

# *Estudio calorimétrico de carbonizados de huesos de pollo, bovino y porcino empleando solventes orgánicos e inorgánicos*

Ana María García<sup>1</sup>, Liliana Giraldo<sup>1</sup>, Juan Carlos Moreno-Piraján<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Química. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. Carrera 30 No 45-03, Bogotá Colombia. <sup>2</sup> Departamento de Química. Facultad de Ciencias. Universidad de los Andes. Carrera 1 este No 18A-10, Bogotá, Colombia

*Calorimetric study of carbonized bones of chicken, beef and pork using organic and inorganic solvents*

*Estudi calorimètric de carbonitzats d'ossos de pollastre, boví i porcí emprant solvents orgànics i inorgànics*

Recibido: 21 de marzo de 2014; revisado: 6 de enero de 2015; aceptado: 29 de enero de 2015

## RESUMEN

Se determinaron las entalpías de inmersión de carbonizados de huesos de pollo, bovino y porcino utilizando solventes orgánicos e inorgánicos como parte de su caracterización fisicoquímica.

Se buscó la correlación entre el valor del área superficial de estos materiales con la capacidad de adsorción de 4-nitrofenol en solución acuosa y con las interacciones energéticas que tienen lugar durante el proceso de adsorción.

Se encontró que cuanto mayor sea el valor del área superficial del carbonizado y el contenido de grupos básicos totales habrá una disminución en la capacidad de adsorción de 4-nitrofenol.

En cuanto a las calorimetrías de inmersión de los sólidos en soluciones de 4-nitrofenol se observó que cuando aumenta la concentración de las soluciones de mojado las interacciones energéticas también aumentan hasta que se alcanzan concentraciones que exceden la capacidad de interacción sólido-líquido, en estas soluciones, los valores de las entalpías de inmersión varían entre 7,7 y 42,6 Jg<sup>-1</sup>.

**Palabras clave:** 4-nitrofenol, adsorción, carbonizado, calorimetría de inmersión.

## SUMMARY

Immersion enthalpies of chicken, bovine and porcine carbonized bones using organic and inorganic solvents as part of their physicochemical characterization were determined.

The correlation between the surface area values of these materials with the 4-nitrophenol adsorption capacity in aqueous solution and energy interactions occurring during the adsorption process was realized.

It was found that for higher surface area values of the carbonized and the total content of basic groups there is a decrease in the 4-nitrophenol adsorption capacity.

Regarding the immersion enthalpies of solids in 4-nitrophenol solutions was observed that when the concentration of wet solutions were increase it is also increased the energetic interactions, until concentrations that exceed the capacity of the solid-liquid interaction. In these solutions the immersion enthalpies values varies between 7.7 and 42.6 Jg<sup>-1</sup>.

**Keywords:** 4-nitrophenol, adsorption, carbonized, immersion calorimetry.

## RESUM

Es van determinar les entalpies d'immersió de carbonitzats d'ossos de pollastre, boví i porcí utilitzant solvents orgànics i inorgànics com a part de la seva caracterització fisicoquímica.

Es va buscar la correlació entre el valor de l'àrea superficial d'aquests materials amb la capacitat d'adsorció de 4-nitrofenol en solució aquosa i amb les interaccions energètiques que tenen lloc durant el procés d'adsorció.

Es va trobar que com més gran sigui el valor de l'àrea superficial del carbonitzat i el contingut de grups bàsics totals hi haurà una disminució en la capacitat d'adsorció de 4-nitrofenol.

Pel que fa a les calorimetries d'immersió dels sòlids en solucions de 4-nitrofenol es va observar que quan augmenta la concentració de les solucions de mojar les interaccions energètiques també augmenten fins que s'assoleixen concentracions que excedeixen la capacitat d'interacció sòlid-líquid. En aquestes solucions els valors de les entalpies d'immersió varien entre 7,7 i 42,6 Jg<sup>-1</sup>.

**Paraules clau:** 4-nitrofenol; adsorció; carbonitzat; calorimetria d'immersió.

\*Autor para la correspondencia: jumoreno@uniandes.edu.co

## INTRODUCCIÓN

Los carbonizados obtenidos a partir de residuos cárnicos, son sólidos porosos utilizados en la remoción de compuestos orgánicos e inorgánicos debido a su capacidad de adsorción, la cual se refiere a la atracción y retención de moléculas de diversos compuestos (en fase líquida o gaseosa) en la superficie del sólido a temperatura constante. Esta capacidad de adsorción se debe a su estructura porosa, a la química superficial y a la presencia de materia mineral que afecta el tipo de interacciones que se presentan entre la superficie del sólido y las diferentes sustancias que retiene (1).

La capacidad de adsorción de sustancias depende fundamentalmente de la porosidad y de la distribución del tamaño de poros. Los microporos (tamaño inferior a 2 nm) por ejemplo, aportan elevada superficie interna y capacidad de retención mientras que los mesoporos (tamaño entre 2 y 50 nm) y macroporos (tamaño superior a 50 nm) retienen moléculas de alto volumen molecular y permiten el acceso y difusión de moléculas a la superficie interna del sólido (1). Éste tipo de carbonizados también se conocen como carbón animal o negro de hueso y a diferencia de otros materiales adsorbentes en su composición contienen aproximadamente 10% de carbono en peso y el restante comprende principalmente el mineral hidroxiapatita (HAP) y carbonato de calcio (2).

Debido a las características y propiedades de los carbonizados, estos son empleados en diferentes procesos industriales, entre ellos, el tratamiento primario de contaminantes presentes en el aire y en los cuerpos de agua, la decoloración de azúcar, entre otros (3).

La adsorción en fase líquida es utilizada eficientemente en procesos de potabilización de aguas, tratamiento de aguas residuales, purificación de grasas y aceites comestibles y decoloración de licores. La adsorción en fase gas centra sus aplicaciones en el almacenamiento y separación de gases, en elaboración de máscaras antigás y diversos filtros (4).

En cuanto a las técnicas de caracterización de los carbonizados, la calorimetría de inmersión es una técnica que se emplea para obtener la entalpía liberada cuando un sólido poroso es introducido en un líquido de mojado con el que no reacciona. Dado que se pueden utilizar líquidos con diferentes volúmenes moleculares, es posible obtener la distribución de tamaño de poro de forma experimental. Para estas determinaciones se pueden utilizar materiales de baja porosidad como los carbonizados (5).

Con la calorimetría de inmersión se miden los efectos térmicos resultantes de sumergir un sólido poroso en un solvente generalmente de naturaleza apolar con el cual el sólido no presente interacciones químicas; esta técnica ha sido utilizada desde hace varios años para hacer evaluaciones precisas de las interacciones energéticas superficiales de algunos sólidos (6). El sólido poroso también se puede poner en contacto con una solución y en este caso la entalpía de inmersión involucra varios tipos de interacción entre los que se encuentra la interacción específica del soluto que se busca retener con el sólido.

En el presente trabajo se muestra un estudio calorimétrico realizado a diferentes carbonizados obtenidos a partir de residuos cárnicos de las industrias avícola, porcina y bovina, con el fin de analizar las interacciones energéticas que tienen estos materiales con diferentes solventes y líquidos de mojado, entre ellos: agua, tolueno, isopropanol y soluciones de 4-nitrofenol.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los carbonizados empleados en este trabajo fueron preparados a partir de huesos de pollo, bovino y porcino que se tratan preliminarmente para eliminar residuos de grasa y alcanzar un tamaño de partícula de 2 mm. Los huesos se tratan térmicamente en atmósfera de  $N_2$  y  $CO_2$  en un reactor tubular Thermolyne a 500 °C y 800 °C durante 2 horas, con una velocidad de calentamiento de 3 °C  $min^{-1}$ . En total se obtuvieron 9 muestras; 3 en atmósfera de  $N_2$  a 800 °C, 3 en atmósfera de  $CO_2$  a 800 °C y 3 en atmósfera de  $CO_2$  a 500 °C.

Para caracterizar los carbonizados fueron empleadas diferentes técnicas, entre ellas, la adsorción física de nitrógeno a 77 K en un equipo automático Autosorb 3B, Quantachrome Co y la determinación de grupos básicos totales siguiendo el método de Boehm (7).

La nomenclatura que se utilizó para los carbonizados fue la siguiente: HAN8, HBN8 Y HPN8 para las muestras tratadas con  $N_2$  a 800°C, HAC8, HBC8, y HPC8 para las muestras tratadas con  $CO_2$  a 800 °C y HAC5, HBC5, y HPC5 para las muestras tratadas con  $CO_2$  a 500 °C.

Las soluciones de 4-nitrofenol se prepararon con reactivo grado analítico Merck® y agua destilada a 30 °C. El rango de concentraciones para las soluciones de los ensayos de adsorción varió entre 50 y 600 mg  $L^{-1}$  y para la determinación de las entalpías de inmersión entre 200 y 600 mg  $L^{-1}$ . Para llevar a cabo los ensayos de adsorción se pusieron en contacto 100 mg de cada uno de los carbonizados con 25 mL de solución de 4-nitrofenol a diferentes concentraciones durante un periodo de 8 días, con agitación constante a 100 rpm y a temperatura de 20 °C. Las concentraciones de 4-nitrofenol se determinaron por medio de la espectrofotometría UV-visible con un espectrofotómetro Genesys 10 UV a una longitud de onda de 316 nm.

La determinación de la entalpía de inmersión de los carbonizados se llevó a cabo con diferentes líquidos de mojado: agua, tolueno, isopropanol y soluciones de 4-nitrofenol. Para esto se empleó un microcalorímetro de conducción de calor con una celda calorimétrica de acero inoxidable. Se adicionaron a la celda 8 mL ml del líquido de mojado y se pesaron aproximadamente 100 mg del carbonizado en una ampollita de vidrio que se ubicó dentro de la celda. Se dejó estabilizar la línea base y se inició el registro del potencial eléctrico por un periodo de aproximadamente 15 minutos tomando lecturas de potencial cada 2 segundos; se efectuó luego la inmersión del sólido en el líquido calorimétrico y se registraron los cambios térmicos resultantes hasta que se estabilizó nuevamente la línea base, una vez transcurrido dicho tiempo se realizó la calibración eléctrica suministrando un trabajo eléctrico conocido a través de una resistencia eléctrica de calentamiento (8).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### • Áreas superficiales de los carbonizados preparados a 500 y 800 °C.

El área superficial de los carbonizados se determinó por el método B.E.T. y los valores de volumen de poro fueron obtenidos por el método B.J.H. en la rama de adsorción en donde no se presenta el efecto de bloqueo de poro (9). Los carbonizados tratados a 500 y 800 °C en atmósferas de  $N_2$  y  $CO_2$  tienen características similares, se ajustan a las isothermas tipo IV propias de los sólidos mesoporosos,

presentan condensación capilar a presiones medias, con ciclos de histéresis H3 asociados a las geometrías de los capilares forma de hendidura abierta con paredes paralelas y de cuerpos anchos, cuellos cortos y estrechos (9, 10, 11). Los carbonizados que tienen una mayor área superficial son las muestras HBC5, HBN8 y HAN8, lo cual permite evidenciar el desarrollo de porosidad con el tratamiento térmico suministrado.

En las Figuras 1 y 2 se muestran las isotermas de adsorción de nitrógeno a 77 K obtenidas para las muestras HBN8, HBC8 y HBC5.

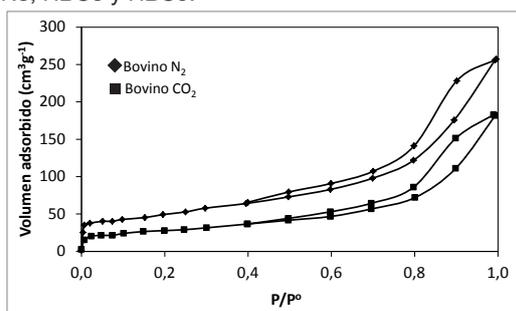


Figura 1. Isotermas de adsorción de  $N_2$  a 77K muestras HBN8 y HBC8.

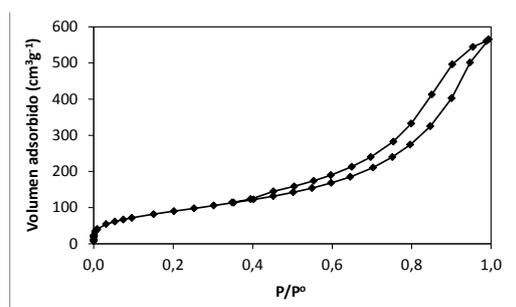


Figura 2. Isoterma de adsorción de  $N_2$  a 77K muestra HBC5.

En la Tabla 1 se muestran los parámetros texturales obtenidos para todos los carbonizados.

Tabla 1. Propiedades texturales.

Muestra	Área superficial ( $m^2g^{-1}$ )	V0 ( $cm^3g^{-1}$ )	V meso ( $cm^3g^{-1}$ )	V Total ( $cm^3g^{-1}$ )
HBN8	180	0,06	0,21	0,27
HPN8	104	0,04	0,22	0,26
HAN8	127	0,03	0,15	0,18
HBC8	99	0,03	0,14	0,17
HPC8	114	0,04	0,15	0,19
HAC8	81	0,02	0,16	0,18
HBC5	327	0,09	0,68	0,78
HPC5	99	0,03	0,18	0,21
HAC5	121	0,04	0,23	0,27

#### • Determinación de grupos básicos totales muestras a 500 °C y 800 °C.

Se determinaron los grupos básicos totales de las muestras preparadas en atmósfera de  $CO_2$  a 500 y 800 °C. En las muestras tratadas a 500 °C se determinó un contenido de grupos básicos totales entre 0,30 y 0,40  $mmolg^{-1}$ , siendo las muestras HBC5 y HPC5 las de mayor contenido. Los valores son muy similares a los que se encontraron para las muestras preparadas a 800 °C debido a que éstas contienen grupos básicos totales entre 0,35 y 0,40  $mmolg^{-1}$ . Esto muestra que el tratamiento térmico a diferentes temperaturas en atmósfera de  $CO_2$  no afectó significativamente la química superficial de los carbonizados y que siguen siendo aptos para la adsorción de 4-nitrofenol.

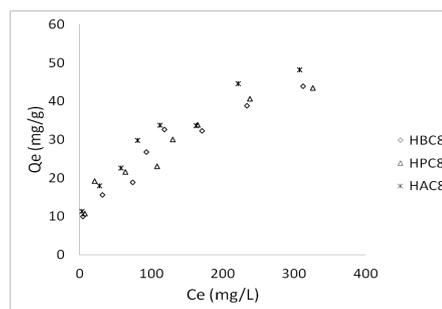


Figura 3. Isotermas de adsorción de 4-nitrofenol en solución acuosa sobre carbonizados en atmósfera de  $CO_2$  a 800 °C.

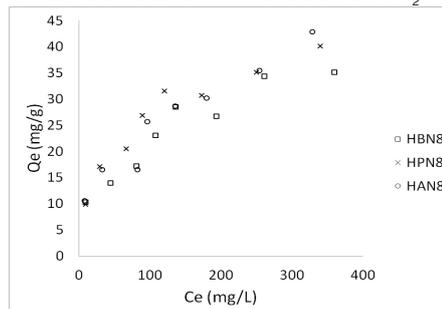


Figura 4. Isotermas de adsorción de 4-nitrofenol en solución acuosa sobre carbonizados en atmósfera de  $N_2$  a 800 °C.

#### • Ensayos de adsorción en soluciones de 4-nitrofenol.

La máxima capacidad de adsorción de 4-nitrofenol para las muestras tratadas con  $CO_2$  y  $N_2$  a 800 °C se encuentra en un rango de 35,1 y 48,1  $mg/g$  como se observa en las isotermas experimentales (Figuras 3 y 4). Dicha capacidad de adsorción está relacionada no solo con el área superficial de estos materiales sino también con el contenido de grupos básicos totales que interactúan con el adsorbato, que como se mostrará en las relaciones que se establecen entre estos parámetros ejercen una acción cooperativa en la adsorción del 4-nitrofenol.

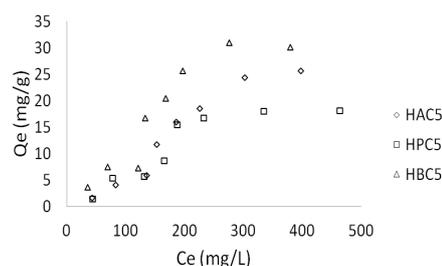


Figura 5. Isotermas de adsorción de 4-nitrofenol en solución acuosa sobre carbonizados en atmósfera de  $CO_2$  a 500 °C.

Las isotermas de adsorción experimentales del 4-nitrofenol en los carbonizados, Figura 5, permiten evidenciar que las muestras preparadas a 500 °C tienen menor capacidad de adsorción que las muestras preparadas a 800 °C tanto en atmósfera de nitrógeno como en dióxido de carbono ya que se encuentran en un rango de 18,1 y 30,1  $mgL^{-1}$ . Esto puede atribuirse a que las áreas superficiales que desarrollaron los carbonizados durante el tratamiento térmico a 500 °C fueron similares a las muestras preparadas a 800 °C pero algunos de sus poros pueden estar bloqueados y no permiten el acceso de las moléculas de 4-nitrofenol.

Es importante resaltar que la adsorción de compuestos como el 4-nitrofenol se produce debido a que se favorecen determinadas interacciones que generan un cambio en el comportamiento del sistema, la cantidad adsorbida se ve afectada entonces por la presencia de grupos superficiales, específicamente al disminuir los grupos ácidos la cantidad adsorbida aumenta, dado que se interfieren menos con los electrones  $\pi$  de las capas grafénicas de la superficie del carbonizado (12).

• **Relación entre la capacidad de adsorción, el área y la basicidad.**

La capacidad de adsorción de 4-nitrofenol no se relaciona de forma sencilla con el área superficial debido a que está limitada por el acceso de estas moléculas orgánicas a la superficie interna y por la química superficial de los carbonizados (13).

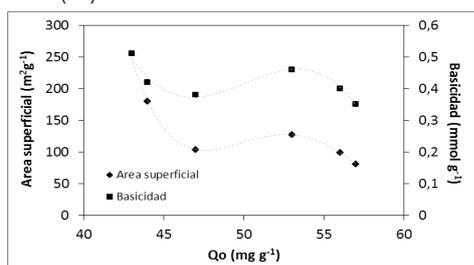


Figura 6. Capacidad de adsorción muestras tratadas a 800 °C vs área superficial

Como se observa en la Figura 6, la capacidad de adsorción de cada uno de los carbonizados se encuentra relacionada con el área superficial y con el contenido de grupos básicos totales. A partir de las gráficas es posible evidenciar que la capacidad de adsorción de las muestras tratadas a 800 °C disminuye con el aumento del área superficial y el contenido de grupos básicos totales. Esto muestra que las características químicas superficiales de los carbonizados ejercen una mayor influencia sobre la adsorción de 4-nitrofenol, dado que establece fuerzas electrostáticas que repelen el adsorbato.

Sin embargo, se observa un comportamiento diferente para las muestras tratadas a 500 °C (a 1,5 y 2,0 horas de carbonización). Como se muestra en la Figura 7, a medida que aumenta el área superficial, la capacidad de adsorción aumenta sin involucrar necesariamente una disminución en el contenido de grupos básicos totales, es decir, en estas muestras la capacidad de adsorción se ve influenciada en mayor medida por el área superficial, aunque se observa que las capacidades de adsorción de 4-nitrofenol en estos sólidos es menor si se compara con los obtenidos a 800 °C.

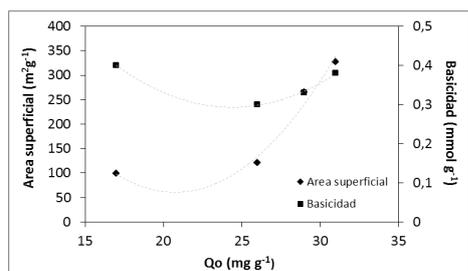


Figura 7. Capacidad de adsorción muestras tratadas a 500 °C vs área superficial

• **Entalpía de inmersión y relación con el área superficial.**

Los carbonizados de huesos de pollo, bovino y porcino se caracterizaron calorimétricamente al determinar las entalpías de inmersión en agua, isopropanol, tolueno y soluciones de 4-nitrofenol a diferentes concentraciones. A continuación se muestran los termogramas obtenidos al sumergir el carbonizado HAC5 en agua, isopropanol y tolueno.

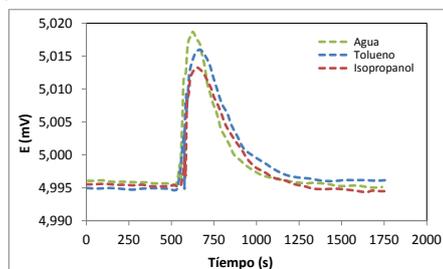


Figura 8. Calorimetrías de inmersión en agua, tolueno e isopropanol muestra HAC5.

En la Figura 8 se observan picos definidos que se generan por el efecto térmico que produce la interacción entre el carbonizado y los diferentes líquidos de mojado; a estos picos se les evaluó el área bajo la curva para estimar el calor liberado durante la inmersión.

Para las muestras tratadas a 800 °C las entalpías de inmersión en agua presentan valores entre 10,9 y 18,9 Jg<sup>-1</sup>, en isopropanol los valores se encuentran entre 17,5 y 28,1 Jg<sup>-1</sup> y en tolueno entre 7,55 y 17,4 Jg<sup>-1</sup>. Los valores en general son mayores en isopropanol, lo cual muestra una mayor interacción energética entre este solvente y los carbonizados. Sin embargo, las entalpías de inmersión en los tres solventes tienden a disminuir cuando el área superficial de los carbonizados aumenta.

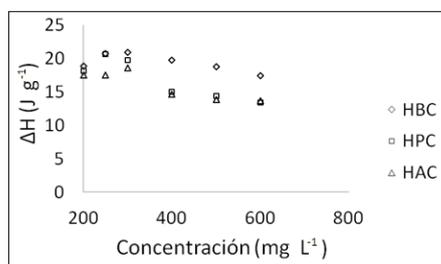
En las muestras tratadas a 500 °C los valores de las entalpías de inmersión en los tres solventes son similares entre sí, varían entre 11,4 y 16,7 Jg<sup>-1</sup> y son menores en relación a las muestras tratadas a 800 °C. Este comportamiento puede ser atribuido a la química superficial de dichos carbonizados, a la baja área superficial y al bloqueo de algunos poros.

Del comportamiento de los dos tipos de muestras se puede inferir que la entalpía de inmersión es el resultado de varias interacciones; en el caso de solventes orgánicos como el tolueno se muestran interacciones de contacto y en el caso del isopropanol y el agua se trata de interacciones específicas (14).

• **Relación entre la entalpía y la concentración de las soluciones de 4-nitrofenol.**

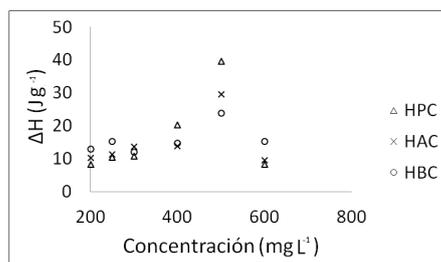
Las calorimetrías de inmersión en soluciones de 4-nitrofenol muestran un comportamiento similar en las muestras tratadas a 500 y 800 °C. Como se observa en las Figuras 9, 10 y 11 cuando aumenta la concentración de las soluciones de mojado las interacciones energéticas también aumentan, en el caso de las muestras tratadas a 500 °C el aumento de la entalpía llega hasta la concentración de 300 mgL<sup>-1</sup>, desde la concentración de 400 mgL<sup>-1</sup> y hasta la concentración de 600 mgL<sup>-1</sup> presenta un decremento de los valores de entalpía debido a que las concentraciones exceden la capacidad máxima de adsorción, produciéndose la saturación de los carbonizados. Para estas muestras las entalpías obtenidas varían entre 13,46 y 20,95 Jg<sup>-1</sup>. En la figura 9 se observan las entalpías de inmersión

en soluciones 4-nitrofenol en función de la concentración para las muestras tratadas a 500°C.

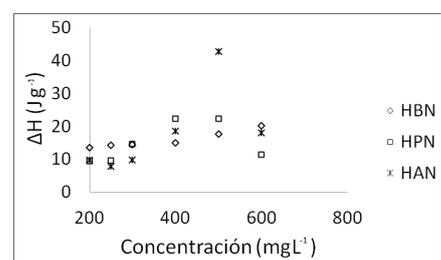


**Figura 9.** Entalpía de inmersión vs concentración 4-nitrofenol muestras a 500 °C

En las muestras tratadas a 800°C las entalpías de inmersión se encuentran entre 7,73 y 42,59 Jg<sup>-1</sup>. Sin embargo, en estas muestras las entalpías aumentan hasta la concentración de 500 mgL<sup>-1</sup> y presentan un decremento en la última concentración utilizada de 600 mg/L. En estas muestras la interacción energética es mayor debido a que la mayoría de las muestras presentan una mayor superficie interna y un contenido de grupos básicos totales similares a los que presentan las muestras tratadas a 500°C. En las figuras 10 y 11 se observan las entalpías de inmersión en soluciones 4-nitrofenol en función de la concentración para las muestras tratadas a 800°C con CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> respectivamente.



**Figura 10.** Entalpía de inmersión vs concentración 4-nitrofenol muestras a 800°C en CO<sub>2</sub>



**Figura 11.** Entalpía de inmersión vs concentración 4-nitrofenol muestras a 800 °C en N<sub>2</sub>

## CONCLUSIONES

El tratamiento térmico realizado a los carbonizados a diferentes temperaturas y con diferentes gases no marca una diferencia considerable en la química superficial pero sí en el área superficial de algunos de los carbonizados, afectando la capacidad máxima de adsorción de 4-nitrofenol, que para las muestras en general se encuentra en un rango de 18.1 y 48.1 mgL<sup>-1</sup>.

Las entalpías de inmersión en agua, isopropanol y tolueno presentan valores entre 7.5 y 28,1 Jg<sup>-1</sup> y tienden a disminuir con el incremento del área superficial y el contenido de grupos básicos totales, lo cual muestra que la interacción entre los diferentes sólidos y estos líquidos de mojado depende exclusivamente de las propiedades texturales y químicas.

Las interacciones energéticas entre los carbonizados y las soluciones de 4-nitrofenol son mayores cuando aumenta la concentración de los líquidos de mojado, sin embargo, cuando se emplean concentraciones que superan la capacidad máxima de adsorción las entalpías de inmersión comienzan a disminuir debido a la saturación de los carbonizados, presentando valores entre 13,46 y 20,95 Jg<sup>-1</sup> para las muestras tratadas a 500 °C y entre 7,73 y 42,59 Jg<sup>-1</sup> para las muestras tratadas a 800 °C.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Colombia y a la Dirección de Investigaciones de la sede Bogotá (DIB) código HERMES-17486, Programa de Jóvenes Investigadores de Colciencias. Además, al Convenio Marco entre la Universidad de los Andes y la Universidad Nacional de Colombia y al Acta de Acuerdo entre los Departamentos de Química de las dos universidades.

## BIBLIOGRAFÍA

- Rodríguez – Reinoso, F. Activated carbon: structure, characterization, preparation and applications. En: Introduction to carbon technologies. Universidad de Alicante (publicaciones). Alicante, España. 60 (1998).
- Prado Cechinel M. A., Ulson de Souza S. M. A. G., Ulson de Souza A. A. Study of lead (II) adsorption onto activated carbon originating from cow bone. Journal of Cleaner Production. 65, 342-349 (2014).
- Wei S., Li D., Huang Z., Huang Y., Wang F. High-capacity adsorption of Cr (VI) from aqueous solution using a hierarchical porous carbon obtained from pig bone. Bioresource Technology. 134, 407-411 (2013).
- Moreno – Castilla, C.; Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials. Carbon. 42, 83 (2004).
- Moreno Piraján, J. C.; Navarrete, L. F.; Giraldo L.; García V. Adsorción de Fenol y 3-Cloro Fenol sobre carbones activados mediante Calorimetría de Inmersión. Información Tecnológica. 18 (3), 71-80 (2007).
- Bohórquez N.; Giraldo L.; Moreno J. C. Entalpías de Inmersión de Carbones Activados en soluciones Séricas de Carbamazepina. Información Tecnológica. 19 (1), 105-117 (2008).
- Boehm, H. P. Some aspects of the surface chemistry of carbon blacks and other carbons. Carbon. 5, 759-769 (1994).
- Rodríguez, G. A.; Giraldo, L.; Moreno - Piraján J. C. Evaluación de la señal calorimétrica en una unidad de conducción de calor, como herramienta en la caracterización de carbones activados. Afinidad. Revista de Química Teórica y Aplicada. 68, 551, 33-37 (2011).
- Murillo-Acevedo Y.S. Estudio de adsorción de fenol y 2,4-dinitrofenol desde solución acuosa sobre materiales porosos obtenidos a partir de huesos de bovino, porcino y pollo. Tesis de Maestría. Departamento

- 
- de Química. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. 2011.
10. Murillo-Acevedo, Y. S.; Giraldo, L.; Moreno-Piraján, J. C. Characterization of the Adsorption of 2,4-Dinitrophenol from Aqueous Solution onto Bovine Bone Char by Immersion Calorimetry. *Adsorption Science & Technology*. 28, 789-796 (2010).
  11. García, A.; Giraldo, L.; Moreno-Pirarán, J. C. Adsorción de 4-nitrofenol desde solución en agua y en tolueno sobre carbonizados de huesos de pollo, bovino y porcino. *Afinidad. Revista de química teórica y aplicada*. 70, 563, 189-194 (2013).
  12. Murillo-Acevedo, Y. S.; Giraldo, L.; Moreno-Piraján, J. C. Obtención de materiales porosos a partir de huesos de pollo y porcino para la adsorción de 2,4-dinitrofenol. *Afinidad. Revista de Química Teórica y Aplicada*. 68, 556, 447-452 (2011).
  13. Giraldo, L.; Moreno-Piraján, J. C. Variación en la capacidad de adsorción y en la entalpía de inmersión de carbones activados en soluciones acuosas de fenol y 3- cloro fenol. *Afinidad. Revista de química teórica y aplicada*. 69, 552, 129-135 (2011).
  14. Navarrete, L. F.; Giraldo, L.; Moreno-Piraján, J. C. Influencia de la química superficial en la entalpía de inmersión de carbones activados en soluciones acuosas de fenol y 4-nitrofenol. *Revista Colombiana de Química*. 35, 2, 215-224 (2006).