
CARACTERIZACIÓN DE CARBONES ACTIVADOS DE FABRICACIÓN NACIONAL PARA SU USO EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SOLAR POR ADSORCIÓN



Gustavo Ariel Tello

TESIS DE GRADO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Almirante Brown 500.

Chacras de Coria - Luján de Cuyo.

CPA M5528AHB - Tel.: (+54 261) 413-5010

Mendoza - Argentina

22 de noviembre del 2018

**CARACTERIZACIÓN DE CARBONES ACTIVADOS DE FABRICACIÓN
NACIONAL PARA SU USO EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SOLAR
POR ADSORCIÓN**

Gustavo Ariel Tello

Saturnino Torres 1936- CP: 5513

Mendoza, Maipú

arieltello24@gmail.com

Tel: 2613644357

Director

Dra. Ing. en materiales María Celeste Gardey Merino.

Co-Director

Dra. Ing. en Recursos Naturales Renovables Roxana Piastrellini.

*“No sigas por donde el camino te
lleve, avanza por donde no hay
camino y deja un rastro.”*

Anónimo.

Agradecimientos

Agradezco:

A mi directora y codirectora de tesis María Celeste Gardey y Roxana Piastrellini, por darme la posibilidad de participar en su proyecto de investigación y transmitirme todos sus conocimientos en este tiempo.

A todo el personal de GRUPO CLIOPE, que me brindó todas las herramientas y recursos necesarios para realizar este trabajo.

A mi grupo de amigos que me dio la etapa facultativa y que me acompañaran el resto de mi vida, Javier Próspero, Romina Pasini, Macarena Peña y Nur Akil, por compartir esta etapa, llena de trabajos prácticos y parciales, durante todos estos años transcurridos.

A mi Mamá, Mónica por darme todo el apoyo sentimental y económico que uno necesita cuando transita esta hermosa etapa y estar en todo momento cuando necesitaba algún consejo y fuerzas para seguir.

A Nicolás, Julieta, Máximo y Estefanía, por estar siempre acompañándome en cada paso que doy.

A mi pareja, Julián, por estar en mi vida compartiendo cada instante y ayudarme siempre en todo momento en que lo necesite. Por ser mi profesor particular de Lengua y Literatura.

A mi ahijadita, Maribel, que me brinda todo su amor y cariño.

A mi Abuela y Madrina, por estar siempre en cada etapa de mi vida y confiar en mi profesión.

Y sobre todo GRACIAS a todos aquellos que no mencione, pero que compartieron este hermoso capítulo de mi vida y guardo las palabras de aliento y cariño en mi corazón.



Resumen

El objetivo de trabajo de esta tesina es caracterizar diferentes carbones activados, cuatro de origen local, y compararlos con el correspondiente carbón activado de referencia CNR 115, que es de origen Internacional. Se busca un carbón activado de bajo costo y accesible en el mercado local, que sea apto para ser utilizado en los sistemas de refrigeración solar por adsorción.

Los carbones se caracterizaron de acuerdo con sus propiedades texturales, características en sus propiedades químicas y su morfología. Las técnicas que se utilizaron para describir las propiedades de cada uno de ellos fueron: FT-IR, TGA-DSC, Titulación potenciométrica, BET, y SEM, Adsorción de N₂ (construcción de isothermas), volumen de microporos y distribución de estos.

Se determinó que el carbón granular C2 de la empresa Concarb es el que presenta mayor similitud con el carbón de referencia (CNR-115), sobre todo porque es el que posee una mayor superficie específica en comparación con los demás. No se puede determinar, que sea el más apto para ser utilizado en los sistemas, ya que sería necesario profundizar aún más en los estudios que se realicen para caracterizar a los carbones activados.

Palabras claves

Energía solar, refrigeración alternativa, recursos naturales locales

Índice

Contenido

Introducción	1
Fundamentación y justificación	1
Hipótesis	7
Objetivo general y particulares	7
Marco Referencial	8
Materiales y Métodos	13
Caracterización de las propiedades de los carbones activados.....	14
Caracterización de las Propiedades Texturales.	14
Caracterización de la Superficie Química	15
Grupos funcionales presentes en la superficie – (FT-IR)	15
Fuerza de acidez.....	15
Análisis Termogravimétrico	15
Caracterización de la Morfología	16
Resultados y Discusión	17
Propiedades Texturales.....	17
Superficie química	20
Grupos funcionales presentes en la superficie – (FT-IR)	20
Fuerza de acidez.....	21
Análisis Termogravimétrico	23
Morfología	27
Conclusión.....	35
Bibliografía	36

Índice de Figuras, Gráficos y Tablas

Figura 1-Esquema de los componentes principales y equipo armado en la Universidad Nacional del General Sarmiento (2010).....	3
Figura 2-Ciclo Adsorción-desorción y componentes de un Refrigerador solar por adsorción.	5
Figura 3-Parte superior: gráfico P-T, Parte inferior: cambio de la concentración x de metanol con la temperatura.....	5
Figura 4-Imagen de poros en un carbón activado.....	10
Figura 5-Uniones presentes en los carbones activados.	11
Figura 6- fotografía tomada del microscopio.....	27
Figura 7- Visor de las imágenes obtenidas por el microscopio	28
Figura 8- Receptor de las muestras.....	28
Figura 9- Muestras colocadas en la placa.	29
Figura 10- Imágenes de microscopía electrónica de barrido (TEM).....	30
Figura 11- Fotografía tomada del SEM de la muestra C1.....	30
Figura 12- Fotografía tomada del SEM de la muestra C2 (a).	31
Figura 13- Fotografía tomada del SEM de la muestra C2 (b).	31
Figura 14- Fotografía tomada del SEM de la muestra C3.....	32
Figura 15- Fotografía tomada del SEM de la muestra C4.....	32
Figura 16- Fotografía tomada del SEM de la muestra C4 (b).	33
Figura 17- Fotografía tomada del SEM de la muestra C5 (a).	33
Figura 18- Fotografía tomada del SEM de la muestra C5 (b).	34
Gráfico 1-Curva Isoterma de la muestra C1.	18
Gráfico 2-Curva Isoterma de la muestra C2.	18
Gráfico 3- Curva Isoterma de la muestra C3.	19
Gráfico 4- Curva Isoterma de la muestra C4.	19
Gráfico 5-Curva Isoterma de C5 de referencia.....	20
Gráfico 6- Curvas potenciométricas	23
Gráfico 7- TGA y DTA de la muestra C1 con las curvas de la muestra C5 (Carbón de referencia). 24	
Gráfico 8- TGA y DTA de la muestra C2 con las curvas de la muestra C5 (Carbón de referencia). 25	
Gráfico 9- DTA y TGA de la muestra C3 con las curvas de la muestra C5 (Carbón de referencia). 25	
Gráfico 10- DTA y TGA de la muestra C4 superpuesta con las curvas de la muestra C5 (Carbón de referencia).	26
Gráfico 11- DTA y TGA de la muestra C5 de referencia.....	26
Tabla 1-Descripción de las muestras de carbón activado	13
Tabla 2-Propiedades texturales de los carbones estudiados.....	17
Tabla 3- Bandas presentes en los espectros FT-IR de los carbones estudiados.....	21
Tabla 4- Comportamiento de las muestras en el ensayo potenciométrico	23

Introducción

Fundamentación y justificación

En los últimos años, se ha incrementado el consumo de energía proveniente de fuentes fósiles, alcanzando un 80 % del total de otras fuentes de energía en el mundo (Garrido *et al.*, 2013). y, en consecuencia, ha aumentado la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, como el CO₂, entre otros.

Los cambios en las costumbres, hábitos y patrones de consumos de las personas, los nuevos modelos productivos que han incorporado los países, etc., generaron que aumente drásticamente la cantidad de energía que se utiliza per cápita, llegando a cifras inimaginables de uso energético.

Todos estos cambios que se vienen observando a través de los años, en el uso y manejo del recurso energético, nos hace pensar acerca de posibles futuros escenarios a los cuales se enfrentará la actual matriz energética.

En Argentina, la matriz energética actual, está conformada por fuentes de energías no renovables (proveniente de fuentes fósiles) y fuentes de energías renovables (eólica, solar, hidráulica, biomasa). En la actualidad, el 87% del total de la energía producida en el país proviene de fuente fósil. Durante varios años, se desincentivaron los proyectos de energías renovables (Cadena, 2006).

Luego de la nueva ley nacional 27191 de energías renovables y de los diversos programas creados, entre ellos los RENOVAR 1 Y 2 que fomentan la producción de energía a través de la utilización de fuentes renovables, la diversificación de la matriz energética nacional es un compromiso del Estado. De esta manera, se logra ampliar la obtención de energía, proveniente de fuentes renovables.

La diversificación de la matriz energética nacional no sólo producirá cambios positivos desde el punto de vista ambiental, ya que reducirá los impactos ambientales relacionados a la operación, producción y uso de combustibles fósiles, sino que, además, se podrá conectar a la matriz energética, aquellas poblaciones de zonas rurales que se encuentran desconectadas actualmente.

En ese contexto ambiental, energético y social que se menciona en párrafos anteriores, uno de los problemas que hasta hoy el Estado no ha podido solucionar es conectar a las poblaciones rurales a la matriz energética, y así, mejorar la calidad de vida de estas.

Estas poblaciones rurales desconectadas, se enfrentan cotidianamente a numerosos problemas. Uno de estos, es la refrigeración de sus alimentos, productos frescos o medicamentos. Por eso, la implementación de nuevas técnicas de refrigeración basadas en energías alternativas busca paliar los efectos de la ausencia de fuentes de energía convencionales.

Dentro de estos tipos de energías alternativas, la energía solar, tiene diferentes aplicaciones como térmica (colectores solares), fotovoltaica (parques fotovoltaicos) y entre ellas la de refrigeración (Shyam, 2005) puede resolver en alguna medida los inconvenientes que experimentan estas comunidades.

Existen varias tecnologías de refrigeración que utilizan el Sol para la producción de frío. Entre estas, se pueden mencionar a los sistemas de refrigeración solar por absorción y por adsorción (Vera *et al.*, 2008).

Ambos se encuentran estudiados, dimensionados y se ha determinado que los sistemas por adsorción son en principio la tecnología más apta para transferir a las comunidades debido a sus bajos requerimientos de conocimientos técnicos y costo de producción (Vera *et al.*, 2008).

Por lo general, estos equipos están compuestos básicamente por un par adsorbato/adsorbente que se encuentran en el colector, un condensador y un evaporador. La dirección del flujo gaseoso cambia, de acuerdo con la etapa de producción frigorífica o de regeneración. Se puede observar la Figura 1, un esquema de un refrigerador solar por adsorción con sus diferentes componentes del sistema. El equipo fue dimensionado y construido en la Universidad Nacional del General Sarmiento en el 2010, por un equipo de investigadores de la casa de estudio.

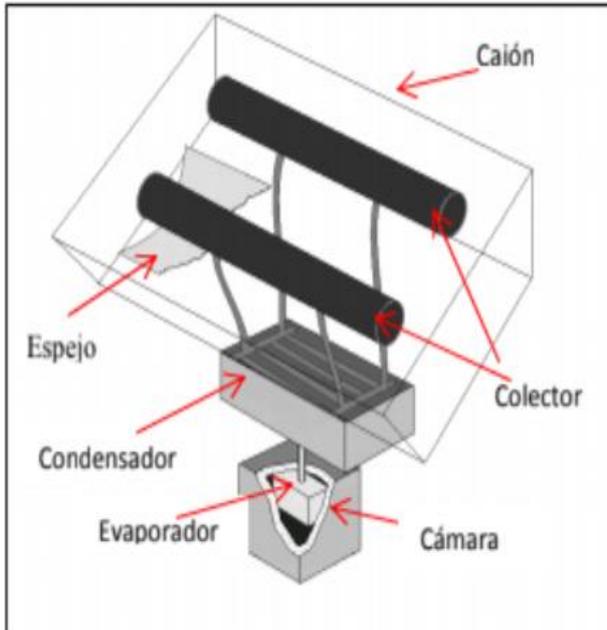


Figura 1-Esquema de los componentes principales y equipo armado en la Universidad Nacional del General Sarmiento (2010).

El rendimiento de estos equipos depende del proceso de sorción, que es el fenómeno mediante el cual un sólido poroso (adsorbente) es capaz de retener partículas de un fluido (adsorbato) en su superficie, tras entrar en contacto con éste. Posteriormente, se puede lograr la liberación de esas partículas retenidas en la superficie, siempre y cuando se coloque al adsorbato en condiciones de alta temperatura y presión (Gardey, 2009).

El par que se utiliza generalmente para conformar estos equipos es carbón activado como medio poroso, y metanol. Estos materiales poseen una alta afinidad entre ellos y se pueden conseguir en el mercado (Alvarez y Bonelli, 2003).

La descripción del funcionamiento de estos equipos que trabajan bajo el ciclo adsorptivo es el siguiente:

-Durante el día: el metanol adsorbido en el carbón (contenido a su vez en el foco de un colector solar) es liberado debido a la temperatura que alcanza en el colector solar. El metanol, luego de atravesar el condensador (ver figura 2) se deposita en estado líquido en el evaporador. Durante este proceso la presión del sistema (que es cerrado) queda fijada a la presión de saturación de vapor definida por la temperatura del condensador (en su mayor parte la condensación se produce en el condensador, aunque una parte de ella se da también en el evaporador. Esto depende básicamente de la dinámica del flujo de metanol en su viaje del colector al evaporador, lo cual a su vez depende del diseño del dispositivo).

-Durante la noche: o en ausencia de sol, se da el proceso inverso: la temperatura del carbón contenido en el colector desciende y se produce el proceso de adsorción, disminuye entonces la

presión de todo el sistema y particularmente del evaporador donde se encuentra el metanol líquido con el consecuente descenso de su temperatura. Así, durante la adsorción, el metanol reingresa en la microestructura del carbón activado a una presión que corresponde a la presión de saturación de vapor fijada por la temperatura del evaporador. El evaporador se encuentra rodeado por agua lo que produce que parte del agua se congele.

Estos ciclos de adsorción - desorción se transcurren en el paso de los días permitiendo la producción y acumulación de hielo en la cámara fría. Los siguientes esquemas representan básicamente el proceso. El ciclo se muestra en la figura 3. La parte superior de la figura corresponde a un típico gráfico P-T, donde T es la temperatura del colector. La parte inferior muestra cómo cambia la concentración "x" de metanol en el carbón activado en función de esa temperatura. Cuando comienza el día el colector aún está frío y entonces la concentración de metanol es máxima (punto A) y la presión mínima (a). A medida que aumenta la radiación solar la presión también aumenta lo cual hace que se mantenga el sistema en una condición aproximadamente isostérica (tramo 2 en ambos gráficos) por un intervalo de tiempo más o menos pequeño (si comparamos con la duración del día). La presión aumenta hasta que se alcanza el valor de presión de saturación (punto b) que fija la temperatura del condensador (algunos grados inferiores a la temperatura ambiente) A partir de allí la concentración de metanol en el carbón disminuye, debido a la condensación, a medida que transcurren las horas de pleno sol (tramo 3 en ambos gráficos). Esta parte del ciclo dura aproximadamente 4 a 6 hs. dependiendo de la estación del año. Por último, al finalizar el día el carbón comienza a enfriarse. En un principio la adsorción hace que la presión comience a reducirse (tramo 4 a partir del punto c) hasta que se alcanza la presión de saturación de vapor que corresponde a una temperatura de aproximadamente cero grados centígrados. Durante un momento la concentración no cambia demasiado, pero a partir de un instante (punto D), el proceso isobárico deja de ser isostérica y la concentración de metanol en el carbón comienza a incrementarse (tramo 1) acompañada de un descenso en la temperatura del metanol contenido en el evaporador.

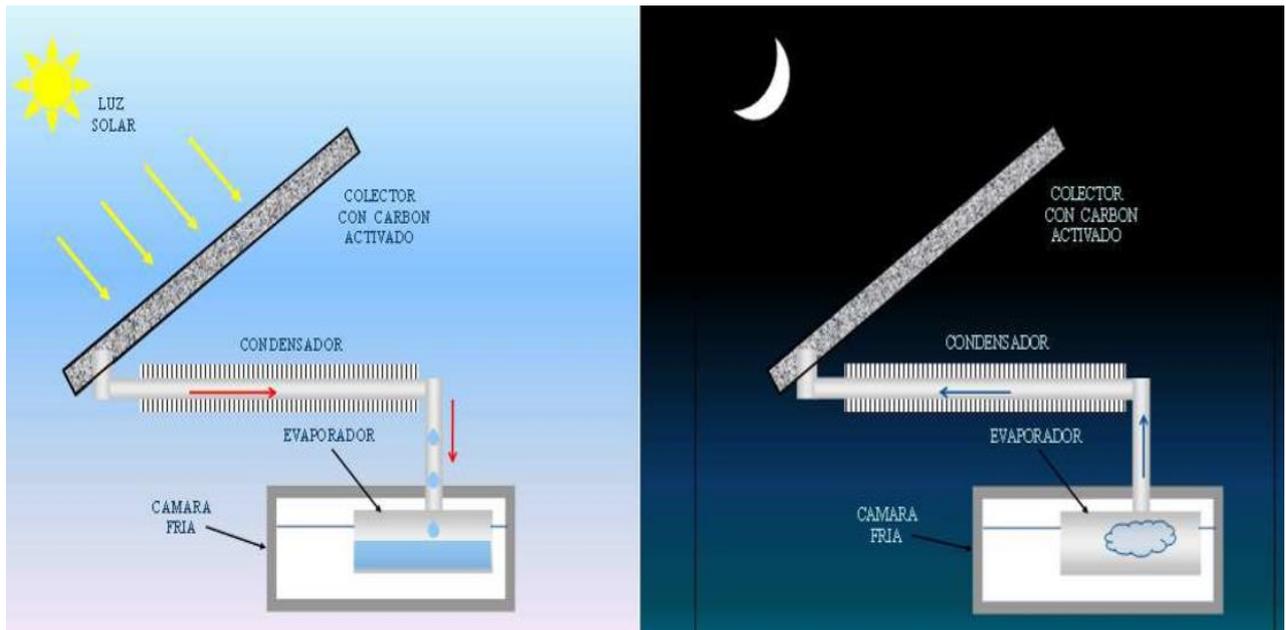


Figura 2-Ciclo Adsorción-desorción y componentes de un Refrigerador solar por adsorción.

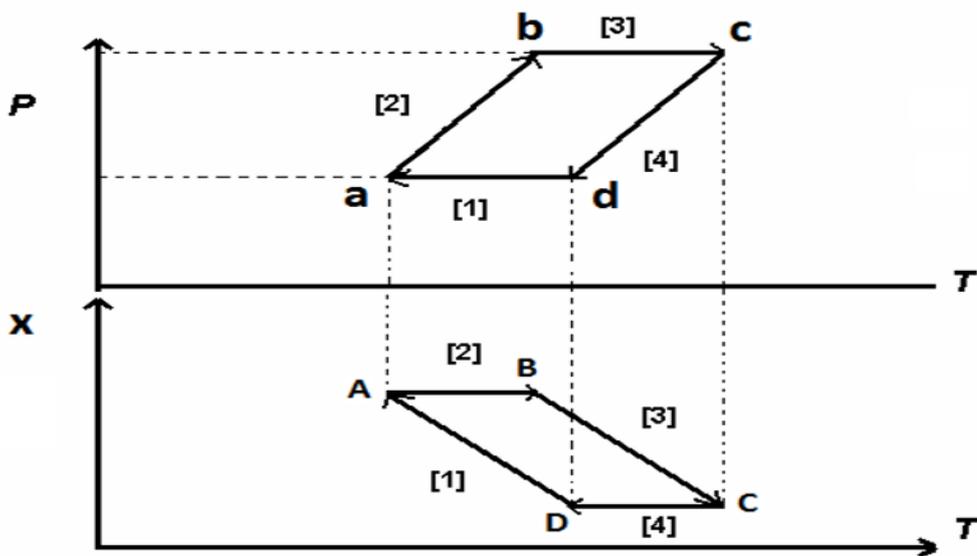


Figura 3-Parte superior: gráfico P-T, Parte inferior: cambio de la concentración x de metanol con la temperatura

Estos sistemas de refrigeración necesitan para tener una buena eficiencia, al momento de extraer calor del foco caliente, contar con un carbón activado que haga eficaz el proceso de sorción con el metanol. La materia prima, como el proceso de obtención de los carbones activados, influyen en las características finales del mismo y, por lo tanto, en su capacidad de adsorción.

Los carbones activados son adsorbentes muy versátiles debido a que el tamaño y la distribución de los poros pueden ser controlados mediante la elección del precursor, el método de activación y el control de las condiciones de preparación.

El proceso de activación al que se someten los carbones activados implica la desaparición de carbono de los espacios situados entre las formaciones cristalógraficas compuestas de carbono no

organizado, haciendo que se formen una gran cantidad pequeños espacios entre las partículas que se denominan poros, lo que produce que estos materiales posean una gran superficie interna en comparación con la superficie externa o geométrica. Esta estructura porosa interna, tan desarrollada y accesible a los procesos de adsorción, confiere a los carbones activados su principal característica, su gran capacidad adsorbente.

En Europa, el carbón activado que se comercializa y es utilizado para la producción de este tipo de equipo, es el CNR-115, por sus propiedades intrínsecas. Diversos estudios científicos, han llegado a la conclusión que el proceso de sorción es bien intenso en estos carbones asegurando la durabilidad del metanol circulante en el sistema, logrando altos rendimientos en los dispositivos (Hernández y Cordoba, 2011). El problema de esta materia prima es que es difícil adquirirlo y de elevado costo.

En Argentina se comercializan diferentes carbones activados que provienen de turba, lignito y otros carbones minerales, así como de diferentes polímeros y fibras naturales o sintéticas. Además, se han obtenido carbones activados de fuentes alternativas de bajo costo económico, como por ejemplo biomasa lignocelulósica, cáscaras de semillas y frutos de distintas especies vegetales, que provienen de diferentes residuos agroindustriales (Piastrellini, 2017).

Diversas empresas agroindustriales argentinas, con el fin de valorizar los residuos orgánicos obtenidos en sus procesos de producción, han empezado a producir este subproducto (Carbón activado) y colocarlo en el mercado (Piastrellini, 2017).

Debido a todo lo expuesto, esta tesina de investigación surge por la necesidad de estudiar los carbones activados de fabricación nacional, para caracterizarlos química y físicamente. Conociendo las propiedades de los carbones activados de origen local, podremos evaluar el proceso de sorción y compararlos con el CRN-115 para determinar si alguno puede ser utilizado en los dispositivos de refrigeración solar.

La similitud de los datos obtenidos de la caracterización de los carbones activados de origen local contrapuestos con los datos del carbón de referencia, determinará la aptitud de estos para ser utilizados en los sistemas de refrigeración solar por adsorción. Todo carbón que presente propiedades similares al de referencia, será considerado apto para ser usado en los equipos de refrigeración.

Esta investigación, podría generar información que puede ser utilizada, para diversas aplicaciones, como también para la generación de nuevos productos que se puedan insertar en el mercado. También podrá brindar una solución técnica para aquellas poblaciones que todavía no pueden resolver sus problemas energéticos.

Hipótesis

Existen carbones activados de producción nacional aptos para ser utilizado en los sistemas de refrigeración solar por adsorción.

Objetivo general y particulares

Objetivo General

- Determinar la aptitud de carbones activados de producción nacional en función del carbón de referencia para ser utilizados en sistemas de refrigeración solar.

Objetivos particulares

- Caracterizar las propiedades físicas y químicas de los carbones activados de producción local.
- Comparar el desempeño de los carbones activados de producción local en función al carbón de referencia (CNR-115).

Marco Referencial

El refrigerador solar por adsorción es un tipo de tecnología dentro de las aplicaciones de la Energía solar (García et al., 2005). Está constituido básicamente por tres componentes: un conjunto adsorbedor/colector solar, un evaporador y un condensador (García et al., 2005). El conjunto adsorbedor, por lo general, está compuesto por un adsorbato/adsorbente.

La pareja adsorbato/adsorbente está compuesta generalmente por carbón activado y metanol es uno de los sistemas más importantes que se utiliza para la producción de frío en equipos de refrigeración solar por adsorción (Gardey, 2009). El rendimiento de estos equipos depende del proceso de sorción, que es el fenómeno mediante el cual un sólido poroso (adsorbato) es capaz de retener partículas de un fluido (adsorbente) en su superficie, tras entrar en contacto con éste. Posteriormente, se puede lograr la liberación de esas partículas retenidas en la superficie, siempre y cuando se coloque al adsorbato en condiciones de alta temperatura y presión (Gardey, 2009).

En Europa, la combinación de adsorbato y adsorbente que se utiliza para la construcción de los equipos de refrigeración solar, son el carbón CNR-115 y metanol. Este cuenta con propiedades que lo hacen ser el más apto para el correcto funcionamiento del equipo además de obtener grandes rendimientos y producción frigorífica.

Las características químicas y físicas del carbón CNR-115 contribuyen a que sea utilizado como un carbón de referencia en varias investigaciones. Dentro de las propiedades que lo catalogan como un carbón apto para estos equipos: el origen, el elevado volumen de microporos y mesoporos, una alta superficie específica, una baja fuerza de acidez y una superficie química con bastante proporción de sustancias alcalinas.

En base a lo descrito, para poder caracterizar a un carbón activado, es necesario definirlo antes y conocer el proceso de obtención de este. Conociendo el origen y el método de activación al cual se sometió, podremos tener una idea de los patrones de comportamientos en el sistema de refrigeración solar.

Por lo tanto, el carbón activado lo definimos como material carbonoso, microcristalino y no grafitico, preparado por carbonización de materiales orgánicos, especialmente de origen vegetal, que se ha sometido a un proceso de activación con gases oxidantes, o bien, a un tratamiento con adición de productos químicos. El objetivo es aumentar su porosidad y desarrollar su superficie interna, lo que confiere a los carbones activados una alta capacidad adsorbente.

Para la preparación de carbones activados se pueden utilizar una gran variedad de materiales orgánicos, denominados precursores, ricos en carbono. Los más comunes son del tipo celulósico o lignocelulósico, utilizados tanto para aplicaciones en fase líquida como en fase gaseosa. La

elección del precursor es importante ya que es un factor que influye en el desarrollo textural del carbón activado.

Para producir el carbón activado, el precursor se debe someter a un proceso de carbonización, eliminando elementos como el oxígeno y el nitrógeno por descomposición pirolítica en atmósfera inerte para deshidratar el material y eliminar sustancias volátiles (Navarrete *et al.*, 2005). Se obtiene un material en el que el carbono se agrupa en forma de microcristales grafiticos irregulares, produciendo huecos intersticiales que pueden quedar tapados por alquitranes y residuos de carbonización, presentando por lo tanto una baja capacidad de adsorción.

Para mejorar la capacidad de adsorción del producto de carbonización se debe someter a un proceso de activación, que va a permitir eliminar los alquitranes y desbloquear los poros. Este método aumenta la superficie interna, el volumen de poro y de microporos de los carbones, aumentando la capacidad de adsorción del carbón activado. En función del agente activante empleado en el proceso, así como en el rendimiento que se obtiene, se pueden distinguir dos tipos de activaciones: física y química. (Lovera, 2006)

En la activación física, el precursor es previamente carbonizado en atmósfera inerte (generalmente de nitrógeno) a una temperatura entre 300°C y 900°C durante un tiempo entre 10 minutos y varias horas alternadas, para deshidratar el material y eliminar las sustancias volátiles. Posteriormente, es activado mediante un agente oxidante. Los agentes más utilizados en la activación física son el vapor de agua, seguido del dióxido de carbono y el aire, a una temperatura del orden entre 700°C y 900°C, generalmente superior a la alcanzada en la etapa de carbonización.

También es posible preparar un carbón activado en una sola etapa de carbonización-activación. Es lo que se conoce como activación química. Este tipo de activación consiste en adicionar un agente activante al precursor antes de realizar la carbonización, con el fin de reducir la formación de materia volátil y alquitranes y, por lo tanto, evitar la obstrucción de los poros. En este tipo de activación, es necesaria una etapa posterior de lavado del carbón para eliminar los restos de agente activante. Esta etapa se puede realizar con agua destilada.

Por lo general, se presume que los carbones activados de activación química tienen más capacidad adsorptiva y se eliminan todos los productos propios de la etapa de carbonización (Varga *et al.*, 2010). El grado óptimo de activación es función de cada agente activante químico que se utilice y permite desarrollar carbones activados con una alta microporosidad sin una gran contribución a la meso porosidad.

Ambos procesos de activación producen buenos carbones activados. La diferencia radica en los costos que involucren su ejecución y en las características finales del carbón activado. Por lo tanto, conociendo el método que se utilizó en la activación del carbón activado, podremos predecir que el

carbón activado, tiene mayor proporción de microporos que del resto, aumentando su capacidad de adsorción (Varga *et al.*, 2010).

Esta estructura porosa interna que se logra luego de la carbonización y posterior activación del carbón queda accesible a los procesos de adsorción y confiere su principal característica, su gran capacidad adsorbente. (Varga *et al.*, 2010).

Según la IUPAC, los poros pueden clasificarse de acuerdo con su tamaño en (Fig.4):

- Microporos: el ancho del poro (distancia pared a pared en un poro de tipo rendija o el diámetro de un poro cilíndrico) es igual o inferior a 2 nm. Se llenan a presiones relativas, P/P_0 , bajas como consecuencia del solapamiento del potencial de adsorción de las paredes opuestas de los poros.
- Mesoporos: el ancho de poro se encuentra entre 2 y 50 nm. En ellos se produce la condensación capilar del adsorbato, formando un menisco, responsable de la aparición de ciclos de histéresis en las isothermas de adsorción del adsorbato.
- Macroporos: con anchos de poro superior a 50 nm. Para llenarlos se requieren presiones relativas cercanas a la saturación.

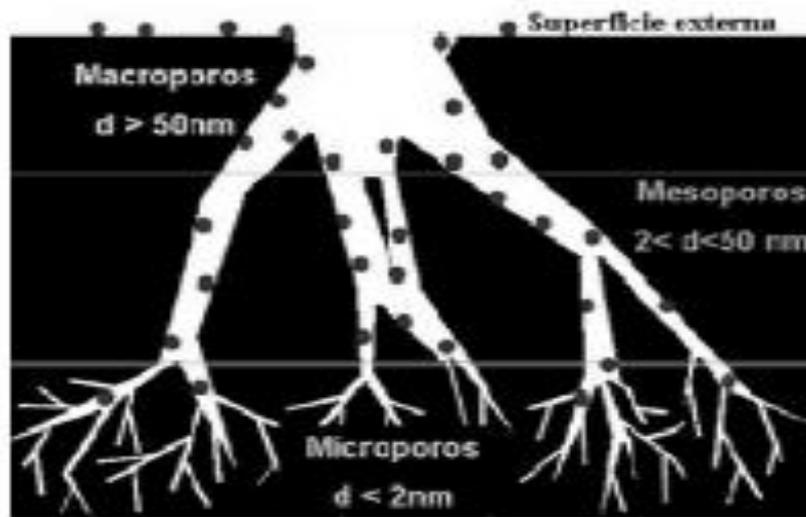


Figura 4-Imagen de poros en un carbón activado.

Aunque los principales responsables de la adsorción en un carbón activado son los microporos, ya que son los que contribuyen en mayor medida a la superficie específica del carbón, los mesoporos y macroporos son igualmente importantes, ya que facilitan el acceso de los adsorbatos a los microporos. Pese a que podría pensarse que lo deseable sería un carbón con solo microporos, la presencia de mesoporos es muy importante, porque permiten la difusión del metanol.

Para saber cómo se encuentran distribuidos los poros del carbón y el volumen de cada uno de ellos (en cuanto a la distribución de los diversos tipos de poros), se construyen curvas isotermas de adsorción-desorción, por la técnica de BET (Brunauer, Emmet y Teller). Esta técnica es utilizada por varios investigadores con mucho éxito para determinar estos datos que se necesitan para la caracterización y evaluación del carbón activado. La forma de las isotermas de adsorción revela la estructura del carbón en cuanto a la distribución de los diversos tipos de poros (Gregg y Sing, 1982) (García *et al.*, 2007).

Las propiedades adsorbentes de los carbones activados no se ven sólo determinados por su estructura porosa sino también por su naturaleza química, ya que contienen en su estructura pequeñas cantidades de heteroátomos tales como oxígeno, hidrógeno o nitrógeno, lo que permite que sustancias polares sean débilmente retenidas sobre la superficie del carbón activado. Esto es debido a que los átomos de carbono situados en los bordes de los planos presentan una alta actividad disponible, ya que no están saturados de átomos de carbono y poseen electrones libres. La presencia o ausencia de los grupos superficiales, así como el mayor o menor grado de deslocalización de los electrones π afecta las interacciones del carbón con los adsorbatos (Fig.5).

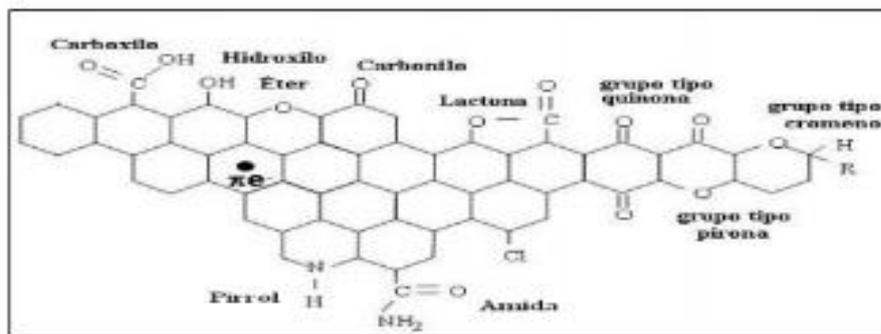


Figura 5-Uniones presentes en los carbones activados.

La química superficial del carbón activado tiene una naturaleza anfótera debido a la coexistencia de grupos superficiales ácidos y básicos. Que un carbón sea globalmente ácido o básico dependerá de la concentración de estos grupos y de la fuerza como ácido o base de estos. (Navarrete *et al.*, 2005)

El análisis se centra entonces en los contenidos de acidez y basicidad total de los carbones activados, que dependen en buena parte, de su contenido de heteroátomos, los cuales determinan la carga de la superficie, su hidrofobicidad, acidez y basicidad totales. Tales factores intervienen en la capacidad de adsorción del carbón activado (Navarrete *et al.*, 2005).

Las propiedades químicas superficiales de los carbones activados son importantes porque tienen influencia en el proceso de adsorción y su estudio ha permitido realizar modificaciones en estas propiedades, aumentando la eficiencia de los carbones activados en aplicaciones específicas.

Boehm plantea una metodología basada en titulaciones ácido-base (titulación potenciométrica) para el estudio de la química superficial de los carbones activados y la posible asignación de los grupos funcionales superficiales (Díaz *et al.*, 2002).

Por otra parte, es variable la naturaleza y cantidad de grupos químicos funcionales existentes en la superficie de los carbones, responsables de la mayor o menor afinidad entre el adsorbente y adsorbato. Si bien por su carácter hidrófobo los carbones activados adsorben preferentemente compuestos no polares, la presencia de inorgánicos y heteroátomos que forman grupos funcionales superficiales influyen las propiedades de adsorción de especies polares. Entre estos grupos funcionales oxigenados están los grupos: carboxílicos, fenólicos, carbonílicos, quinónicos, lactónicos.

La espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FTIR) permite identificar los grupos funcionales superficiales que le dan al carbón la característica de material adsorbente (Asimbaya *et al.*, 2005). Esta técnica permite recoger información sobre la superficie química del carbón activado (Asimbaya *et al.*, 2005)

Otra técnica que se utiliza complementaria a la anterior, para describir las propiedades químicas del material carbonoso, es el análisis termogravimétrico. El análisis termogravimétrico (TGA) es una técnica comúnmente utilizada para estudiar las reacciones de descomposición de este tipo de materiales, en la determinación de las características de la volatilización y los parámetros cinéticos, tales como la energía de activación y el factor pre-exponencial, así como la influencia de la temperatura y velocidad de calentamiento en el desarrollo de las reacciones de descomposición térmica y los mecanismos de reacción (Jauhiainen *et al.*, 2004; Yaman, 2004; Carrier *et al.*, 2011).

En el análisis termogravimétrico se registra la pérdida de peso de una muestra en la medida en que se incrementa la temperatura, hasta temperaturas de 1200 °C, bajo condiciones controladas de velocidad de calentamiento y diferentes atmósferas de reacción; obteniéndose por esta vía las curvas denominadas TG o termogramas y las curvas de análisis termogravimétrico diferencial DTG, en sus siglas en idioma inglés (White *et al.*, 2011).

Otra característica física es la morfología de los carbones, que es un rasgo muy influyente en la cantidad de metanol que pueda adsorberse. Las diversas formas en las que podemos encontrar los carbones que se comercializan en la actualidad son: en polvo, granulares, fibras monolitos o en forma esférica (Romero-Anaya, 2014). El aspecto que tenga el carbón activado nos informa a simple vista, sobre la superficie específica de contacto. Los cristales de carbón con características redondas y de pequeño tamaño, tienen una elevada superficie específica, asegurando mayor contacto con el metanol.

Conociendo las propiedades ya mencionadas de los carbones activados de producción nacional, permitirá definir cuál es el más apto con respecto al carbón de referencia, para ser utilizado en los

sistemas de refrigeración solar. Y así reducir los costos de producción de los equipos y poder brindar una solución técnica y amigable con el medio ambiente a las comunidades desconectadas.

Materiales y Métodos

La colección de carbones activados que se utilizarán en el trabajo de investigación son cinco, cuatro de origen nacional y una de origen internacional (CNR-115) que se utilizará como testigo de este ensayo. De cada una, se disponen 2kg, para realizar los diferentes ensayos, todos fueron donados por las industrias productoras de los mismos.

El equipamiento necesario para realizar la caracterización de los carbones se encuentra en el país y está disponible por convenios y/o a través de servicios técnicos especializados tercerizados.

Los carbones ensayados en este trabajo se describen en la siguiente tabla de acuerdo con su presentación, marca y origen.

La caracterización de estos se dividirá en tres grandes partes: propiedades Texturales, superficie química y morfología. A continuación, se procede a describir las técnicas que se utilizarían para describir cada aspecto de los carbones activados involucrados.

Tabla 1-Descripción de las muestras de carbón activado

Muestra N. ^a	Cantidad Disponible	Marca	Origen	Descripción del CA
C1	2kg	Nordic	Nacional	Granular
C2	2kg	Concarb	Nacional	Granular GWP 12-40
C3	2kg	Concarb	Nacional	Polvo pasa maya 50
C4	2kg	Concarb	Nacional	Polvo micronizado
C5 (CA de referencia)	2kg	CABOT (CNR-115)	Internacional	Granular, partícula entre 0,8 y 4,0 milímetros de diámetro.

Caracterización de las propiedades de los carbones activados.

Caracterización de las Propiedades Texturales.

La adsorción física de gases y vapores en sólidos es una de las técnicas más usadas para el estudio de la textura porosa de sólidos de todo tipo. En la caracterización de la textura porosa de un sólido los parámetros a determinar son la superficie específica, el volumen de poros y la distribución de tamaño de poros. Para la determinación de estos parámetros se puede recurrir, entre otros, a la adsorción de un gas (N₂, CO₂, hidrocarburos, etc.) a temperatura constante, obteniéndose así la isoterma de adsorción.

En este trabajo se ha realizado la adsorción-desorción de nitrógeno (N₂) a 77 K sobre los carbones activados. Las isotermas se obtienen en un aparato automático de adsorción, Micromeritics Accusorb 2100. Antes de cada análisis las muestras se desgasifican a 300°C y a 2 mm Hg de presión. El volumen de nitrógeno adsorbido se mide a una presión relativa que va desde 10⁻⁷ hasta 0,995 cm³/g.

El área específica se ha calculado por el método BET, esta técnica permite explicar la física de la adsorción de gases de moléculas en un sólido y sirve para medir la superficie de un sólido adsorbente, esta teoría que surge en 1938 y amplía el modelo de monocapa de Langmuir. Se muestra a continuación la ecuación (cada uno de los parámetros de la ecuación, se obtuvieron aplicando las curvas de adsorción):

$$\frac{(P/P_0)}{V(1 - (P/P_0))} = \frac{1}{C + V_m} + \frac{C - 1}{C + V_m} \left(\frac{P}{P_0}\right)$$

Los parámetros se definen como:

P: Presión.

P₀: Presión de saturación de adsorbato.

V: Volumen de gas adsorbido a presión (P).

V_m: Constante correspondiente al volumen de la monocapa.

C: Constante que viene dado por la ecuación.

$$C = A \exp \frac{E_1 - E_L}{RT}$$

siendo A una constante, E₁ el calor medio de adsorción en la primera capa, E_L el calor de licuefacción del adsorbato, y R y T tienen sus significados habituales.

La determinación del volumen de microporos se realizó aplicando la ecuación de Dubinin - Radushkevich (Gregg y Sing, 1982):

$$\text{Log } V = \text{Log } V_0 - D + \text{Log}^2 (P/P_0)$$

Este es un modelo aplicado para sólidos microporosos, en el que se determina el volumen de microporos del sólido. En este modelo, V es el volumen de gas adsorbido a la presión de equilibrio, V_0 es el volumen de microporos y D es una constante que puede relacionarse con el tamaño medio de los poros; el rango de presión relativa no es superior a 0,3. (Mojica-Sánchez *et al.*, 2012)

Caracterización de la Superficie Química

Grupos funcionales presentes en la superficie – (FT-IR)

La espectroscopía infrarroja es una técnica analítica ampliamente utilizada que permite la identificación y semi-cuantificación de los grupos funcionales presentes en los carbones activados. Para la obtención de los espectros de infrarrojos de los carbones activados se utiliza un espectrómetro de infrarrojo por transformada de Fourier (Bruker Tensor 27), se acumulan 32 barridos entre 600 cm^{-1} y 4000 cm^{-1} a una resolución de 2 cm^{-1} . La muestra de carbón activado se coloca directamente sobre el propio cristal y se presiona ligeramente para llevar a cabo el análisis.

Fuerza de acidez

El pH metro es un potenciómetro que mide la diferencia de potencial (ΔE) entre dos electrodos, que están en contacto a través de una solución con H_3O^+ . Uno de los electrodos (electrodo de referencia) posee un potencial conocido e invariable (+ 0.250 V a 25 C). El otro es el electrodo indicador, en el que se genera un potencial que depende de la concentración de H_3O^+ de la solución. La diferencia de potencial (ΔE) que existe entre los dos electrodos depende del potencial generado en el electrodo de referencia y el indicador, y está relacionada con la concentración de H_3O^+ y el pH de la solución: $\Delta E = E_{\text{Re f}} - E_{\text{solucion}}$

Donde $E_{\text{Re f}}$ es el potencial del electrodo de referencia y E_{solucion} es el potencial del electrodo indicador.

Análisis Termogravimétrico

La química superficial también la estudiaremos a partir de análisis térmicos, es decir, cambios en el carbón de acuerdo el calor absorbido o liberado por la muestra con un cambio de temperatura

mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) y cómo se modifica su peso con la temperatura mediante termogravimetría (TGA).

En general ambas técnicas van acompañadas, entonces se puede intuir qué compuestos están presentes con los cambios de calor de acuerdo con bibliografía específica. Mediante la técnica TGA se detecta los cambios de peso que tienen lugar en una muestra sometida a una determinada rampa de temperatura.

Para este trabajo, el análisis TGA se realizó con un detector SHIMADZU tipo TGA-51 a una velocidad de 10°C/min entre temperatura ambiente y 600°C en una celda de platino, en aire. El análisis DSC se llevó a cabo con un detector SHIMADZU tipo DSC-60, en una celda de aluminio con tapa suelta a una velocidad de barrido de 10°C/min, registrando entre temperatura ambiente y 600°C, ambos en atmósfera de nitrógeno.

Los resultados proporcionados por el análisis de DSC sirven como complemento al análisis de las transformaciones sufridas por el carbón activado a las temperaturas de trabajo (Cyrulies *et al.*, 2011).

En la figura se grafica el flujo de calor neto (liberado o absorbido) en función del avance de la temperatura (y por analogía, del tiempo, dado que la temperatura aumenta linealmente con éste). Cabe la aclaración de la convención de signos adoptada para este gráfico, con los cambios exotérmicos positivos y los endotérmicos, negativos: esto significa que las curvas hacia abajo representan transformaciones endotérmicas, mientras que las orientadas hacia arriba hacen referencia a procesos exotérmicos (Cyrulies *et al.*, 2011).

Caracterización de la Morfología

Finalmente, mediante microscopía electrónica de barrido SEM se determinó la morfología superficial de los carbones para comparar y encontrar similitudes con el carbón de referencia. El equipo utilizado fue un microscopio marca JEOL, modelo 6610 LV y un Phillips 505. Este estudio se llevó a cabo en el CRICYT ubicado en la Provincia de Mendoza, con el profesional pertinente.

Resultados y Discusión

Propiedades Texturales

En primer lugar, el área específica es una de las propiedades más importantes para tener en cuenta en el análisis de los carbones activados, que estos materiales mientras más superficie específica posean, tienen más capacidad de adsorber sustancias en su superficie. En la Tabla 2 se presentan las propiedades texturales de los carbones en estudio. El área específica superficial BET del carbón N°5 de referencia es la mayor y con valor de 1566 m²/g, el área superficial de microporos de 1649 m²/g y su tamaño de poro es de 2nm. En el resto de los carbones activados el tamaño de poros es similar al carbón de referencia, pero si analizamos el área específica superficial y la de microporos el C2 (granular de Concarb) con valores de 870 y 1037 m²/g respectivamente es el que más se parece al carbón de referencia, lo mismo sucede con el volumen de microporos. El C5 presenta una curva tipo I correspondiente a una isoterma reversible, tipo Langmuir, de acuerdo con la clasificación de la IUPAC, correspondientes sólidos microporosos, en particular presenta una concavidad hacia abajo posiblemente debido a la presencia de supermicroporos y ultramicroporos. Con los resultados obtenidos, podemos ver que el C2, posee al igual que el C5 de referencia, un área de gran capacidad de adsorción. Por más que el C5 de referencia, duplique en capacidad el área superficial que el C2, esta propiedad puede modificarse y conseguir valores próximos al de referencia. Se puede efectuar un mayor tiempo de carbonización en la obtención o recurrir a un método de activación química en el proceso de activación de este.

Tabla 2-Propiedades texturales de los carbones estudiados

Muestra N. °	ÁREA ESPECÍFICA SUPERFICIAL BET [m ² /g]	TAMAÑO DE PORO- BET [nm]	ÁREA SUPERFICIAL DE MICROPOROS, (D-A) [m ² /g]	VOLUMEN DE MICROPORO LIMITANTE (D-R) [cm ³ /g]
C1	587	1,98	694	0,3
C2	870	1,97	1037	0,43
C3	797	2,00	984	0,41
C4	492	1,86	596	0,26
C5 (CA de referencia)	1566	2,00	1649	0,82

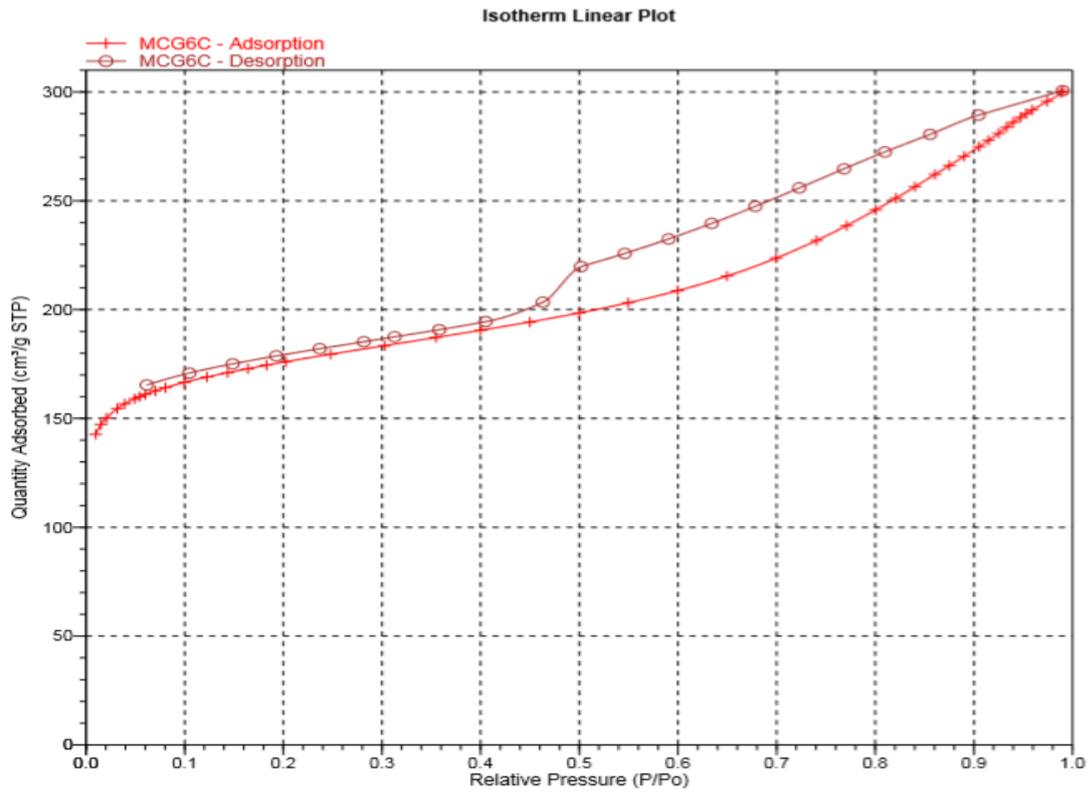


Gráfico 1-Curva Isotherma de la muestra C1.

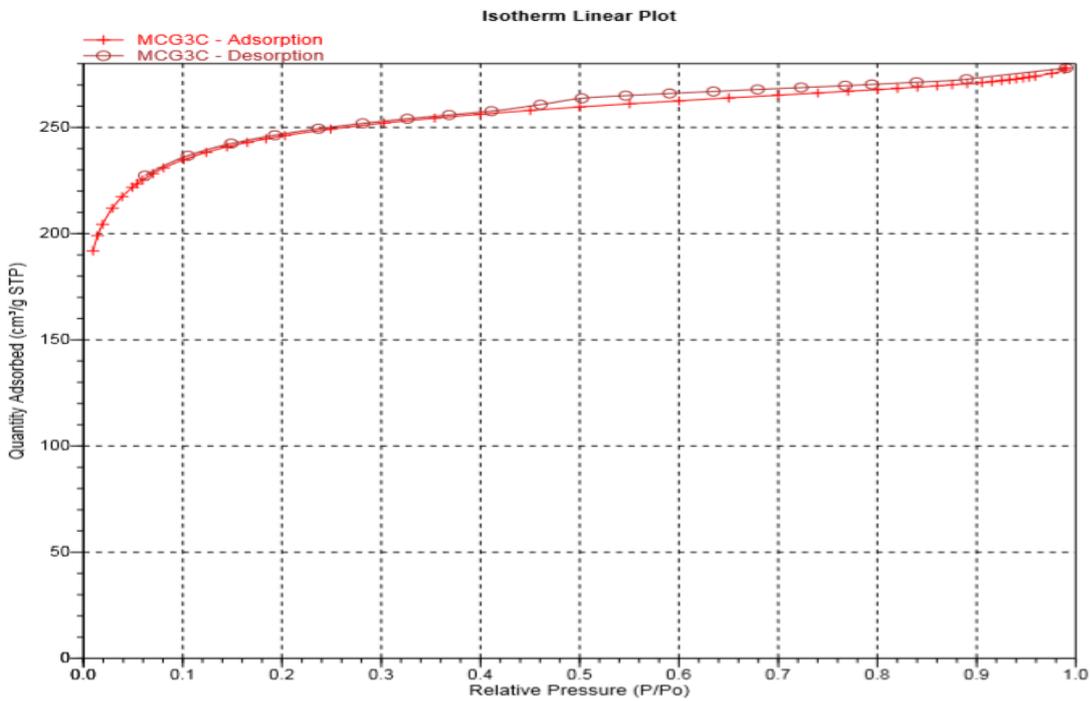


Gráfico 2-Curva Isotherma de la muestra C2.

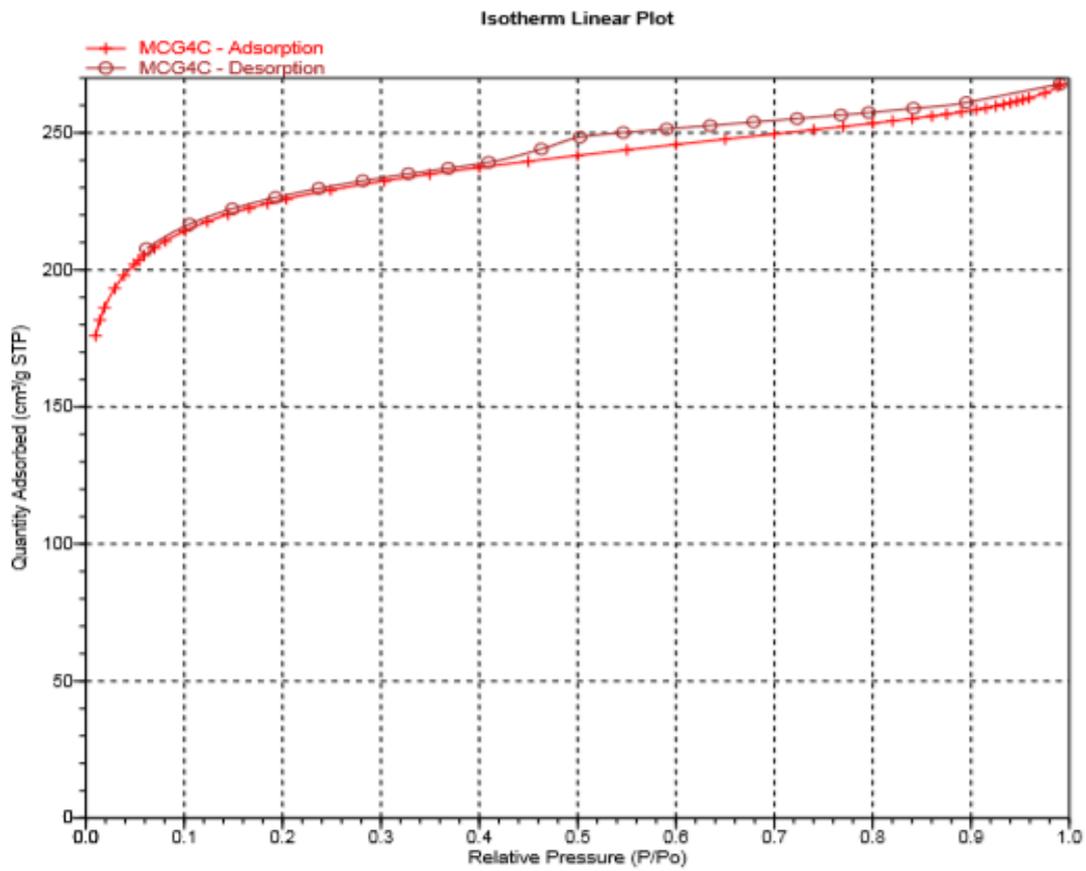


Gráfico 3- Curva Isotherma de la muestra C3.

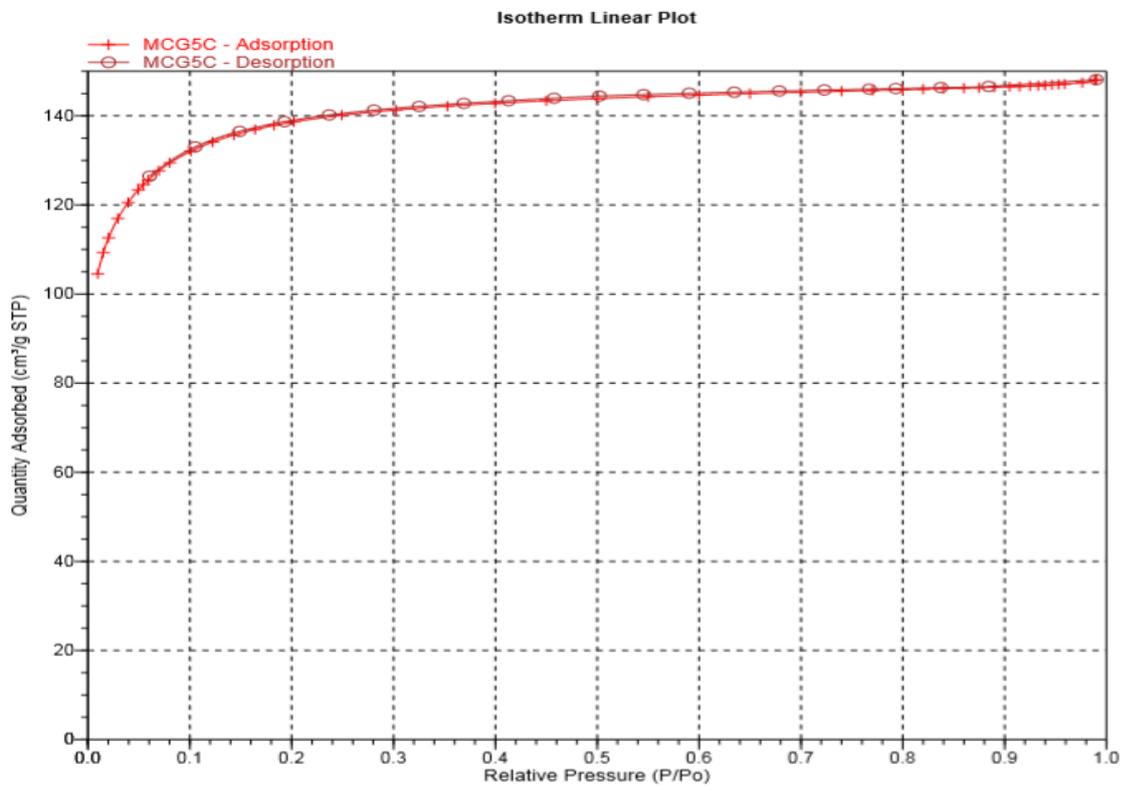


Gráfico 4- Curva Isotherma de la muestra C4.

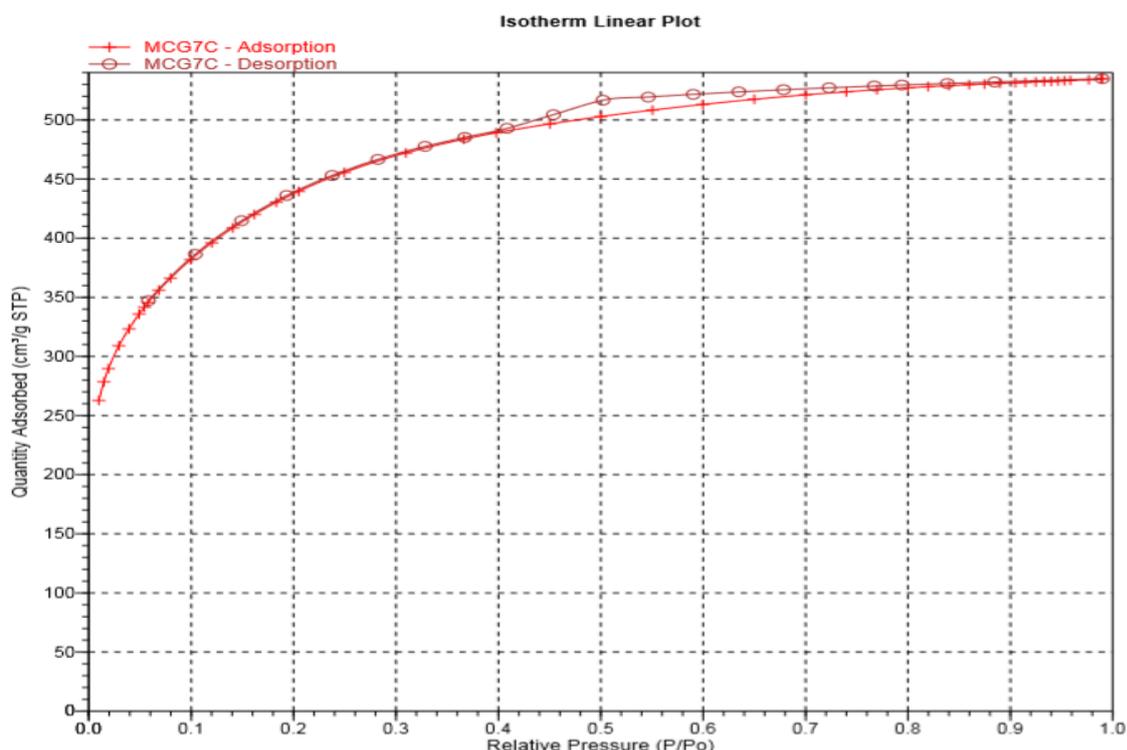


Gráfico 5-Curva Isoterma de C5 de referencia.

Superficie química

Grupos funcionales presentes en la superficie – (FT-IR)

Para conocer un poco más la química de los carbones se estudian por FT-IR las bandas características mediante esta técnica. En la Figura 6 se muestran las bandas de absorción de los carbones estudiados en particular la que está marcada en negro es la correspondientes al carbón 5 de referencia donde además se indica el número de onda correspondiente. Las bandas observadas para el carbón de referencia son las siguientes: 3850, 3730, 3396, 2360, 1548, 1690, 1135, 663 y 529 cm^{-1} . En la Tabla 3 se muestran los rangos de bandas estudiados y se indica si están presentes o no en los carbones estudiados. Por ejemplo, en todos los carbones se presentan: bandas mayores a 3500 cm^{-1} que indican presencia de uniones O-H y/o agua libre, grupos funcionales oxigenados (uniones O-H) debido a su característica banda amplia e intensa en la región de 3000-3500 cm^{-1} pudiendo atribuirse a la presencia de agua, alcoholes y fenoles, bandas entre 3000 y 2850 cm^{-1} , correspondientes a uniones CH de compuestos saturados (alcanos), de 1690 cm^{-1} con presencia de uniones dobles del tipo C=O (cetonas, aldehídos, ácidos carboxílicos y ésteres) y, la banda de 1450 a 1600 cm^{-1} con presencia de anillos aromáticos. Se sabe además que la región entre 1200-700 cm^{-1} se conoce como región de las huellas digitales denominada así

porque en ella cada compuesto presenta un conjunto de bandas característico que lo diferencia del resto de los compuestos (Asadullah, 2010; Labbé, 2006).

Si bien de acuerdo con la Tabla 3 en los carbones están presentes casi las mismas bandas de absorción, cada una presenta diferentes valores de transmitancia de acuerdo con la Figura 6, pero la curva correspondiente al carbón 3 es la que mejor acompaña a la curva del carbón 5 de referencia, en segundo lugar, el carbón 2 que presenta las mismas bandas, pero difieren en algunos valores de transmitancia. Con respecto al carbón 1, si lo comparamos con el de referencia C5, Podemos ver que los porcentajes de transmitancia son muy diferentes, por más que posean las mismas bandas en los intervalos de longitudes de onda. La diferencia radica, en la superficie específica, el C1 es de menor superficie que el C5.

Tabla 3- Bandas presentes en los espectros FT-IR de los carbones estudiados

Muestra N. a	RANGO						
	Mayor a 3500	3500- 3000	3000- 2850	1900- 1670	1600- 1450	1200-700	Menores a 600
C1	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
C2	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
C3	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
C4	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
C5 ref.	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Fuerza de acidez

En complemento con la espectroscopía encontramos la titulación potenciométrica. La diferencia en los valores de transmitancia es debido a que en la producción de los carbones activados analizados se utilizaron distintos tipos de métodos de activación. En diversos estudios realizados por María del Rosario Sun Kou en 2012, evidenció que el tipo de activación condicionaba la transmitancia de los carbones activados, alterando la superficie de los mismo. Y que, de acuerdo, con la sustancia que se busque generar afinidad con el carbón, es necesario eliminar, algunos elementos presentes en la superficie, para que no haya cambios en la otra sustancia.

La acidez en carbones activados se encuentra relacionada con el contenido de oxígeno. Los carbones activados que presentan propiedades de superficies ácidas presentan un contenido de oxígeno mayor que los básicos y, por lo tanto, presentan un comportamiento de intercambio de cationes, contrariamente a los básico en donde sus propiedades se vinculan con el intercambio

aniónico (Boehm, 1994). Algunos de los grupos funcionales ácidos que pueden encontrarse en la superficie de los carbones son: grupos carboxilos, anhídridos carboxílicos, grupos hidroxilos, grupos carbonilos, grupos lactona o lactoles, quinonas, fenoles hidroxilados (Boehm, 1994). El metanol es un alcohol orgánico, que posee una estructura similar a la del agua, ya que los alcoholes pueden ser comprendidos como compuestos derivados del agua en donde uno de sus átomos de hidrógeno es reemplazado por el grupo orgánico. El metanol se comporta como un ácido débil. Los alcoholes no reaccionan con bases débiles como las aminas o el ion bicarbonato, y únicamente reaccionan en grado limitado con hidróxidos metálicos como el NaOH. Sin embargo, los alcoholes reaccionan con metales alcalinos y con bases fuertes como el hidruro de sodio (NaH), el amido de sodio (NaNH₂), y los reactivos de Grignard.

Según los parámetros establecidos para la fuerza ácida: $E \geq 100$ mV muy fuerte; $0 \leq E \leq 100$ mV fuerte, $100 \leq E \leq 0$ mV débil y $E \geq -100$ mV muy débil. En la Tabla 4 se observa que el carbón de referencia presenta una fuerza ácida de 19,3 mV y se encuentra dentro de la clasificación de Fuerte, de acuerdo con esta clasificación el C1 tiene un menor valor, por lo tanto, lo convierte en el más próximo al carbón de referencia y en segundo lugar el carbón C2, esto es coherente con las curvas potenciométricas de la Figura 6.

Debido a lo expresado anteriormente, es necesario que el carbón activado, posea afinidad por el Metanol que circulara en el sistema de refrigeración solar. Este mismo, no debe sufrir ningún tipo de cambio ni alteración por la superficie química del carbón activado.

Según la absorbancia y la fuerza de acidez de los carbones activados de origen local, podemos predecir que tanto el C1 y C2, poseen una superficie química parecida. Estos mismos presentan valores semejantes y curvas similares. Estos estudios se pueden profundizar aún más, para detallar todas las sustancias específicas que se encuentran en las superficies de estos.

Tabla 4- Comportamiento de las muestras en el ensayo potenciométrico

Muestra N.º	FUERZA ÁCIDA (MV)	CLASIFICACIÓN
C1	32,6	Fuerte
C2	57,2	Fuerte
C3	252,5	Muy Fuerte
C4	381,4	Muy Fuerte
C5 ref.	19,3	Fuerte

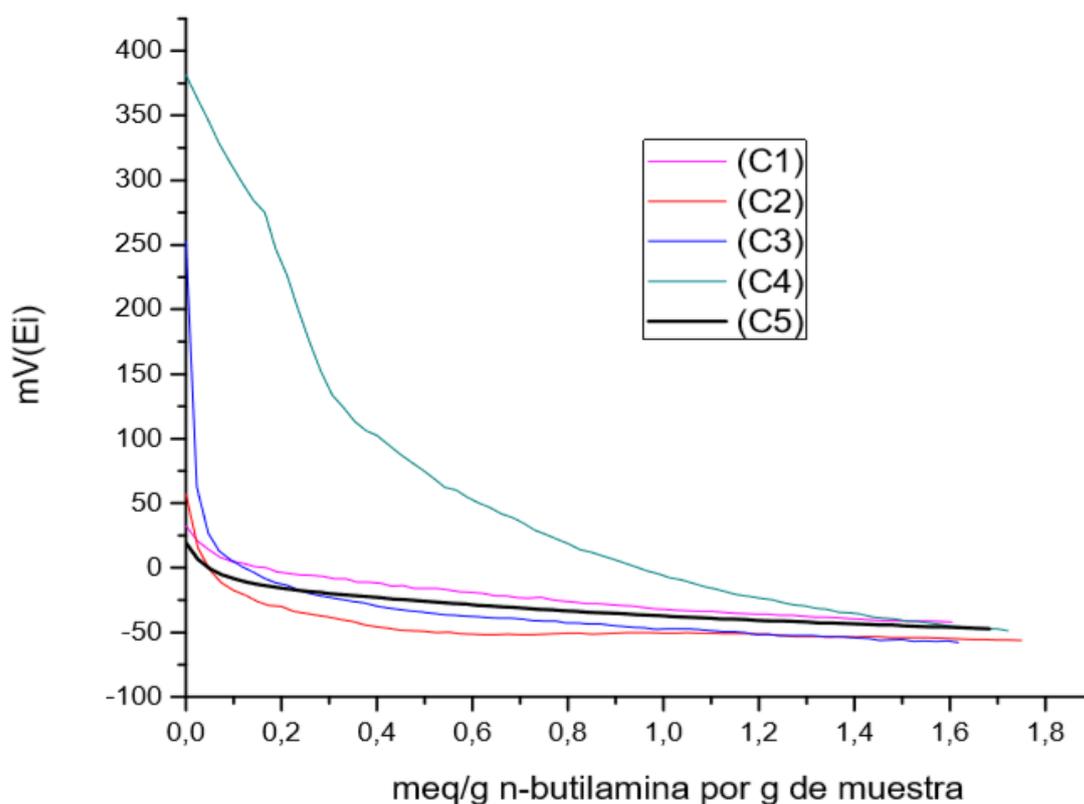


Gráfico 6- Curvas potenciométricas

Análisis Termogravimétrico

Cuando aumenta la temperatura los grupos que se encuentran en la superficie pueden reaccionar liberando o absorbiendo energía, también ganando o perdiendo masa, estos cambios se pueden estudiar mediante barridos termogravimétricos como los análisis TGA-DTA. En el Grafico N°11 observamos estas curvas para el carbón de referencia. Aquí se observa que antes de los 100°C la muestra presenta una pérdida de peso que se corresponde con la reacción exotérmica observada alrededor de los 75°C posiblemente debida a pérdida de agua superficial. Luego se observa una

pérdida de peso casi constante hasta llegar a los 400°C donde la caída es abrupta, este cambio coincide con una absorción de energía posiblemente debida a la formación y liberación de un nuevo compuesto. En el Grafico N°8 correspondiente al C2 podemos observar que a medida que aumenta la temperatura, éste disminuye su peso (TGA) en un intervalo de temperatura de 0 a 100°C y se libera energía (proceso exotérmico) en un intervalo de 0 a 470°C, esto creemos que se relaciona con la pérdida de humedad que tiene el carbón. A partir 470 °C aproximadamente, se produce la pérdida total de toda la humedad que se encuentra adsorbida sobre el material, más la humedad unida químicamente al carbón activado, también se podría estar eliminando otras sustancias que se encuentran en el carbón (óxidos, etc.), a partir de esta temperatura se puede observar un incremento de la ganancia de energía por parte del carbón, cuando este experimenta la mayor pérdida de peso.

A continuación, se muestran las curvas obtenidas por cada uno de los carbones activados superpuestas con las curvas obtenidas del C5 (Carbón de referencia CNR-115).

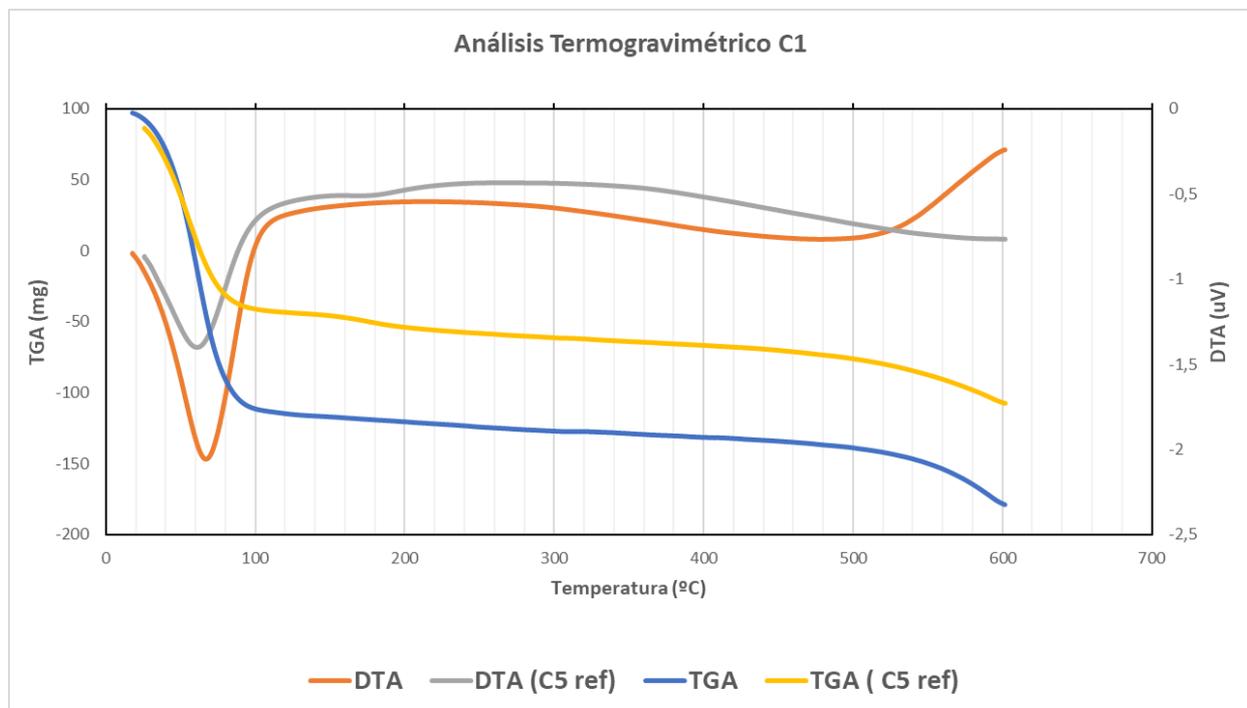


Gráfico 7- TGA y DTA de la muestra C1 con las curvas de la muestra C5 (Carbón de referencia).

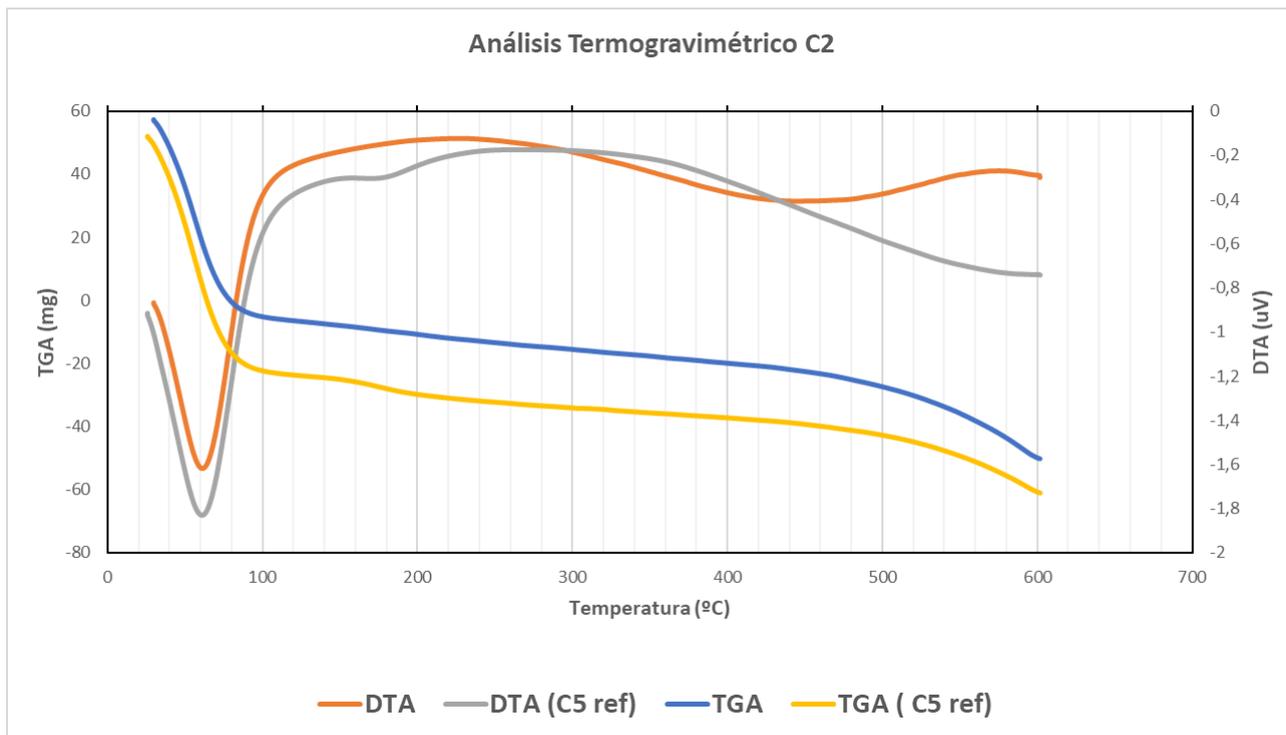


Gráfico 8- TGA y DTA de la muestra C2 con las curvas de la muestra C5 (Carbón de referencia).

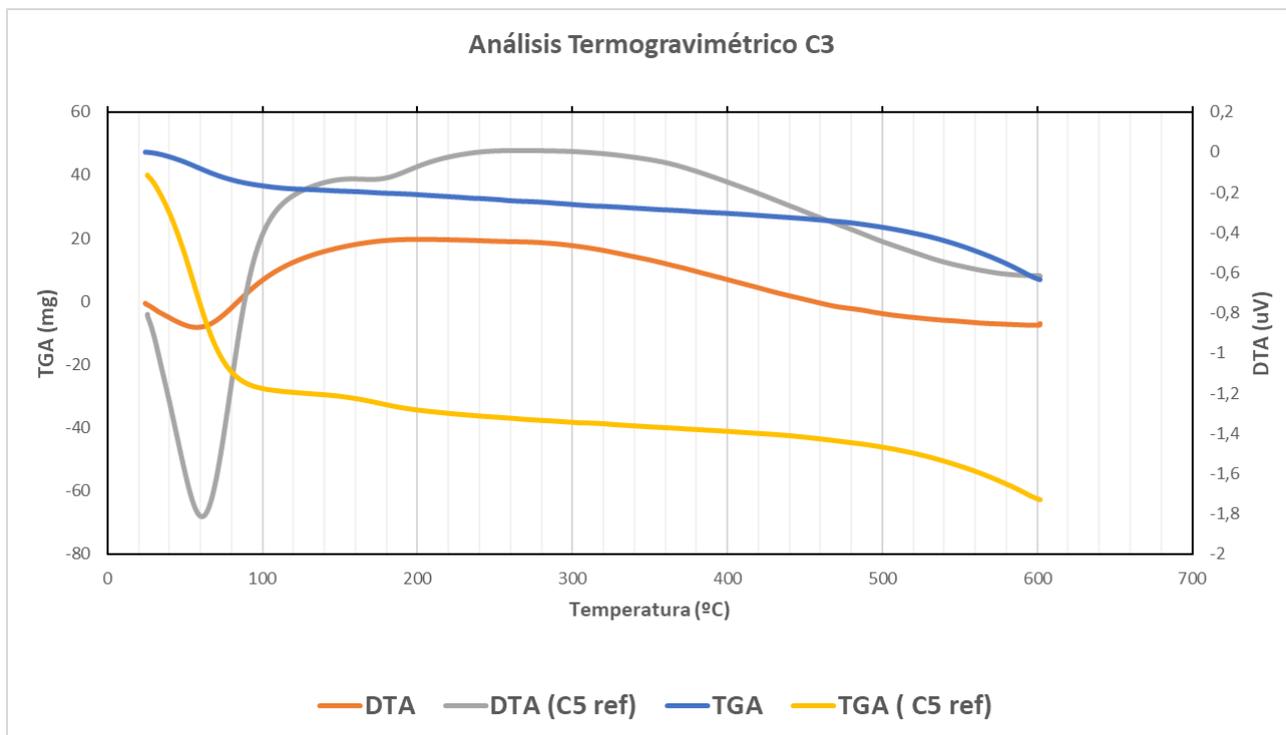


Gráfico 9- DTA y TGA de la muestra C3 con las curvas de la muestra C5 (Carbón de referencia).

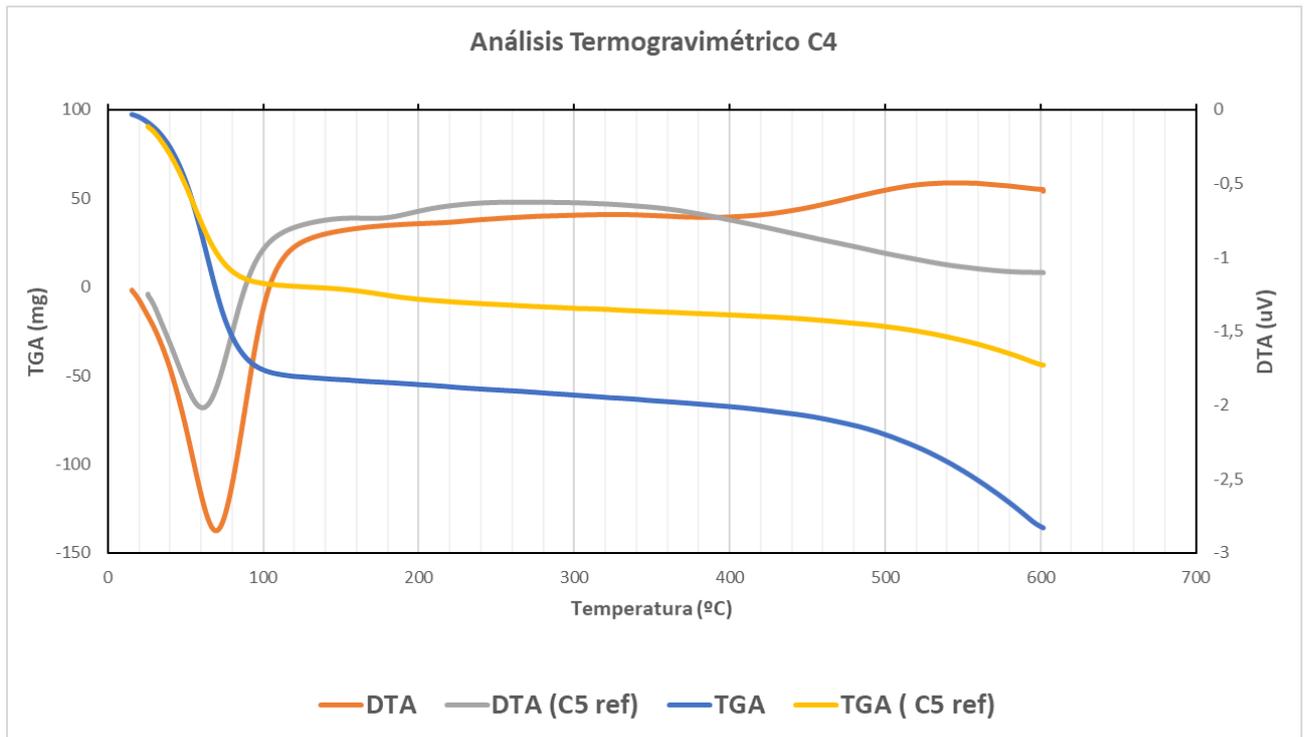


Gráfico 10- DTA y TGA de la muestra C4 superpuesta con las curvas de la muestra C5 (Carbón de referencia).

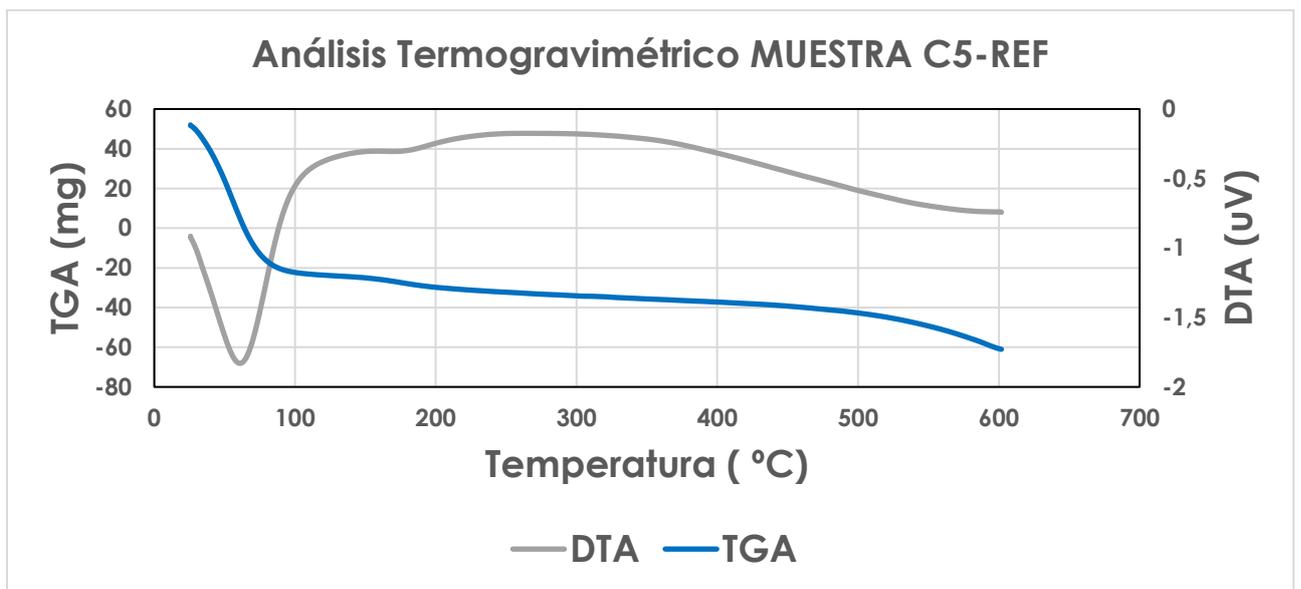


Gráfico 11- DTA y TGA de la muestra C5 de referencia.

En relación con los otros carbones activados, todos tienen comportamientos similares al C5. Aquí no podríamos aún sacar conclusiones acerca de cuál carbón de producción nacional es el más parecido ya que se requiere de un análisis más profundo que quedará como trabajo a futuro.

Morfología

Finalmente, en la Figura 7 se muestran las micrografías obtenidas mediante el microscopio de barrido electrónico donde la línea de escala corresponde a los 100 μm .



Figura 6- fotografía tomada del microscopio.



Figura 7- Visor de las imágenes obtenidas por el microscopio

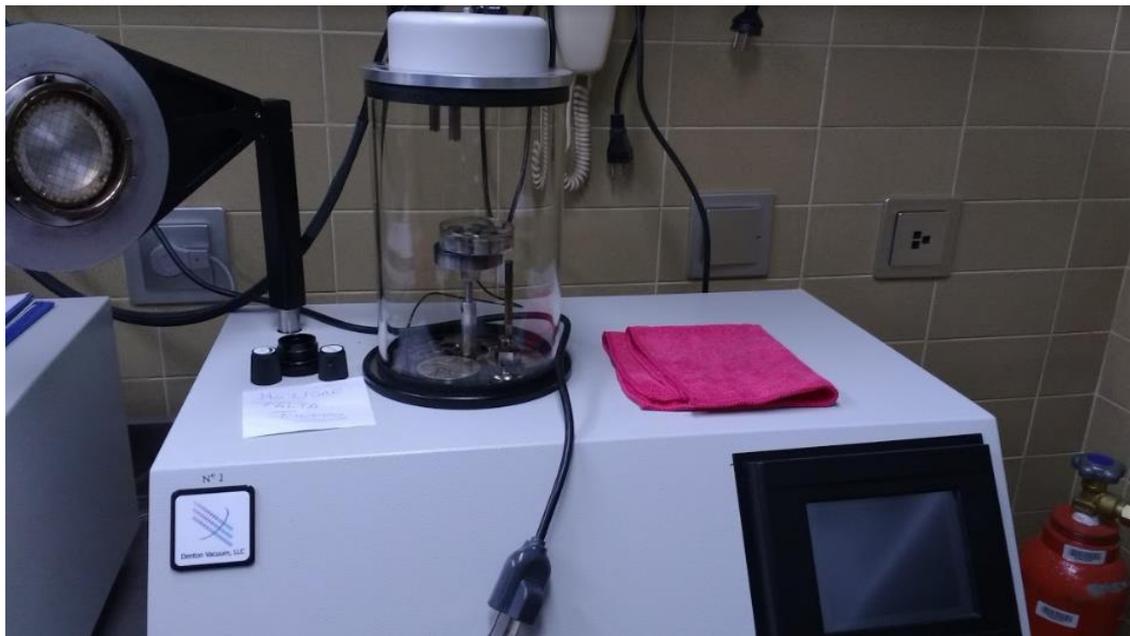


Figura 8- Receptor de las muestras.

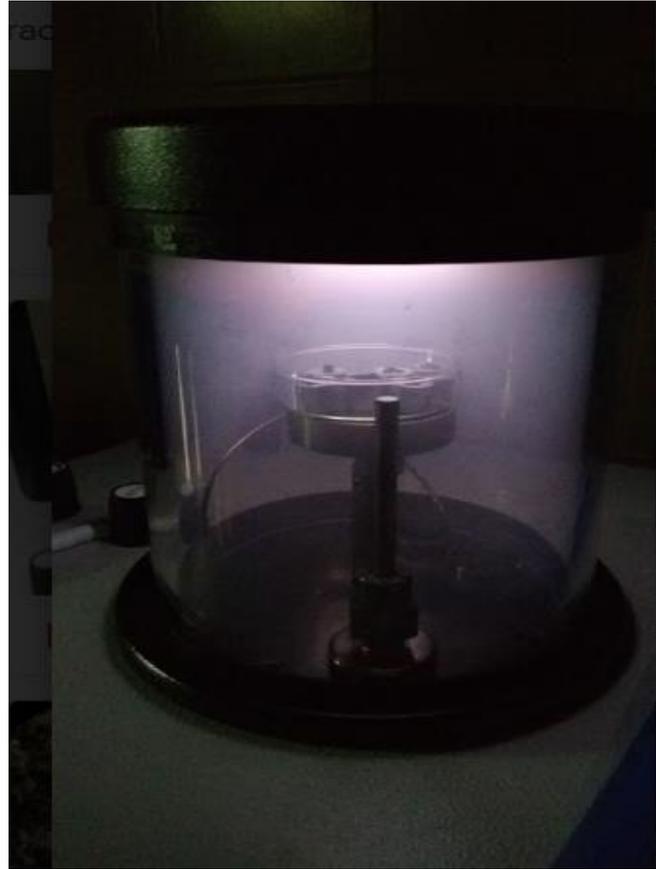


Figura 9- Muestras colocadas en la placa.

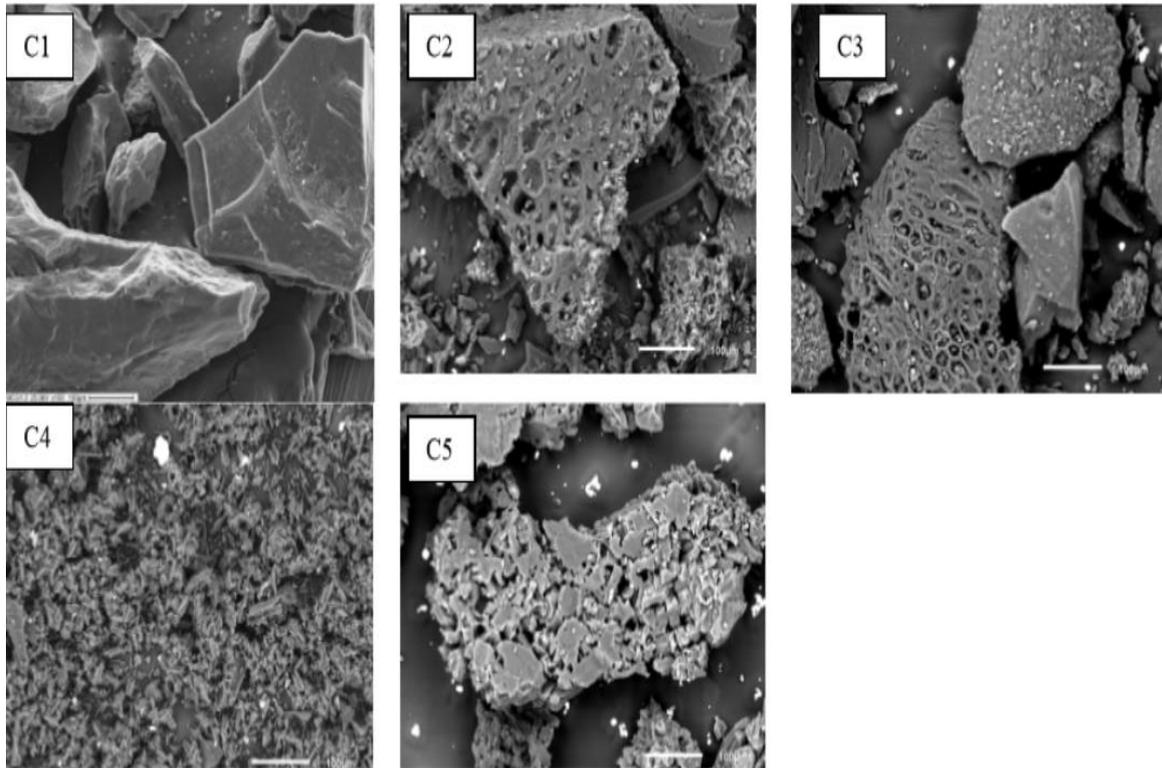


Figura 10- Imágenes de microscopía electrónica de barrido (TEM).

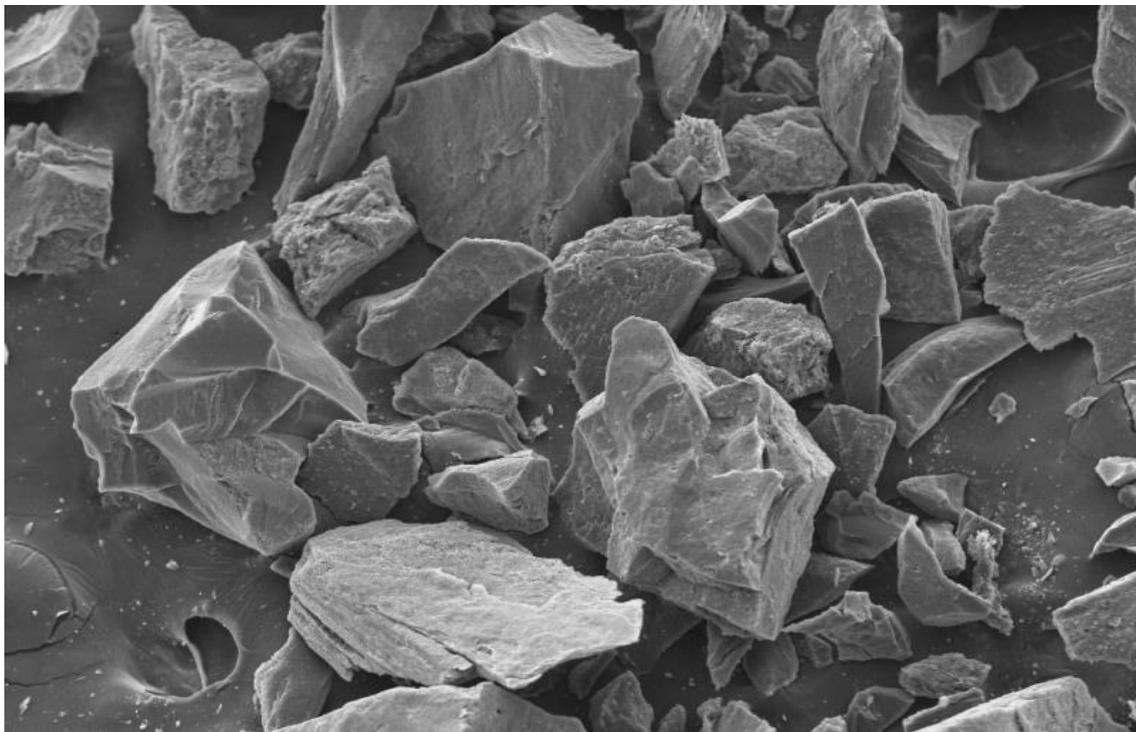


Figura 11- Fotografía tomada del SEM de la muestra C1.

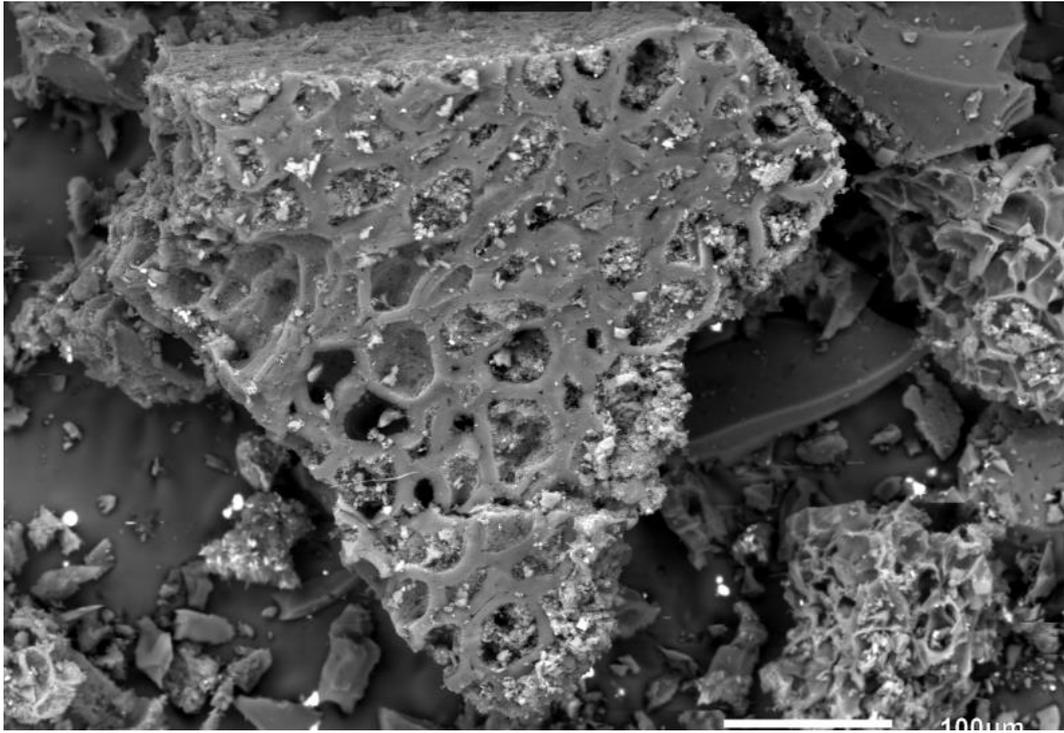


Figura 12- Fotografía tomada del SEM de la muestra C2 (a).

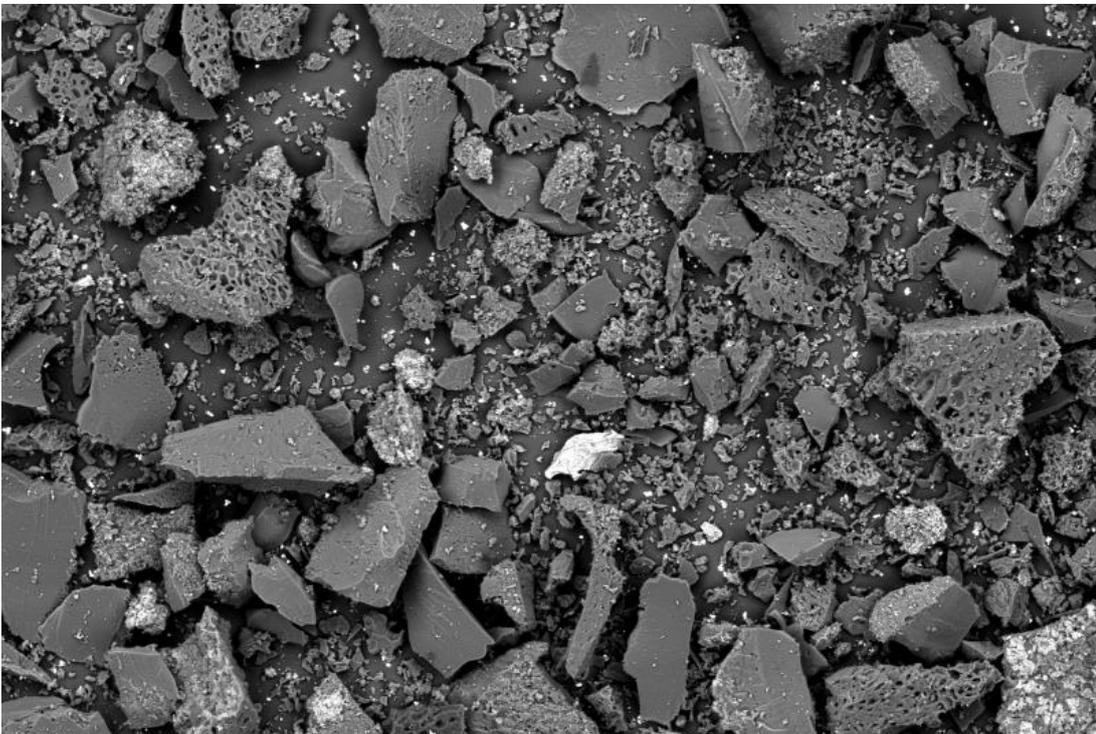


Figura 13- Fotografía tomada del SEM de la muestra C2 (b).

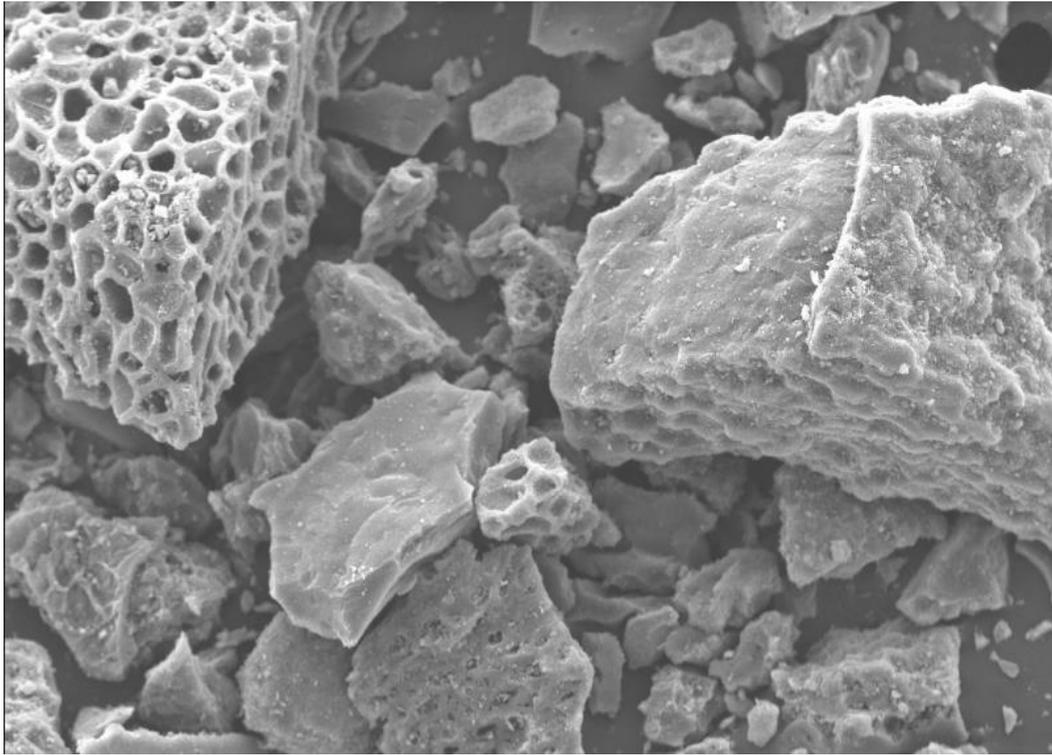


Figura 14- Fotografía tomada del SEM de la muestra C3.

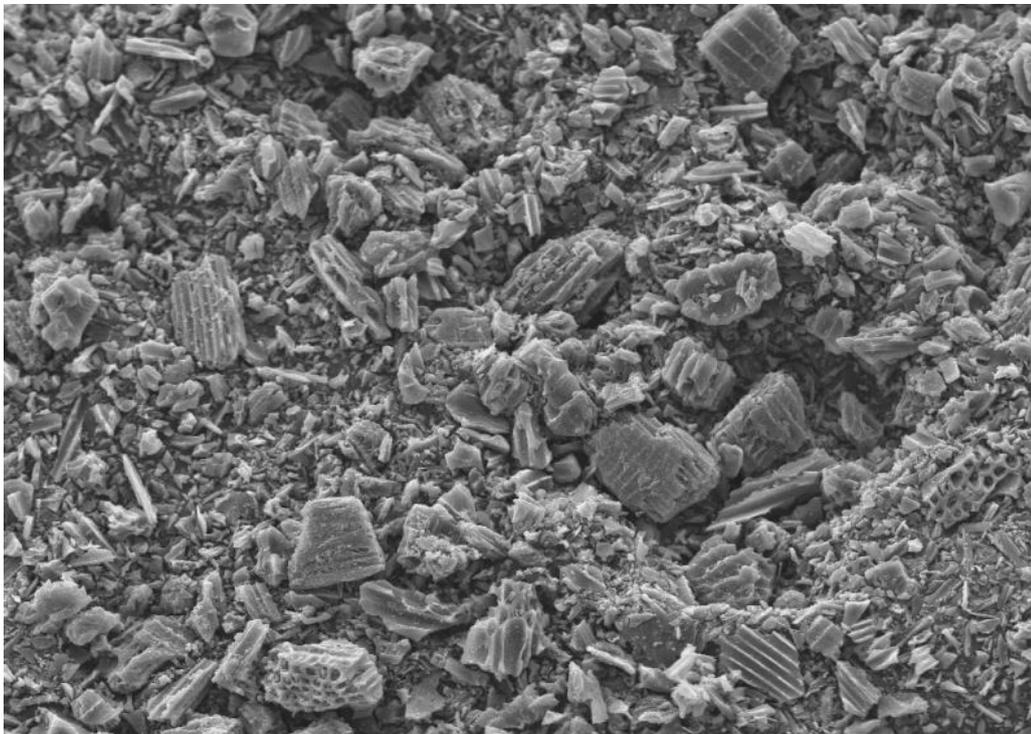


Figura 15- Fotografía tomada del SEM de la muestra C4.

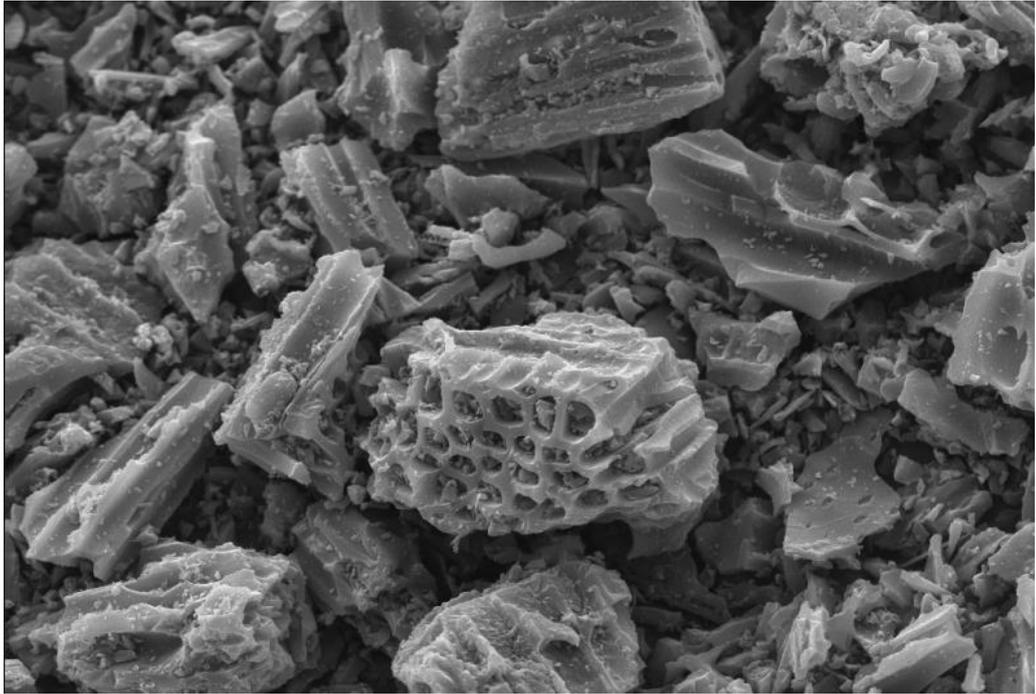


Figura 16- Fotografía tomada del SEM de la muestra C4 (b).

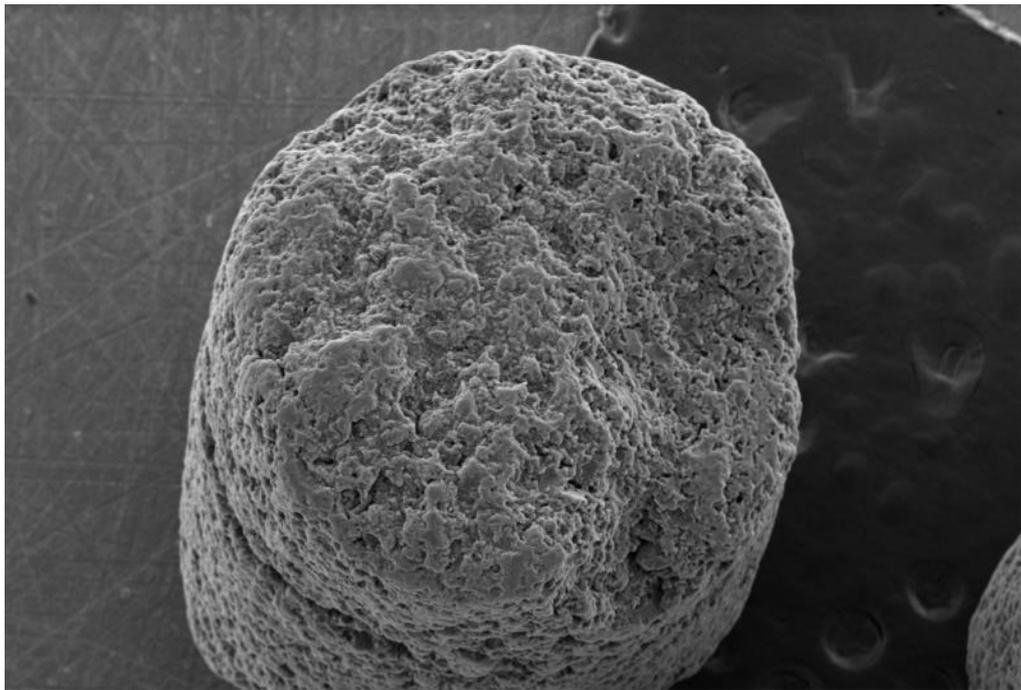


Figura 17- Fotografía tomada del SEM de la muestra C5 (a).

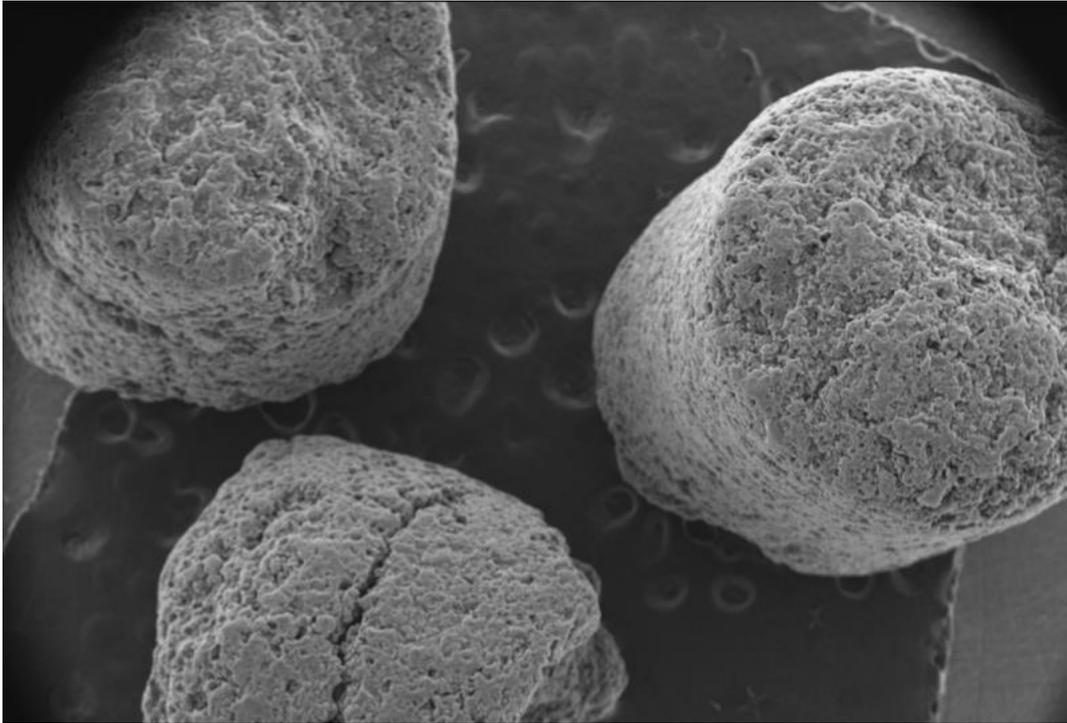


Figura 18- Fotografía tomada del SEM de la muestra C5 (b).

De acuerdo con la información comercial el carbón de referencia C5 es obtenido con materia prima vegetal, luego es sometido a un proceso de fundición y a continuación de extrusión, obteniéndose cilindros entre 0,8 y 4,0 milímetros de diámetro. El carbón 2 presenta un arreglo de poros similar a la que se encuentra en carbones activados provenientes de la cascara de maní (Mohammed *et al.*, 2015). El carbón 3 es similar al 2 que pudo haber sufrido una activación física o química, por que presentan mayor desarrollo de la porosidad. Finalmente, la muestra 4 presenta un posible origen vegetal (presencia de haces vasculares desintegrados, por las altas temperaturas en la que se somete al carbón en la etapa de carbonización) con activación química a altas temperaturas (Lesnicenoks *et al.*, 2017), ya que presenta un mayor desarrollo textural. En un principio respecto del carbón de referencia no hay parecido con los carbones estudiados es necesario un análisis más profundo para sacar conclusiones más acertadas acerca de su posible origen.

Conclusión

Se compararon 5 muestras de carbones activados cuatro de origen local y una de origen internacional con un carbón de referencia llamada CNR 115 de origen internacional, con el objetivo de encontrar aquel carbón que presentara similitudes con el carbón de referencia.

Los carbones que se analizaron se caracterización mediante las siguientes técnicas: Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR), Termogravimetrías y Calorimetría diferencial de Barrido (TGA-DSC), Titulación potenciométrica (TP), determinación de propiedades texturales mediante BET y en forma complementaria por Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).

De acuerdo con las técnicas BET, FT-IR y TP se encontró que el carbón activado C2 proveniente de la empresa Concarb fue el que presentó características similares al CNR 115, con el resto de las técnicas es necesario un estudio más profundo para sacar conclusiones similares.

Los Carbones activados C1 y C4, fueron aquellos que no presentaron propiedades similares al CNR-115. Esto es debido, a que las propiedades de estos difieren al CNR115, porque se utilizaron diferentes precursores en el momento de la obtención de estos carbones. Y no se pudo saber con exactitud, a través del análisis SEM, de que origen posible son.

El Carbón activado C3, con respecto al CNR-115 (C5) obtuvo valores de volumen de poros y área superficial inferiores al de referencia. Con respecto a la evaluación potenciométrica, presenta valores inferiores, por lo tanto, podemos asegurar que no van a tener el mismo comportamiento en un sistema de refrigerador solar por adsorción.

No se puede categorizar al C2, como que sea el más apto para ser utilizado en los sistemas de refrigeración solar por adsorción. Se necesita profundizar aún más en los estudios realizados y ampliar los mismos, para obtener conclusiones más certeras.

Bibliografía

Alhasan, S. & Carriveau, R. (2016). A review of adsorbed natural gas storage technologies. *International Journal of Environmental Studies*.

Álvarez, B.F. & Bonelli P. R. (2003). Caracterización textural de carbones activados desarrollados a partir de una madera tropical: influencia de las condiciones de activación. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 7, N.º 1, 2003.

Asadullah M., Asaduzzman M., Shajahan M., Golam M., Miyazawa T. (2005). Chemical and structural evaluation of activated carbon prepared from jute sticks for Brilliant Green dye removal from aqueous solution. *Journal of hazardous materials*. Vol. 174(2005) 437-443

Attalla, M. & Sadek, S. (2014). Experimental Investigation of Granular Activated Carbon/R-134a Pair for Adsorption Cooling System Applications. *Journal of Power and Energy Engineering* 2 (2014) 11-20.

Boehm, H. P. (1994). Some aspects of the surface chemistry of carbon blacks and other carbons. *Carbon* Vol. 32 No. 5 (1994) 759-769.

Cadena, C., (2006). ¿Electrificación o energización? mediante energías alternativas en zonas rurales. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 10, 2006. Impreso en la Argentina.

Cyrulies, E., Echarri, R., Hall, M., Justianovich, S., Sartarelli, A. & Vera, S. (2011). Refrigeradores solares en el noroeste de Córdoba "Un proyecto con capacidad de desarrollo local". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 15 (2011). Argentina.

Cyrulies, E.; Echarri, R., Hall, M., Justianovich, S., Sartarelli, A., Vera, S. (2011). Refrigeradores solares en el noroeste de Córdoba "un proyecto con capacidad de desarrollo local". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 15, 2011.

Diaz, C; Giraldo, L.; Moreno, J. (2002). Caracterización textural y química de carbones activados preparados a partir de cuesco de palma africana (*Elaeis guineensis*) por activación química con CaCl_2 y MgCl_2 . *Revista Colombiana de Química*, vol. 44, núm. 3, (2002) 18-24.

Diaz, M & González, B. J. J. (2016). Diseño de un prototipo de refrigerador solar por adsorción empleando carbón activado/metanol. Venezuela.

Esquivel, O., Busso, A., Sogari, N., Franco, J. (2006). Refrigeración solar mediante ciclo de amoníaco-agua acoplado a un concentrador solar. Revista de comunicaciones científicas 2006.

Ferreira, L. A. P. (2002). Refrigerador solar para producción de hielo usando carbón activado-metanol. Departamento de Engenharia Mecânica Universidade Federal da Paraíba.

G.J.V.N. Brites et al. Influence of the design parameters on the overall performance of a solar adsorption refrigerator/ Renewable Energy 86 (2016) 238 a 250. Argentina.

García, L. (2005). Caracterización Textural de Adsorbentes. Revista de la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción, Concepción, Chile (2005) 24-26.

Gardey M., C., Sartarelli, A. (2009). Comparación entre dos carbones activados para su uso en sistemas de refrigeración solar. Noveno Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería EnIDI (2009).

Garrido, S., Lalouf, A., Moreira, J. (2013). Implementación de energías renovables como estrategia para modificar la matriz energética en argentina. de las políticas puntuales a las soluciones sistémicas. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 17, pp.12.35-12.41, 201.

Gregg, S. J., Sing, K. S. (1982). Adsorption Surface Area and Porosity. Journal of the electrochemical society.

Hernández A. E. & Córdoba, E. J. (2011). Diseño, construcción y prueba de un refrigerador solar por adsorción usando carbón activado. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga.

Hernández Arroyo, E. & Reyes Orozco, M. (2012). Analysis of variables affecting the performance of a solar refrigerator. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada Volumen 1 - Número 19.

Khattab, N.M. (2004). A novel solar-powered adsorption refrigeration module. Applied Thermal Engineering 24 (2004) 2747–2760.

Labbé N., Harper D., Rials T. (2006). Chemical structure of wood charcoal by infrared spectroscopy and multivariate analysis. Journal of agricultural and food chemistry. Vol. 54, pp 3492-3497. Boehm H.P., 1994. Some aspects of the surface chemistry of carbon blacks and other carbons. Carbon. Vol.32, N° 5 (2006) 759-769.

Lesnichenoks P., Zvine M., Januskevica A., Muzikants V.L., Jurjans M.K., Kaprans K., Volperts A., Kucinskis G, Bajars G, Dobele G., Kleperis. Bulgarian J. (2017). Chemical Communications, Nano-structured carbon materials as promoters of energy storage. Volume 48, Special Issue E, pp.365-372.

Mahesh, A. (2017). Solar collectors and adsorption materials aspects of cooling system. Renewable and Sustainable Energy Reviews 73 (2017) 1300–1312.

Manyala, N. (2016). Coniferous pine biomass: A novel insight into sustainable carbon materials for supercapacitors electrode. Materials Chemistry and Physics 182 (2016) 139-147.

Medina Alvarez, B.F., Bonell, P. R. (2003). Caracterización textural de carbones activados desarrollados a partir de una madera tropical: influencia de las condiciones de activación. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 7, Nº 1, 2003.

Modu Aji M, Gutti B. and Highina B. K (2015). Production and characterization of activated carbon from groundnut shell sourced in Maiduguri. Columban J. Life. Sci. Vol. 17 No. 1 18-24

Modu Aji M, Gutti B. and Highina B. K (2015). Production and characterization of activated carbon from groundnut shell sourced in Maiduguri. Columban J. Life. Sci. Vol. 17 No. 1 18-24.

Navarrete, F., Girado, L., Moreno, J. (2005). The Influence of superficial chemistry in the immersion enthalpy of activated carbon in aqueous solutions of phenol and 4-nitrophenol. Revista colombiana de química, volumen 35 (2) 215-224.

Navarro, P., Vargas, C. (2010). Efecto de las propiedades Físicas del carbón activado en la adsorción de oro desde medio cianuro. Revista de metalurgia,46(3) mayo-junio,227-239.

P. Goyal et al. (2016). Adsorption refrigeration technology – An overview of theory and its solar energy applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews 53 (2016) 1389–1410.

Piastrellini, R., Gardey M., M.C. (2017). Reducción de Gases de Efecto Invernadero Asociada al Aprovechamiento del Aserrín como Materia Prima para la Obtención de Carbones Activados para Sistemas de Refrigeración Solar por Adsorción. Publicación digital de los resúmenes del Congreso de Aguas, Ambiente y Energía (2017) 578-580.

Prías-Barragán J. J., Echeverry-Montoya A., Ariza-Calderón H. (2015). Fabricación y caracterización de carbón activado y de nanoplaquetas de carbón a partir de Guadua

angustifolia Kunth para aplicaciones en electrónica. Rev. Acad. Colombiana Cienc. Ex. Fis. Nat. 39(153):444-449.

Ramesh, P. & Biplab, C. & Ranadip, K. (2016). A review on low grade heat powered adsorption cooling systems for ice production. Renewable and Sustainable Energy Reviews 62 (2016) 109–120.

Romero Anaya, A. J. et al (2014). Spherical carbons: Synthesis, characterization and activation processes. CARBON 68 (2014) 296 – 307.

Sánchez Díaz y González Bayón J. (2006). Diseño de un prototipo de refrigerador solar por adsorción, empleando carbón activado/metanol. Accesible en <http://www.cubasolar.cu/Biblioteca/Ecosolar/Ecosolar29/HTML/articulo02.htm>.

Sartarelli, A., Cyrulies, E., Echarri, R., Vera, S. & Samson, I. (2012). Método para la determinación de adsorción del par metanol-carbón activado utilizado en sistemas de refrigeración solar. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 16, (2012). Argentina.

Sartarelli, A., Cyrulies, E., Echarri, R., Vera, S., Samson, I. (2012). Método para la determinación de parámetros de adsorción del par metanol-carbón activado utilizado en sistemas de refrigeración solar. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 16, 2012.

Sevilla, M. et al. (2011). Hydrothermal Carbonization of Abundant Renewable Natural Organic Chemicals for High-Performance. Advanced energy materials (2011)356-361.

Shyam, S., (2005). Energía solar: conceptos básicos y su utilización. Editorial FUNDACION UNA- Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, (2005) 101-109.

Srivastava, N.C. & Eames, I.W. (1998). A review of adsorbents and adsorbates in solid-vapour adsorption heat pump systems. Applied Thermal Engineering 18 (1998) 707-714.

Suhas, V.K. & Gupta, P.J.M. (2016). Cellulose: A review as natural, modified and activated carbon adsorbent. Bioresource Technology (2016).

Vargas, E.; Giraldo, L.; Moreno, J. (2010). Obtención y caracterización de carbones activados a partir de semillas de mucuna sp. Revista Colombiana de Química, vol. 37, núm. 1, (2010) 67-77.

Vera, S. Sartarelli, A., Echarri, R., Cyrulies E., Samson. I. (2011). Prototipos de refrigeradores solares por adsorción. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 15, Impreso en la Argentina. ISSN 0329-518

Vera, S., Echarri, R., Sartarelli A., Cyrulies, E., Samson, I. (2008). construcción de una heladera solar por adsorción. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 12, 2008.

Vera, S., Sartarelli, A., Echarri, R. & Samson, I. (2008). Construcción de una heladera solar por adsorción. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 12 (2008). Argentina.

Vera, S., Sartarelli, A., Echarri, R. & Samson, I. (2011). Prototipos de refrigeradores solares por adsorción. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 15 (2011). Argentina.

Wang, J. & Kaskel, S. (2011). KOH activation of carbon-based materials for energy storage. Journal of Dynamic Materials Chemistry.

Wang, L.W. & Oliveira, R.G. (2007). A review on adsorption working pairs for refrigeration. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 518–534.