepto, un grupo tuvo que trabajar con carbón vegetal en polvo y sin arena.

Para evaluar las propiedades adsorptivas del carbón activado ante café batido a temperatura ambiente, se empleó un sorbete de plástico inflexible y resistente de 0,5 cm de radio, el cual se recortó en tres fragmentos de 8 cm de largo aproximadamente. En un extremo de cada recorte se colocó una cantidad pequeña de algodón, con un poco de cinta adhesiva transparente que lo sostenga ligeramente sin tapar el orificio, y luego cantidades de 0,53 g, 1,13 g y 1,65 g de carbón activado por encima del algodón de cada fragmento, obteniendo columnas de 2 cm, 4 cm y 6 cm de largo, respectivamente. También se agregó otra cantidad de algodón por encima del carbón activado en cada columna resultante. La figura 4 (a) muestra estos tres recortes mencionados. Cada una de estas columnas fue adosada con cinta adhesiva a una tapita transparente, para fijarlas, y en el otro extremo se colocó un embudo ligero de plástico para facilitar el ingreso del contenido al sistema. La cantidad de café batido añadida a cada columna fue de 4,00 g. La figura 4 (b) muestra este sistema para la columna de 4 cm/1,13 g de carbón activado.

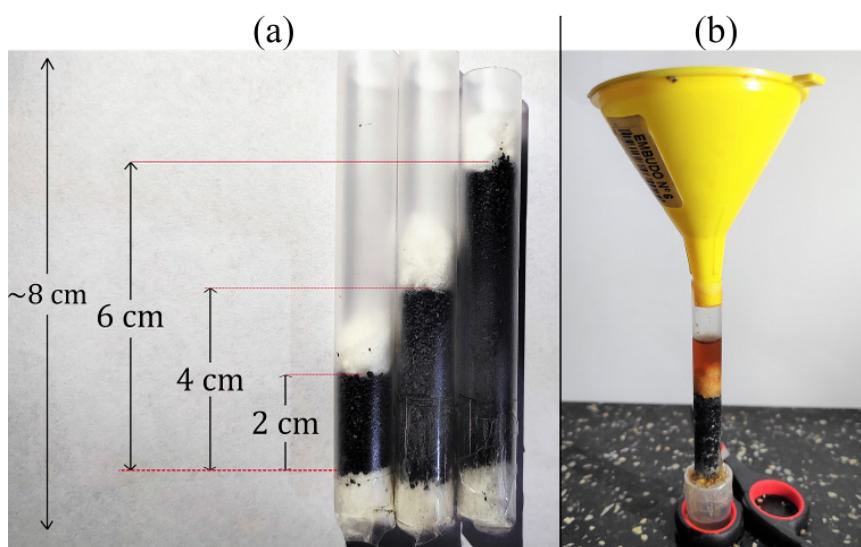


Fig. 4: (a) columnas de aproximadamente 8 cm de alto y 0,5 cm de radio con: 0,53 g (2 cm), 1,13 g (4 cm) y 1,65 g (6 cm) de carbón activado, y (b) sistema diseñado, con la columna 4 cm/1,13 g de carbón activado, para evaluar la capacidad de adsorptiva del mismo ante 4,00 g de café a temperatura ambiente.

El sistema de la figura 4 (b) se elaboró de igual manera para las otras dos columnas de carbón activado, la de 2 cm y 6 cm. En todo caso se añadió la cantidad de 4,00 g de café a una temperatura ambiente para analizar la capacidad de adsorción del carbón activado en cada columna y las medidas en gramos fueron obtenidas con una balanza de precisión digital de 0,01 g de apreciación, usada tradicionalmente para la joyería.

En última instancia, se determinaron las características fisicoquímicas del carbón activado y del carbón vegetal. Es decir, la densidad, calor específico y los contenidos de humedad, volátiles, cenizas y carbono fijo.

Para la densidad, se utilizó un recipiente con un volumen de 7,10 cm³, donde logró introducirse 2,71 g de carbon vegetal en polvo y 2,17 g del carbón activado del presente trabajo, y se empleó la relación de masa sobre volumen.

El calor específico de cada material se determinó con el mismo método o procedimiento. Por ejemplo, se empleó una muestra de 1,31 g de carbón vegetal en polvo contenido en un recipiente de aluminio, el cual se sometió a un flujo de calor a través de un anafe eléctrico, hasta alcanzar una temperatura de 175,9 °C. Luego, se depositó esta muestra dentro de un termo aislante con 42,37 g de agua a 30,5 °C alcanzando una temperatura final de 31,5 °C en el equilibrio térmico. En el caso del carbón activado, se utilizó 1,34 g hasta llegar a una temperatura de 104,9 °C; el agua contenida fue de 43,48 g a una temperatura de 30,5 °C y la temperatura final alcanzada fue de 31,2 °C. De esta manera, se puede utilizar la igualdad:

$$Q_{\text{agua}} = -Q_{\text{carbón}} \quad (1)$$

que relaciona el calor sensible absorbido por el agua y el calor sensible cedido por el carbón (vegetal en polvo o activado). Con esta relación, se puede despejar el calor específico del carbón, $c_{e\text{-carbón}}$, para los dos casos, utilizando los datos previamente mencionados:

$$C_{e\text{-carbón}} = -\frac{m_{\text{agua}} \cdot C_{e\text{-agua}} \cdot (T_f - T_{0\text{-agua}})}{m_{\text{carbón}} \cdot (T_f - T_{0\text{-carbón}})} \quad (2)$$

Para ambos casos, se tomó el valor de 1 cal/g°C para el calor específico del agua ($c_{e\text{-agua}}$).

El Contenido de Humedad (CH), Contenido de Volátiles (CV) y el Contenido de Cenizas (CC) para ambas muestras de carbón se determinó en base al estándar ASTM D1762-84 (ASTM, 2021).

En ese sentido, en un cuenco de porcelana para horno se colocó 3,43 g de carbón vegetal en polvo y en otro cuenco 3,54 g de carbón activado. Ambas muestras se llevaron al horno a una temperatura de 125 °C durante 30 minutos, donde la masa del carbón vegetal posterior a ello fue de 2,97 g, y 3,35 g para el carbón activado. Con esto, se empleó la fórmula porcentual:

$$CH = \frac{m_h - m_s}{m_s} \cdot 100\% \quad (3)$$

para determinar el CH. Donde m_h es la masa húmeda, previa a ser introducida al horno, y m_s es la masa seca, luego de 30 minutos a 125 °C.

El CV se determinó introduciendo 2,29 g de masa seca del carbón vegetal en polvo en un cuenco y 2,27 g de masa seca de carbón activado en otro. Se llevaron a horno durante 20 minutos a una temperatura próxima a los 600 °C. Cabe aclarar que no se alcanzó la temperatura de 950 °C como sugiere el estándar ASTM D1762-84 (ASTM, 2021a), pero se compensó dejando las muestras por más tiempo. Luego de ello, la masa de carbón vegetal fue de 1,62 g y la de carbón activado de 1,66 g. La fórmula empleada es:

$$CV = \frac{m_s - m_{nv}}{m_s} \cdot 100\% \quad (4)$$

siendo m_{nv} la masa de contenidos no volátiles, es decir, luego de ~600 °C durante 20 minutos.

El CC se determinó dejando 0,88 g de masa seca de carbón vegetal en polvo y 1,08 g de masa seca del carbón activado en los cuencos, los cuales se colocaron en horno durante más de 3 horas a una temperatura de ~600 °C hasta quedar en cenizas. Luego, se apreció que ambas muestras quedaron transformadas en cenizas, ver figura 12, siendo 0,04 g la masa final del carbón vegetal y 0,05 g la del carbón activado. La fórmula empleada para este parámetro es:

$$CC = \frac{m_{ce}}{m_s} \cdot 100\% \quad (5)$$

donde m_{ce} es la masa de residuos o cenizas, es decir, luego de dejar cada muestra a ~600 °C durante más de 3 horas.

Por último, para determinar el Carbono Fijo (CF), se empleó la fórmula:

$$CF = 100\% - (CH + CV + CC) \quad (6)$$

tal como sugiere el estándar ASTM D3172-13 (ASTM, 2021b). Cabe aclarar que las fórmulas de CH, CV, CC y CF se aplican para cada muestra independientemente.

Resultados y discusiones

Al añadirse la mezcla heterogénea de agua contaminada en el filtro purificador casero, se observó un proceso de filtración considerablemente rápido, tomando aproximadamente 2 minutos en filtrar los ~300 ml. El resultado observable consistía en agua inodora y prácticamente incolora. En la figura 3 (b) se observa parte del proceso de esta filtración. En la figura 5 se comparan las muestras de agua contaminada, con los contaminantes mencionados anteriormente, y de agua filtrada a través del filtro purificador casero.

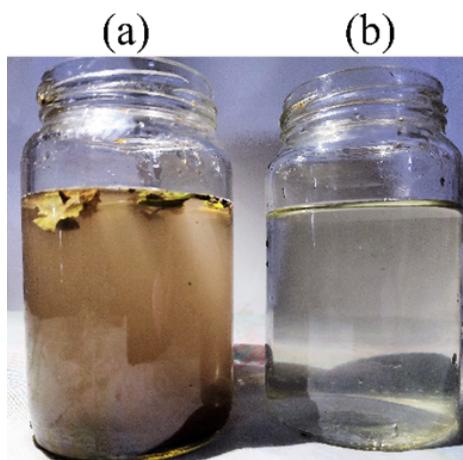


Fig. 5: Resultado macroscópico: (a) ~300 ml de agua contaminada con tierra, hojas, semillas, etc., y (b) ~300 ml de agua filtrada, a través del filtro purificador de agua casero.

Comparando las muestras en la figura 5, se observa un proceso de filtración eficiente para el agua contaminada, eliminando prácticamente todos los contaminantes a simple vista y resultando en agua inodora y prácticamente incolora. A sí mismo, las muestras almacenadas en los dos frascos esterilizados de plásticos, fueron analizadas a través del microscopio tradicional (no digital), observando los resultados presentes en la figura 6. Aunque para mejorar el análisis del agua contaminada por este instrumento, se decidió quitar los restos de hojas y residuos grandes para no obstaculizar la observación de los demás contaminantes pequeños a través del mismo.

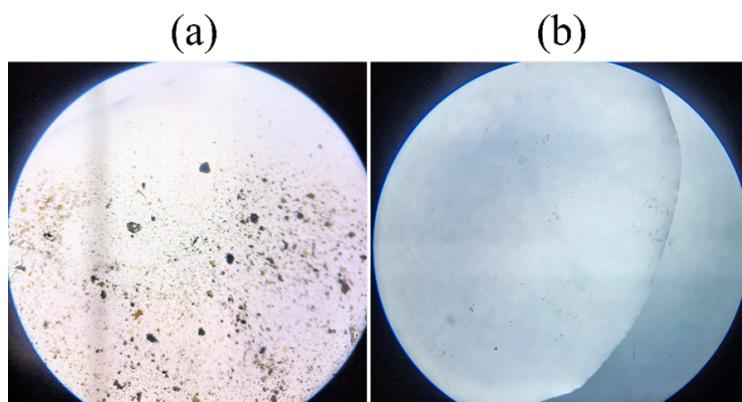


Fig. 6: Resultados microscópicos (fotografías a través de uno de los oculares): (a) agua contaminada con tierra, hojas, semillas, etc., (b) agua filtrada, a través del filtro purificador de agua casero.

A nivel microscópico se observa que el agua filtrada a través del filtro purificador casero, tampoco contiene los contaminantes como hojas, tierra, semillas, etc., dejando prácticamente sin rastros de estas, figura 6 (b). No obstante, cabe mencionar que los puntos negros en la misma fotografía pueden ser restos de carbón vegetal en polvo que quedaron adheridos al cristal cóncavo, el que se coloca arriba del laminar y que contenía dicha muestra, y

que se analizó, cronológicamente, antes que el agua filtrada y la contaminada. Esto se intentó prevenir analizando ambos carbones antes que las aguas, para evitar que el mal secado de este líquido adhiera muestras de algunos de estos carbones a la superficie cristalina. De esta manera, luego de limpiar con un pañuelo de papel seco los restos del último carbón analizado (en nuestro caso el vegetal), introducir primeramente la muestra de una de las aguas (en nuestro caso el agua filtrada) y luego la otra muestra (agua contaminada). Aparentemente, no se terminó de limpiar los restos del carbón vegetal con el pañuelo, manifestándose en esos puntos negros de dicha figura.

Estos resultados anteriores, tanto los de la figura 5 como la 6, ponen en manifiesto la eficiencia del filtro purificador de agua casero en cuanto a la erradicación de los contaminantes presentes en el agua. Las capacidades adsorptivas del carbón deben permitir retener los demás contaminantes a nivel molecular, según el marco teórico. No obstante, más adelante se hará una ligera evaluación de esta capacidad para el carbón activado diseñado en el presente trabajo.

Además del diseño de filtro realizado en el presente trabajo, que puede ser instalado en un sistema conectado a la grifería del suministro de agua domiciliario, una alternativa interesante es conectarlo al tanque de agua, también de uso doméstico, que reserva gran cantidad de agua para sus inquilinos. Esta propuesta fue diseñada en un trabajo cuyo objetivo también plantea una solución a la problemática sobre la contaminación en el suministro de agua. En la misma se propuso que, un tanque de alta capacidad (2000 litros), se conecte por tubería a otro tanque de plástico de ~208 litros como filtro purificador de gran tamaño, con materiales parecidos a los empleados para el filtro de la figura 3, y este último se conecta con otro tanque de gran capacidad (500 litros) que almacenaría este líquido tratado y listo para su uso y consumo. Este sistema fue eficiente, mostrando un puntaje IRCA de 32 (Riesgo Medio) para el agua tratada vs 72 (Riesgo Alto) para el agua antes de pasar por este gran filtro (Avila Bareño y Moreno Figueroa, 2016). La figura 7 muestra un esquema de este aporte.



Fig. 7: Esquema representativo (no a escala) de un diseño alternativo para la implementación del filtro purificador de agua de uso doméstico (Avila Bareño y Moreno Figueroa, 2016). El diseño utiliza materiales similares a los empleados en el presente trabajo, pero de mayor costo.

Por otra parte, las muestras analizadas a través del microscopio para el carbón vegetal en polvo y el carbón activado se presentan en la figura 8.

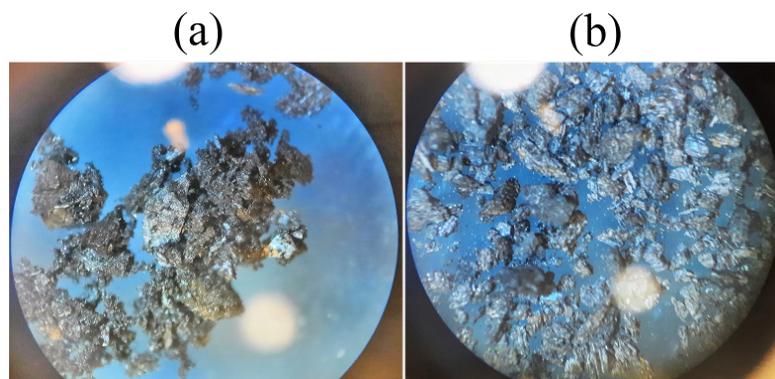


Fig. 8: Análisis con el microscopio (fotografías a través de uno de los oculares) del: (a) carbón vegetal en polvo, y (b) carbón activado preparado en el presente trabajo.

El carbón vegetal en polvo, resultado de pulverizar el carbón vegetal de quebracho blanco (limpio) de origen local, consistía en una muestra que se adhería con cierta facilidad a cualquier superficie (manos, cristales, etc.), incluso a sí mismo como se logra apreciar en la figura 8 (a), donde se aprecia un cúmulo de este en el centro. Mientras que, el carbón activado, con una tonalidad más grisácea, difícilmente se adhería al tacto o con las distintas superficies, ni tampoco a sí mismo como se aprecia en la figura 8 (b).

Una de las características del carbón vegetal, a base de madera carbonizada o calcinada, es la friabilidad. Es decir, cuando se vuelve quebradizo y tiende a desmenuzarse. La misma aumenta con el incremento de la temperatura de carbonización, así como la concentración de Carbono Fijo, mientras que decrece la de las sustancias volátiles, como la de alquitranes (Díaz Batalla et al., 2010). Un intervalo de temperatura óptima, que ofrece equilibrio entre friabilidad y alto contenido de Carbono Fijo, es de [450,500] °C. No obstante, a bajas temperaturas se obtiene un mayor rendimiento en la obtención de este material, pero el producto es de mala calidad (es corrosivo por contener estos alquitranes ácidos que no arden con una llama limpia sin humo), y un buen carbón vegetal comercial debería contener alrededor del 75% de Carbono Fijo y carbono puro; para lo cual se puede emplear los 500 °C (FAO, 1983). Por otro lado, el carbón activado además de usarse como purificador en la industria, se está empezando a utilizar en la medicina para tratar problemas digestivos (Díaz Batalla et al., 2010). Su composición es de estructuras bidimensionales de planos hexagonales de átomos de carbono que carecen de orden cristalográfico, ya que se encuentran desplazados unos respecto a otros y solapados entre sí, por lo que presentan un elevado porcentaje de la estructura desordenada y sus poros ocupan, generalmente, un volumen mayor a 0,2 ml/g y un área superficial interna mayor que 400 m²/g (Grisales Motato y Rojas Arrieta, 2016), siendo caracterizados por un sistema “ramificado” con raíces de distintos tamaños o anchuras (d), que nacen desde los macroporos ($d \geq 50$ nm) y se van ramificando a mesoporos ($d = 2$ a 50 nm), microporos ($d = 0,8$ a 2,0 nm) y submicroporos ($d \leq 0,8$ nm) (García, 2001).

Uno de los primeros usos que tuvo el carbón vegetal fue en Grecia, alrededor del 1550 a. C., como adsorbente tanto en aplicaciones médicas como para filtrar el agua; eliminando malos olores y sabores y prevenir enfermedades. Así mismo, la primera aplicación industrial del carbón activado tuvo lugar en Inglaterra, en 1794, donde se usó como decolorante en la industria del azúcar. Luego en 1872, aparecen las primeras máscaras

con filtros de carbón activado usadas en la industria química para evitar la inhalación de vapores de mercurio. No es sino hasta 1881, cuando Kayser introduce el término “adsorción” para describir como los materiales carbonizados atrapan a los gases. Luego, Von Raphael Ostrejko, desarrolló varios métodos para producir carbón activado tal y como se conoce hoy en día. En 1901 patentó dos de sus métodos (Grisales Motato y Rojas Arrieta, 2016).

La inserción de las y los estudiantes en la elaboración del filtro purificador casero fue positiva. Cada grupo logró realizar su filtro, con sus propios materiales, siguiendo las instrucciones de pretratamiento guiadas por el docente durante las clases. Estas producciones resultaron ser muy eficientes en cuanto a la filtración de agua contaminada, de las mismas características mencionadas en la metodología, obteniendo agua prácticamente incolora e inodora. La figura 9 (a)-(d) muestra los cuatros filtros, cada uno elaborado por un grupo diferente, durante el proceso de filtración. En el caso de uno de los grupos, el que diseño el filtro de la figura 9 (d), solamente contaba con dos de los materiales, la granza y el carbón vegetal en polvo, ya que no lograron conseguir la arena gruesa y la arena fina. Tampoco realizaron el proceso de activación del carbón vegetal en polvo. No obstante, siguieron correctamente la metodología de pretratamiento para la granza y para la obtención del carbón vegetal en polvo. Por lo que su filtro, aun con esos dos materiales, logró ser casi tan eficiente como los demás.

En la figura 9 (e) se logra observar una de las comparaciones para el agua contaminada y el agua filtrada a través de uno de los filtros. No se tomaron otras muestras por ser similares a la mencionada.

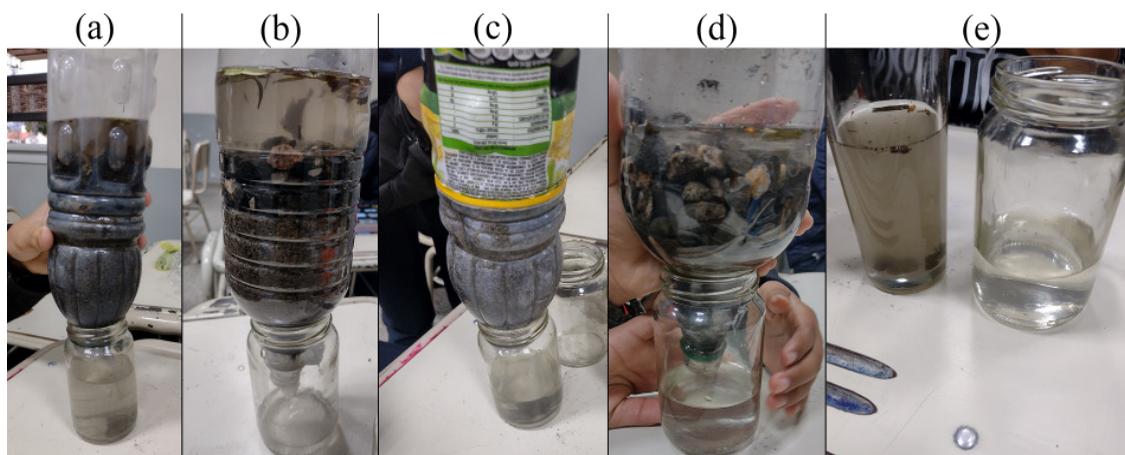


Fig. 9: (a) - (c) Filtro purificador casero elaborado por distintos grupos con todos los materiales detallados anteriormente, (d) filtro purificador casero elaborado por un grupo con granza y carbón vegetal en polvo, y (e) muestra del agua contaminada y el agua filtrada con uno de los filtros.

Es importante incentivar a las y los estudiantes a que tomen curiosidad sobre el mundo tecnológico, orientándolos a la planificación de modelos ejecutables y viables para la resolución de problemáticas mediante el conocimiento científico. Por ejemplo, en un trabajo se elaboró una propuesta para que estudiantes se relacionen con el medio ambiente, observando la contaminación sobre las aguas de posible consumo, y que traten de darle solución haciendo uso de un prototipo de filtro de agua casero. Para ello, y con el método de indagación,

se daría solución a este problema de investigación a través de un margen de prueba y error, haciendo uso de los medios y materiales de su contexto y rescatando los saberes previos que constituyen al método científico (Carrión Paulo, 2019). Es sabido que, hacer protagonistas a las y los estudiantes en la resolución de problemáticas que subyacen en una sociedad, como un filtro purificador de agua casero elaborado con materiales que se consiguen fácilmente, les puede permitir adquirir un aprendizaje perdurable y necesario para futuras intervenciones propias a través de la ciencia y tecnología.

Resulta interesante evaluar las propiedades adsorptivas del carbón activado al interactuar con adsorbatos líquidos con cierta coloración natural o artificial, como el café, jugo comercial a base de polvo, refrescos, etc. Esto fue realizado por algunos autores, quienes analizaron las isotermas de adsorción para determinar su tendencia según modelos conocidos, como el Langmuir o Freundlich (Quintana et al, 2008; Carriazo et al, 2010).

El sistema elaborado para analizar la adsorción de 4,00 g de café a temperatura ambiente como adsorbato, mostró tendencia de proporcionalidad directa con la cantidad de carbón activado empleado como adsorbente. En la columna de 2 cm/0,53 g, de los 4,00 g de café se obtuvo una cantidad de 2,71 g, en la de 4 cm/1,13 g una de 2,10 g y, finalmente, en la de 6 cm/1,65 g una de 1,51 g. Lo que puede indicar que, las cantidades de café adsorbidas por el carbón activado en cada columna son de 1,29 g, 1,90 g y 2,49 g, respectivamente. Esta estimación se muestra en la figura 10.

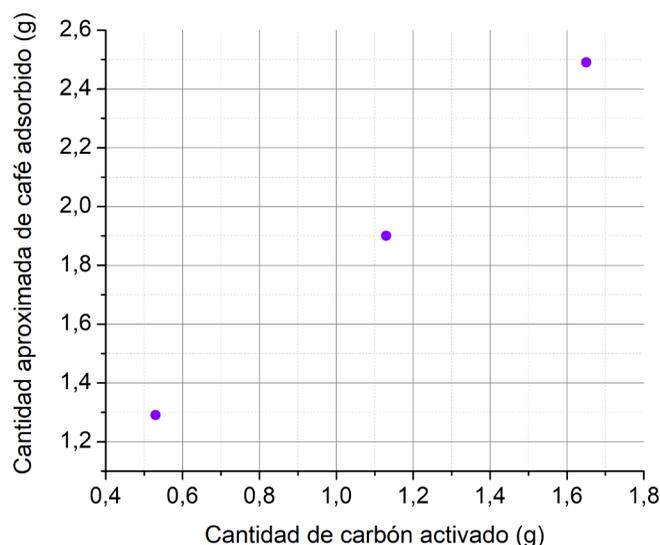


Fig 10: Isoterma de adsorción. Cantidad aproximada de café adsorbido en función de la cantidad de carbón activado en cada columna.

Para determinar la cantidad de café adsorbida o retenida en el carbón activado, se debe considerar la masa inicial de 4,00 g, y con la masa resultante luego de pasar a través de la columna se debe hacer la diferencia “masa inicial” menos “masa final”. Con estos valores se construye la figura 10 teniendo en cuenta la columna de carbón activado empleada.

Cabe mencionar que las cantidades declaradas en la figura 10 puede que no sean suficientes para establecer con precisión una tendencia de la isoterma de adsorción; es decir, la experiencia podría extender aún más la cantidad de columnas para asumir alguna tendencia en particular. No obstante, por la forma en la que se manifiestan los puntos del gráfico se

puede aludir que podría estar contemplado dentro de algunos de los modelos mencionados (el de Langmuir o Freundlich). El tiempo promedio medido en cada proceso de adsorción es de ~1 min.

En un trabajo de investigación se preparó carbón activado mediante activación química con H_3PO_4 durante 48 horas, a partir de cascara de café carbonizada durante 3 h y sometida a "steam explosion" para incrementar su contenido de lignina. El mismo presenta características físicas y de adsorción mejores que las obtenidas con este mismo residuo por otros medios de activación, contando con un área superficial de $1263 \text{ m}^2/\text{g}$ según el análisis BET. Su gran potencial como adsorbente se refleja en su capacidad de remoción de Ni(II) en la isoterma de adsorción, la cual muestran un comportamiento tipo Langmuir (Quintana et al, 2008).

Por otro lado, otra investigación realizada hizo más énfasis en las capacidades adsorptivas de un carbón activado en la adsorción de los colorantes contenidos en refrescos, tanto con las isotermas de adsorción como en la descoloración de los mismos. El material fue preparado a partir de cascara de coco calcinada a $280 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 4 h, para luego triturarse en mortero y tamizarse en malla No. 60 ASTM, finalmente el resultado se sometió a un proceso de activación química con aproximadamente $3,5 \text{ M HNO}_3$, durante 4 h, a temperatura ambiente, en cabina de extracción y con agitación constante. El resultado se lavó cinco veces con agua destilada empleando centrífuga (a 5000 rpm, durante 3 min) y se secó en una estufa (10 h a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ y luego 3 h a $160 \text{ }^\circ\text{C}$). Para evaluar sus propiedades adsorptivas, los autores idearon un sistema de 10 columnas de vidrio, parecidas a las de la figura 4 (a), optando por el refresco de uva, el cual contaba con una escala colorimétrica para distintas concentraciones. Efectuaron dos ensayos de adsorción y uno de desorción: El primero variando la altura de la columna de adsorbente (carbón activado) manteniendo constante la concentración del adsorbato (refresco de uva), el segundo variando la concentración del refresco pero manteniendo constante la altura de adsorbente y, por último, el ensayo de desorción consistió en agregar $1,5 \text{ mL}$ de agua destilada a $60 \text{ }^\circ\text{C}$, a las primeras 8 columnas del segundo ensayo, para que el agua desorba el colorante adsorbido y alcance el equilibrio a temperatura ambiente en 45 min. Esto les permitió llegar a la ecuación clásica de Langmuir para adsorción física, mediante los resultados de adsorción-desorción de las isotermas de adsorción obtenidas (Carriazo et al, 2010).

Así mismo, la capacidad de adsorción del carbón activado no solo se manifiesta en la cantidad resultante de café, sino también en la tonalidad del mismo como resultado de ser adsorbido por este adsorbato. Esto se observa en la escala colorimétrica de la figura 11, donde se distingue la disminución en la cantidad de café para cada columna.

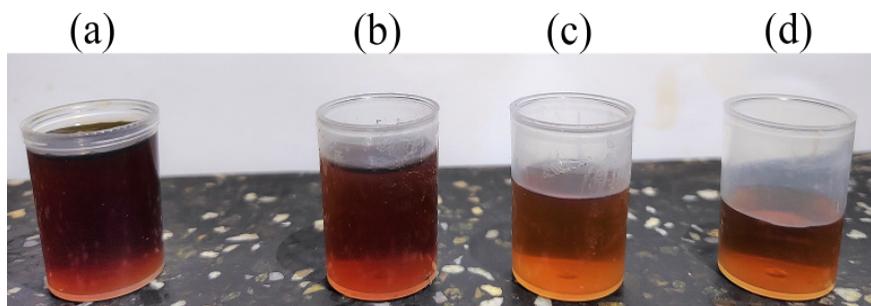


Fig. 11: Resultados de la adsorción para los 4,00 g de café en las columnas de carbón activado: (a) cantidad original de café a temperatura ambiente, (b) cantidad de café resultante en la columna de 2 cm (0,53 g), (c) cantidad de café resultante en la columna de 4 cm (1,13 g) y (d) cantidad de café resultante en la columna de 6 cm (1,65 g).

Es apreciable que, según la figura 10, mientras mayor cantidad de carbón activado se emplee en la columna, más cantidad de café podrá adsorber de los 4,00 g. Manifestándose no solo en la disminución de la cantidad adsorbida, sino también en la tonalidad o escala colorimétrica resultante a medida que aumentamos este adsorbente, tal como se aprecia ligeramente en la figura 11. Este patrón de decoloración es característico de los procesos de adsorción, tal y como se evidencia en la investigación previamente citada (Carriazo et al, 2010), donde para el refresco de uva se observó un patrón similar de decoloración a medida que se incrementaba el carbón activado en las columnas, para un tiempo de adsorción de 45 min en cada una de ellas. En el marco de este estudio, como se ha mencionado previamente, el tiempo de duración del proceso de adsorción se limitó a 1 min, aproximadamente; ya que se dejó caer el café por el embudo y, por acción de la gravedad, el mismo tomó ese tiempo en interactuar con el carbón activado y completar la tapita para cada columna. Ahora bien, si se extendía este tiempo, por ejemplo reteniendo el contenido de café en la interacción con el carbón activado y recién dejar caer el líquido por acción de la gravedad (decantación), seguramente la decoloración sería más apreciable a simple vista.

La figura 12 muestra una comparación entre el carbón vegetal en polvo y el activado en los procesos de determinación del contenido de humedad y de cenizas.

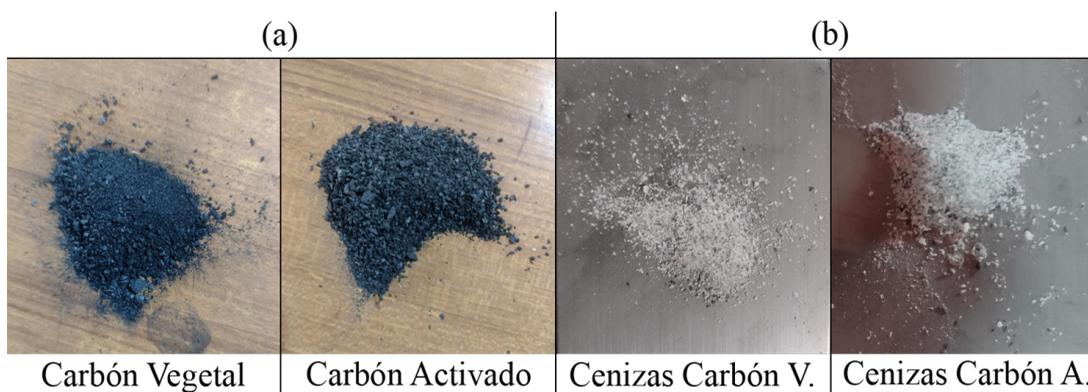


Figura 12: Comparativa visual entre el carbón vegetal en polvo y el activado; en cuanto a sus masas (a) secas y (b) de cenizas.

En el caso de las masas secas para ambas muestras, no se aprecia una diferencia en el aspecto visual en cuanto a las masas con contenido de humedad, como el que se supone presente para las de la figura 2 (b) y (c). No así, para los residuos o cenizas resultado de la exposición prolongada a altas temperaturas de estas mismas.

A continuación se muestran los resultados de las características fisicoquímicas obtenidas para el carbón vegetal en polvo y el carbón activado siguiendo la metodología del presente trabajo y empleando desde la fórmula (2) a la (6):

Propiedad	Carbón Vegetal (en polvo)	Carbón Activado
Densidad (g/cm ³)	0,38	0,30
Calor Especifico (cal/g°C)	0,224	0,308
Contenido de Humedad (%)	15,48	5,67
Contenido de Volátiles (%)	29,25	26,87
Contenido de Cenizas (%)	4,54	4,62
Carbono Fijo (%)	50,73	62,84

Tabla 1: Propiedades fisicoquímicas del carbón vegetal en polvo y del carbón activado.

La tabla 1 muestra que las densidades de ambas muestras son próximas entre sí, pero difieren ligeramente en el calor específico. Esto último se ve reflejado en la práctica, ya que el carbón activado, al tener un calor específico relativamente mayor al del carbón vegetal en polvo, alcanzó una temperatura máxima inferior cuando se sometió a un mismo flujo de calor durante la búsqueda de este valor.

Se aprecia una notable diferencia entre los CH de las muestras, indicando que el carbón vegetal presentó mayor concentración de humedad. No obstante, esto puede estar relacionado con la limpieza del mismo durante la preparación del carbón activado, recordando que este fue lavado con agua y luego pulverizado para el proceso de activación, llegando a adsorber, posiblemente, gran contenido de humedad por el agua. Esta hipótesis se hace más consistente al tener en cuenta que la madera de *Eucalyptus camadulensis Dehnh* puede contener entre un 12,0 % y un 18,2 % de CH, para las ramas y un fuste bajo, respectivamente (Valverde et al, 2018). Por otra parte, no hay una diferencia notable entre las concentraciones de CV y CC. Aun así, el exceso de humedad asociado con el carbón vegetal en polvo llega a ser relevante para su concentración de CF; llegando a ser inferior al del carbón activado.

Un carbón activado de poro fino, medio y ancho suele presentar un calor específico de ~0,20 cal/g°C (Grisales Motato y Rojas Arrieta, 2016), mientras que un carbón vegetal puede tener ~0,24 cal/g°C y una densidad que está entre los 0,2 y 0,3 g/cm³ (Raimundo C., 2018). Por otro lado, la densidad de un carbón activado obtenido a base de residuo de café puede variar según el método de activación. Para el método de activación física toma un valor promedio de 0,2823 g/cm³, con el de activación química con H₃PO₄ al 40 % uno de 0,6513 g/cm³ y al 85 % del mismo ácido uno de 0,9130 g/cm³ (Farrera A. et al, 2017). Mientras que un carbón activado a base de pulpa de café, usando soluciones de NaOH (20 % y 40%) y H₃PO₄ (20 %) como activadores químicos es de 0,27 g/cm³, mientras que con H₃PO₄ (40 %) es de 0,22 g/cm³ (Grisales Motato y Rojas Arrieta, 2016).

Se mencionó que un buen carbón vegetal comercial debería contener alrededor del 75% de CF (FAO, 1983), valor que difiere en un 24,27 % y 12,16 % de los obtenidos para el carbón vegetal en polvo y el activado según la tabla 1, haciendo que este último sea el más cercano a dicha cantidad. Cabe resaltar, que la temperatura de carbonización durante la producción del carbón vegetal tiene un efecto proporcional en cuanto al carbono fijo y contenidos volátiles resultantes del mismo. Mientras más alta sea la temperatura, mayor es la concentración porcentual de carbono fijo y menor la de contenidos volátiles; por ejemplo, para una temperatura de 300 °C, el CF tiende al 68 % y el CV a un 31 %, pero al emplear una temperatura de 700 °C, el CF está dentro del 92 % y el CV en un valor del 7 % (Díaz Batalla et al., 2010). Por otra parte, la caracterización física y química de tres segmentos de fuste (bajo, medio y alto)

y uno de rama de *Eucalyptus camadulensis* Dehnh, carbonizado durante 6 horas a una temperatura máxima de 600 °C, muestran resultados poco cercanos entre los distintos segmentos. Por ejemplo la concentración de CF va desde 54,6 %, para el fuse bajo, hasta un 69,7 %, para las ramas, apreciando un incremento en el mismo que va desde la sección más baja del ser vegetal hasta las superiores. En cuanto a los CH y de CC no se aprecia una diferencia notable entre estas secciones, tomando un porcentaje promedio de 5,6 % y 5,5 %, respectivamente. Aun así, el incremento minucioso es en el mismo sentido. Caso contrario sucede con los CV, donde disminuye de 32,1 %, para el fuse bajo, hasta un 20,9 % para las ramas (Valverde et al, 2018). Los resultados para los CH, CV, CC y CF para carbón vegetal en polvo de la tabla 1 son comparables con lo reportado por estos autores.

Para el carbón activado a base de residuo de café con activación física, se determinó un CH de 5,33 % y un CC de 16,66 %, en promedio. Por otra parte, usando como activador al H_3PO_4 al 40 %, durante la activación química, el CH toma un promedio de 7,12 % y el CC uno de 40 % y, finalmente, usando el mismo ácido pero al 85 % los porcentajes son 3,68 % y 16,66 % (Farrera A. et al, 2017). Ninguno de los resultados de los CC encontrados para esos tres materiales se asemejan al del carbón activado realizado en el presente trabajo, no así el CH, que para cada muestra toma un valor promedio de 5,37 %, comparable al de la tabla 1. En el caso del carbón activado en base a pulpa de café y activación química tenemos que, que el CH toma valores de 2,34 % (NaOH 20 %), 2,75 % (NaOH 40%), 1,68 % (H_3PO_4 20 %) y 3,96 % (H_3PO_4 40 %), mientras que los de CC son 15,97 % (NaOH 20 %), 17,98 % (NaOH 40%), 14,98 % (H_3PO_4 20 %) y 13,99 % (H_3PO_4 40 %) (Grisales Motato y Rojas Arrieta, 2016).

En líneas generales, se aprecia similitud y concordancia con algunos resultados presentados por otros autores para algunas de las propiedades de la tabla 1 para ambas muestras.

Conclusiones

El filtro purificador de agua casero mostró eficiencia en cuanto a la filtración de agua de cañería con contaminantes como hojas, semillas, tierra, etc., logrando retener estos residuos, tanto a nivel macro como microscópico, obteniendo como resultado agua incolora e inodora. El prototipo puede ser ideado en un sistema domiciliario, por ejemplo, en la conexión con aguas provenientes de vertientes o ríos locales que están en vigencia y que son de consumo humano, con el objetivo de retener la mayor parte de estos contaminantes macroscópicos o residuos.

La inserción de los estudiantes en la replicación del filtro purificador casero fue favorable. Cada grupo logró replicar correctamente un prototipo, con sus materiales correctamente preparados, que fue eficiente al evaluarse en la filtración de agua contaminada bajo las mismas condiciones, obteniendo agua incolora e inodora. Solo un grupo, por razones de confusión, no logró juntar las arenas fina y gruesa, pero aun así su producción logro ser casi igual de eficiente que las demás. Se destaca el protagonismo, interés y curiosidad en la resolución de la problemática de solucionar, mediante el uso del conocimiento científico y la práctica de un instrumento tecnológico con materiales presente en sus contextos geográficos, los problemas de contaminación en las aguas de consumo humano.

El carbón activado obtenido en el presente trabajo, resultado de una activación química con una solución de jugo de limón y agua, mostró una relación de proporción directa en la adsorción de café batido, sin azúcar y a temperatura ambiente, a medida que se incrementaba la cantidad de carbón activado empleado. Esto se manifestó no solo en la disminución

de la cantidad inicial de adsorbato (café), sino en la escala colorimétrica resultante al final de los tres ensayos efectuados. La tendencia de la isoterma de adsorción si bien, podría ser ajustada con la ecuación de Langmuir o la de Freundlich, puede contener una incerteza elevada por la escasa cantidad de puntos en el gráfico.

Por último, se obtuvieron propiedades fisicoquímicas para el carbón activado en comparación con el carbón vegetal en polvo, previo al proceso de activación con jugo de limón, las cuales, según lo reportado por otros autores, llegan a estar dentro de los valores de estos materiales bajo otros métodos o técnicas de preparación. El carbón activado cuenta con una densidad de $0,30 \text{ g/cm}^3$, un calor específico de $0,308 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ y una concentración de: humedad (5,67 %), volátiles (26,87 %), cenizas (4,62 %) y carbono fijo (62,84 %, por debajo del 75 % característico de un buen carbón vegetal comercial).

Líneas futuras de trabajo

Se puede realizar un estudio fisicoquímico y/o bacteriológico específico para determinar la calidad de agua antes y después del proceso de filtración con el filtro purificador del presente trabajo; con el propósito de discutir la adsorción de bacterias, microorganismos y metales pesados. Para concluir si es apta o no para el consumo humano. Utilizando, por ejemplo, el puntaje IRCA que determina el riesgo al consumo de esta sustancia.

Se puede caracterizar aun más al carbón activado del presente trabajo con métodos específicos. Con el propósito determinar el área superficial, indicador primario del nivel de actividad, asumiendo que a mayor área superficial, mayor número de puntos de adsorción hay disponibles, y/o la distribución de radios polares (microporos, mesoporos, macroporos); entre otras.

Agradecimientos

Quiero agradecer al Colegio Privado “Juan Pablo II” por permitir desarrollar la experiencia en el aula, entendiendo las problemáticas de contaminación en aguas y la necesidad de emplear la herramienta “educación” para hacer protagonistas a nuestros estudiantes en su resolución. Finalmente, doy mi agradecimiento a las y los estudiantes de 4to año II división por el interés y la participación responsable en la resolución de esta problemática a partir del conocimiento científico, vinculado al desarrollo tecnológico, con la reproducción del filtro purificador casero.

Referencias

- Antal, M. J. and Gronli, M. (2003). The Art, Science, and Technology of Charcoal Production. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 42, 1619-1640.
- ASTM (2021a). *Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal (D1762-84)*. ASTM International, West Conshohocken, Pensilvania, United States.
- ASTM (2021b). *Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke (D3172-13)*. ASTM International, West Conshohocken, Pensilvania, United States.
- Auge, M.; Wetten, G.; Baudino, G.; Bonorino, G.; Gianni, R. y Gonzalez, N. (2006). Hidrogeología de Argentina. *Boletín Geológico y Minero*, 117, 7-23. ISSN: 0366-0176
- Avila Bareño, I. V. y Moreno Figueroa, M. 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*. Universidad Libre, Bogotá D. C., Colombia.
- Bachmann, K. (1978). *Biología para médicos: conceptos básicos para las facultades de medicina, farmacia y biología* (pp. 70). Editorial Reverté, s.a., Barcelona, España.
- Bandosz, T. J. (2006). *Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation. 1st Edition*. New York, USA: Academic Press.
- Bazán, J. M.; Alberino, J. C.; Barreda, A. V. y Ramirez, B. A. (2009). Calidad del Agua de Consumo en el Gran La Plata, Buenos Aires, Argentina. *El Problema de los Nitratos*. *Revista Tecnología y Ciencia*, Año 8, 7-11.
- Carriazo, J. G.; Saavedra, M. J. y Molina, M. F. (2010). Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo. *Educ. quím.*, 2, 224-229.
- Carrión Paulo, J. M. (2019). *Elaboramos un filtro de agua casero con materiales reciclados del medio ambiente*. Tesis para optar al título de Licenciada en Educación Primaria, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- De Luis Román, D. A.; Aller de la Fuente, R., De Luis, J.; Pérez, J.L. y González, M. (2004). Papel del flúor en la osteoporosis. *Endocrinología y Nutrición*, 51, 426-432.
- Díaz Batalla, M.; Gonzales Asencios, A.; Sifuentes Yepes, D. y Gonzales Mora, E. (2010). El carbón vegetal: alternativa de energía y productos químicos. *XILEMA*, 837, 95- 103.
- Espinal, C. M.; Ocampo, D. y Rojas, J. D. (2014). Construcción de un prototipo para el sistema de reciclaje de aguas grises en el hogar, pp. 27-28. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.
- FAO (1983). *Métodos simples para fabricar carbón vegetal*. Organización de las naciones unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- Farrera A., R.; Marroquín A., C. A.; Cid, M.; Dávila, E.; García, H. y Méndez, M. A. (2017). PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A ESCALA DE LABORATORIO A PARTIR DE RESIDUOS DE CAFÉ. *Pakbal*, 40, 40-44.

- Figueiredo, J. L.; Pereira, M. F. R.; Freitas, M. M. A. and Órfão, J. J. M. (1999). Modification of the surface chemistry of activated carbons. *Carbon*, 37, 1379–1389. [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(98\)00333-9](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(98)00333-9)
- Gaiolia, M.; González, D. E. y Amoedo, D. (2009). Hidroarsenismo crónico regional endémico: un desafío diagnóstico y de prevención. *Arch Argent Pediatr*, 107, 459-473.
- García, S. (2001). *Mitigación del impacto ambiental que generan los residuos sólidos del beneficio de café a partir de la producción de abono orgánico*. Unidad de Control y Gestión de Conocimiento (CATEDES). La Habana, Cuba.
- Garzonio, O. y Nuñez, J. (2012). La vida sin construcción: Sector Agua y Saneamiento. Cámara Argentina de la Construcción, Área de Pensamiento Estratégico.
- Grisales Motato, A. L. y Rojas Arrieta, W. (2016). *Obtención de carbón activado a partir de activación química de pulpa de café y su aplicación en la remoción de colorantes en aguas residuales industriales*. Tesis para optar al título de Tecnólogo Químico, Universidad Tecnológica De Pereira, Pereira, Colombia.
- Leal, M. M. (2017). Ácido Cítrico en jugo de limón: Cuantificación por RP-HPLC y coulombimetría. Authorea
- Li, A.; An, Z.; Li, C.; Cui, X.; Li, K.; Zhou, H.; Zhou, B.; Hao, P.; Kulyar, M. F.; Yin, W.; Wan, X.; Li, L.; Luo, Z.; Waqar; M. H. and Wu, Y. (2023). Salt-contaminated water exposure induces gut microbial dysbiosis in chickens. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 254, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114731>
- Licata, M. (2010). *El flúor en la Nutrición*. *Nutrición*. Disponible en: <http://www.zonadiet.com/nutricion/fluor.htm> y https://es.slideshare.net/JorgeHumanez1/el-flor-en-la-nutricin?from_action=save.
- Miñana, Vitoria (2010). El flúor y la prevención de la caries en la infancia. Actualización (II). *Acta Pediatr Esp.*, 68, 185-194.
- Mirsalimi, S. M.; O'Brien, P. J. and Julian, R. J. (1993). Blood volume increase in salt-induced pulmonary hypertension, heart failure and ascites in broiler and White Leghorn chickens. *Can. J. Vet. Res.* 57, 110–113.
- Nabais, J. V.; Carrott, P.; Ribeiro Carrott, M. M. L.; Luz, V. and Ortiz, A. L. (2008). Influence of preparation conditions in the textural and chemical properties of activated carbons from a novel biomass precursor: The coffee endocarp. *Bioresource Technology*, 99, 7224-7231. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.068>
- Namane, A.; Mekarzia, A.; Benrachedi, K., Belhaneche-Bensemra, N. and Hellal, A. (2005). Determination of the adsorption capacity of activated carbon made from coffee grounds by chemical activation with ZnCl₂ and H₃PO₄. *Journal of Hazardous Materials*, 119, 189-194. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.12.006>
- Peng, Y.; Yang, X.; Li, H.; Iqbal, M.; Li, A.; Zhang, J.; Zhang, M.; Li, J. and Zhou, D. (2022). Salt-contaminated water inducing pulmonary hypertension and kidney damage by increasing Ang II concentration in broilers. *Environ Sci Pollut Res* 29, 1134–1143. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13358-y>

Penniston, K. L.; Nakada, S. Y.; Holmes R. P. and Assimos, D. G. (2008). Quantitative Assessment of Citric Acid in Lemon Juice, Lime Juice, and Commercially-Available Fruit Juice Products. *Journal of Endourology*, 22, 567-570. <https://doi.org/10.1089/end.2007.0304>

Podkościelny, P. and Nieszporek, K. (2007). Heterogeneity of activated carbons in adsorption of phenols from aqueous solutions—Comparison of experimental isotherm data and simulation predictions. *Applied Surface Science*, 253, 3563–3570. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2006.07.064>

Quintana, G. M.; Velásquez, J. J.; Gómez, P. P. y Echavarría, Y. V. (2008). Adsorción de Ni(II) en carbón activado de cascarilla de café. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 1-6.

Raimundo C., F. M. (2018). TRANSFERENCIA DE CALOR: Tablas de densidad, calor específico y conductividad térmica para algunos materiales. Web del Profesor, Universidad de los Andes. Disponible en <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/franz/index.html/TC/Tablas%20de%20propiedades.pdf>.

Rouquerol, F.; Rouquerol, J. and Sing, K. (1999). *Adsorption by Powders & Porous Solids*. Academic Press, London, 1999.

Saracho, M.; Segura, L., Lobo, P. y Aguero, N. (2019). Calidad del agua utilizada para consumo humano en el Salar de Pipanaco, Catamarca. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 23, 79-90.

Torres Basantes, N. R. (2006). *Determinación del potencial nutritivo y nutracéutico de cuatro cultivares de tomate de árbol (Solanum betaceum Cav)* (pp. 17). Tesis para optar el título de doctora en Bioquímica y Farmacia, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Valverde, J. C.; Arias, D.; Campos, R. y Guevara, M. (2018). Caracterización física y química del carbón de tres segmentos de fuste y ramas de *Eucalyptus camadulensis* Dehnh, proveniente de plantaciones dendroenergéticas. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 15, 16-24. doi:10.18845/rfmk.v15i1.3774.

Vigo, M (2010). *Propuestas para el diseño urbano bioambiental en zonas cálidas semiáridas* (pp. 82-95). Editorial Científica Universitaria de la Universidad Nacional de Catamarca, Catamarca, Argentina.

Vilches, F.; Palomeque, L.; Cordoba, G.; Fuentes, S. y Navarro Garcia, L. (2005). *Arsénico en Agua Origen, Movilidad y Tratamiento: El Arsénico en la Provincia de Catamarca* (pp. 103-110). Río Cuarto, Argentina.

Contribución de los Autores

Nombres y Apellidos del autor	Colaboración Académica													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Santiago Décima	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

1-Administración del proyecto, 2-Adquisición de fondos, 3-Análisis formal, 4-Conceptualización, 5-Curaduría de datos, 6-Escritura - revisión y edición, 7-Investigación, 8-Metodología, 9-Recursos, 10-Redacción - borrador original, 11-Software, 12-Supervisión, 13-Validación, 14-Visualización.