

## **Evaluación ambiental del aprovechamiento de aserrín para la producción de carbones activados destinados a sistemas de refrigeración solar por adsorción**

### **Environmental evaluation of the use of sawdust to produce activated carbon for adsorption solar cooling systems**

DOI: 10.34188/bjaerv5n1-037

Recebimento dos originais: 25/11/2021

Aceitação para publicação: 03/01/2022

#### **Roxana Piastrellini**

Doctora en Ingeniería mención Civil-Ambiental por la Universidad Tecnológica Nacional  
Institución: Universidad Tecnológica Nacional/Facultad Regional Mendoza/Grupo CLIOPE  
Dirección: Av. Carlos Thays s/n, Parque General San Martín, Ciudad de Mendoza, Argentina  
Correo electrónico: roxana.ppp@gmail.com

#### **María Celeste Gardey Merino**

Doctora en Ciencia y Tecnología mención Materiales por la Universidad de General San Martín  
Institución: Universidad Tecnológica Nacional/Facultad Regional Mendoza/Grupo CLIOPE  
Dirección: Av. Carlos Thays s/n, Parque General San Martín, Ciudad de Mendoza, Argentina  
Correo electrónico: mcgardey23@gmail.com

#### **Alejandro Pablo Arena**

Doctor en Energética por el Politecnico di Torino, Dipartimento di Energetica  
Institución 1: Universidad Tecnológica Nacional/Facultad Regional Mendoza/Grupo CLIOPE.  
Dirección 1: Av. Carlos Thays s/n, Parque General San Martín, Ciudad de Mendoza, Argentina.  
Institución 2: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – CONICET/CCT  
Mendoza.  
Dirección 2: Av. Ruiz Leal s/n, Parque General San Martín, Ciudad de Mendoza, Argentina  
Correo electrónico: aparena@gmail.com

#### **María Silvina Lassa**

Magister en Ciencia y Tecnología de los Alimentos por la Universidad Nacional del Litoral.  
Institución: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – CONICET/CCT  
Mendoza/IANIGLA/Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido y Microanálisis -  
MEByM  
Dirección 2: Av. Ruiz Leal s/n, Parque General San Martín, Ciudad de Mendoza, Argentina  
Correo electrónico: slassa@mendoza-conicet.gob.ar

#### **Virginia Dávila**

Ingeniera en Recursos Naturales Renovables por la Universidad Nacional de Cuyo  
Institución: Universidad Nacional de Cuyo/Facultad de Ciencias Agrarias  
Dirección: Almirante Brown 52, Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina  
Correo electrónico: virgi.davila90@gmail.com

**Gustavo Ariel Tello**

Ingeniero en Recursos Naturales Renovables por la Universidad Nacional de Cuyo  
Institución: Universidad Nacional de Cuyo/Facultad de Ciencias Agrarias  
Dirección: Almirante Brown 52, Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina  
Correo electrónico: arieltello24@gmail.com

**Sebastián San Blas**

Técnico Químico y estudiante avanzado de Ingeniería Química por la Universidad Tecnológica Nacional  
Institución: Universidad Tecnológica Nacional/Facultad Regional Mendoza/Grupo CLIOPE  
Dirección: Av. Carlos Thays s/n, Parque General San Martín, Ciudad de Mendoza, Argentina  
Correo electrónico: sebastiansanblas@gmail.com

**Andrea Rivarola**

Especialista en Ingeniería Ambiental por la Universidad Nacional de Cuyo  
Institución: Universidad Tecnológica Nacional/Facultad Regional Mendoza/Grupo CLIOPE  
Dirección: Av. Carlos Thays s/n, Parque General San Martín, Ciudad de Mendoza, Argentina  
Correo electrónico: anrivarolagaray@gmail.com

**RESUMEN**

El objetivo de este estudio es evaluar la contribución al calentamiento global de la producción de carbón activado obtenido a partir de residuos de aserraderos para su aplicación en refrigeradores solares por adsorción en la provincia de Mendoza, Argentina, y determinar la potencial reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) con relación al carbón activado de origen mineral que se utiliza habitualmente en estos sistemas. El estudio se aborda desde un enfoque de ciclo de vida, considerando las recomendaciones especificadas en las normas ISO 14040 y 14044. Los resultados muestran que la producción de carbón activado a partir de aserrín representa una reducción del impacto sobre el calentamiento global de 5 % en relación con el carbón activado de origen mineral, y que esta reducción puede llegar a 65 % si se contabilizan las emisiones evitadas de la quema del aserrín que se realiza con frecuencia en los aserraderos analizados.

**Palabras-clave:** carbón activado, residuos forestoindustriales, calentamiento global, análisis de ciclo de vida

**ABSTRACT**

The aim of this study is to evaluate the contribution to global warming potential of the production of activated carbon obtained from sawmill waste for its application in solar adsorption refrigerators in the province of Mendoza, Argentina, and to determine the potential reduction of greenhouse gases (GHG) emissions in relation to activated carbon of mineral origin. The study is addressed from a life cycle approach, considering the recommendations of the ISO 14040 and 14044 standards. The results show that the production of activated carbon from sawdust represents a reduction of the impact of global warming of 5% in relation to activated carbon of mineral origin. This reduction can be 65% if the avoided emissions related to the burning of sawdust, which is frequently carried out in the sawmills analyzed, are taken into account.

**Keywords:** activated carbon, forest-industrial wastes, global warming, life cycle assessment.

## 1 INTRODUCCIÓN

La demanda global de tecnologías de refrigeración basadas en el uso de fuentes renovables de energía, como la solar térmica y los residuos de biomasa, está creciendo rápidamente, motivado en parte por el aumento de la temperatura global asociada a las energías convencionales y al efecto que tienen ciertos refrigerantes como los clorofluorcarbonos (CFCs) y los hidro-clorofluorcarbonos (HFCs) en el adelgazamiento de la capa de ozono [1].

Entre las técnicas de refrigeración más utilizadas se destacan la adsorción de agua en sílica-gel o de metanol en carbón activado [2]. Tanto 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 obtenidos industrialmente pueden provenir de turba, lignito y otros carbones minerales, así como de diferentes polímeros y fibras naturales o sintéticas [3]. Además, pueden obtenerse carbones activados de fuentes alternativas de bajo costo económico, como biomasa lignocelulósica, cáscaras de semillas y frutos de distintas especies vegetales. Las materias primas de origen biológico más estudiadas son corteza de palmera, cáscara de coco, cáscara de banana y de naranja, semillas de palta y pistacho, carozos de aceituna, aserrín de madera, grano de café, cáscara de nuez, residuo de cannabis, entre otros [1,4,5, 6, 7]. Se dispone de estudios que demuestran que los carbones activados de origen biológico presentan área superficial, estructura porosa y/o capacidad de adsorción comparables con los carbones activados que se comercializan habitualmente [8, 9, 10].

En este contexto, el presente trabajo se fundamenta en la posibilidad de aprovechar los residuos forestoindustriales de la provincia de Mendoza (Argentina) para obtener carbones activados que sean aptos para su utilización en sistemas de refrigeración solar por adsorción. De esta forma, la biomasa que usualmente se descarta podría convertirse en materia prima, adquiriendo valor y generando nuevos ingresos. Así mismo, el aprovechamiento de estos residuos traería aparejados beneficios ambientales como la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) ocurridas en distintas etapas del ciclo de vida de la producción de los carbones.

Previo a la realización de este trabajo se realizaron ensayos de diferentes muestras de carbones activados que se comercializan en Argentina con el objetivo de determinar la aptitud para su uso en refrigeradores solares. Mediante Microscopía Electrónica de Barrido se determinó que algunas de las muestras analizadas podrían haber sido obtenidas a partir de biomasa lignocelulósica.

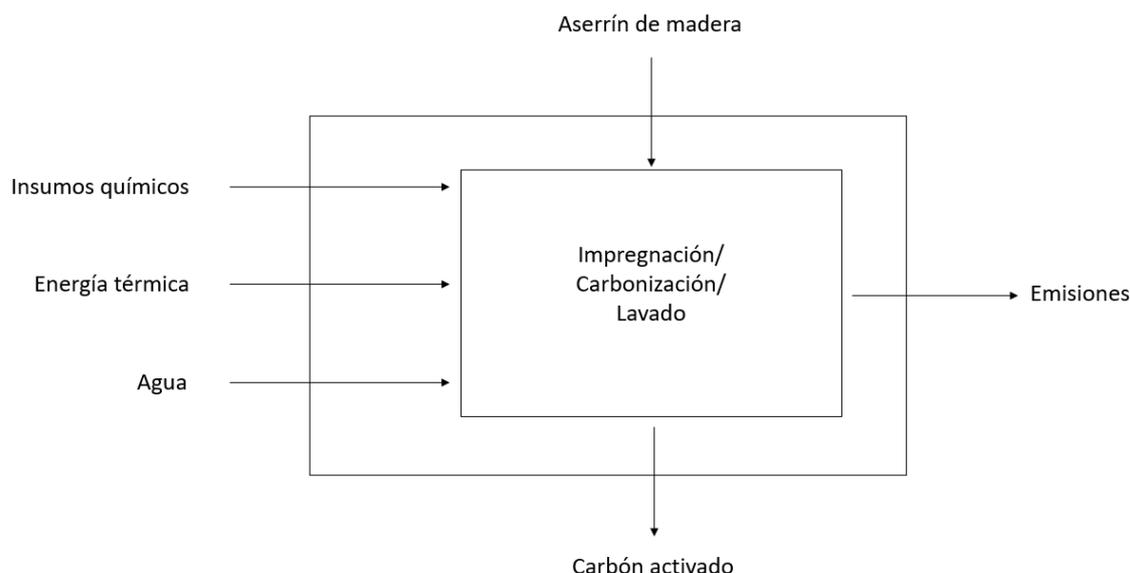
La Provincia de Mendoza (localizada en el centro-oeste de Argentina) cuenta con gran cantidad de residuos biomásicos susceptibles de ser utilizados como fuente de carbones activados, entre ellos los generados en aserraderos. Si bien todos los subproductos de esta industria (aserrín, viruta, despuntes y costaneros) tienen valor potencial de mercado para su uso en diferentes procesos

industriales, en algunos aserraderos son considerados como productos de descarte ya que no encuentran un mercado para insertarlos y se eliminan mediante la quema [11]. En este contexto, se proponen los siguientes objetivos: i) evaluar la contribución al calentamiento global de la producción de carbón activado obtenido a partir de aserrín para su aplicación en refrigeradores solares por adsorción en la provincia de Mendoza; y ii) estimar la potencial reducción de emisiones de GEI en relación a la producción de carbón activado de origen mineral.

## 2 METODOLOGÍA

Se realizó un análisis de ciclo de vida (ACV) de la producción del carbón activado, adoptando los lineamientos sugeridos en las normas ISO 14040 [12] y 14044 [13]. Se seleccionó como unidad funcional (UF): “producir 1 kg de carbón activado a partir de aserrín originado en aserraderos de Mendoza, Argentina”. Los límites del sistema comprenden la obtención de la materia prima (aserrín) y su transformación en carbón activado mediante activación química (Figura 1). El proceso consiste en impregnar la materia prima con un agente químico, en este caso solución acuosa de ácido fosfórico, y realizar la carbonización en horno rotatorio alimentado con gas natural. El carbón resultante se somete a un proceso de lavado con agua destilada para eliminar el ácido fosfórico residual y regular el pH. Los datos necesarios para elaborar el inventario se obtuvieron de literatura científica [10,14], considerando similitudes con el proceso de producción que efectúa la empresa ConCarbo, la cual otorgó las muestras para realizar los ensayos de aptitud de carbones activados para ser usados en refrigeración solar. Se consideró un rendimiento de proceso de 33 %, es decir que por cada 1000 g de aserrín que ingresan al sistema como materia prima se obtienen 330 g de carbón activado.

Figura 1. Límites del sistema para la producción de carbón activado a partir de aserrín de madera



Se evaluó la categoría de impacto Cambio climático mediante el indicador Potencial de Calentamiento Global (PCG). El PCG establece el efecto de calentamiento global relativo de un GEI específico en referencia al CO<sub>2</sub>, en un período de tiempo determinado [15]. El indicador se construyó teniendo en cuenta la cantidad de cada GEI emitido a la atmósfera por UF (dato de actividad) y el potencial de efecto invernadero de cada GEI para un horizonte temporal de 100 años (factor de caracterización).

Finalmente se realizó un análisis comparativo entre los siguientes escenarios: carbón activado obtenido a partir de aserrín (CaAse) y carbón activado de origen mineral (CaMin). En este caso, y considerando los antecedentes bibliográficos especificados en el apartado anterior, se consideró como UF “producir 1 kg de carbón activado a partir de aserrín o de carbón mineral, con propiedades de adsorción comparables”. La evaluación del carbón de origen mineral se realizó tomando como punto de partida inventarios de ciclo de vida publicados en la base de datos Ecoinvent. En base al análisis comparativo, se estimó la reducción de emisiones GEI de la producción de carbón activado a partir de aserrín en relación con el carbón activado de origen mineral.

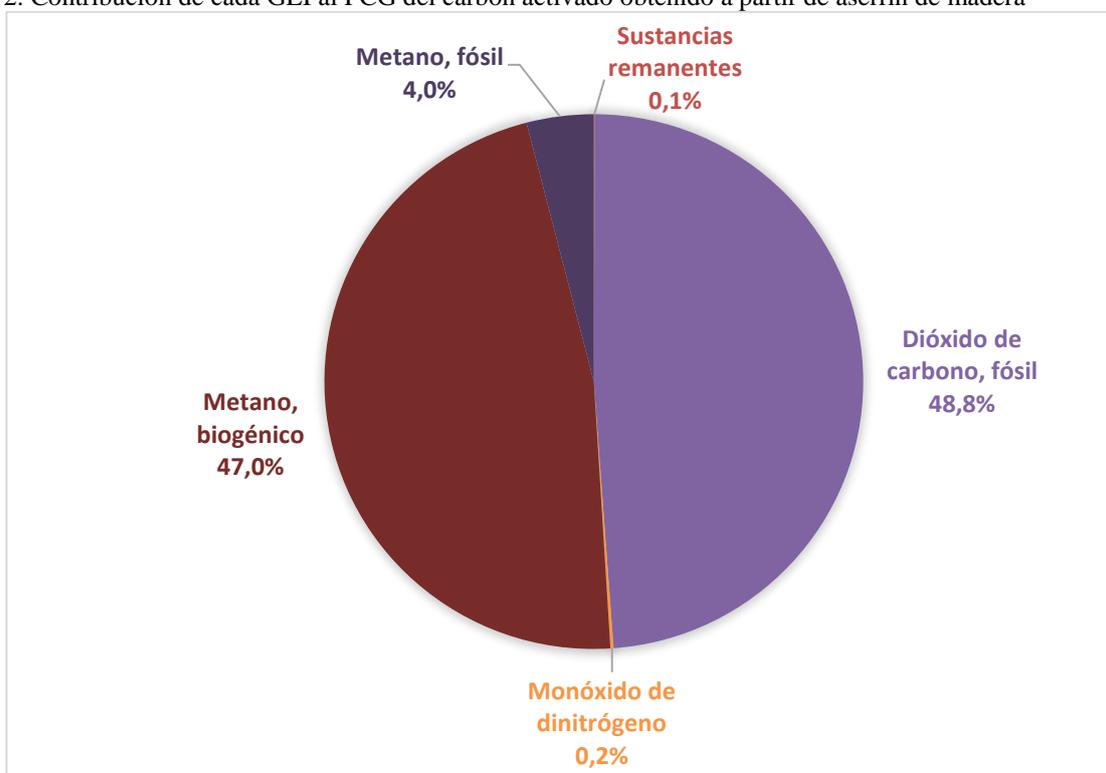
### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El valor del PCG del carbón activado producido a partir de aserrín es de 8,88 kg de CO<sub>2</sub>eq/UF. Los principales contribuyentes al impacto total son las emisiones directas ocurridas durante la activación y carbonización (47 %), seguidas de la producción y uso de gas natural en el horno rotatorio (30 %). La producción de ácido fosfórico (activador) ocupa el tercer lugar, contribuyendo con el 23 % del impacto total.

Gu y colaboradores [16] encontraron valores de PCG similares a los hallados en este trabajo para carbón activado obtenido a partir de biomasa leñosa (8,6 kg de CO<sub>2</sub>eq por kg de carbón activado).

Los GEI emitidos en mayor cantidad para el sistema analizado son CO<sub>2</sub> de origen fósil y CH<sub>4</sub> biogénico (Figura 2). Las emisiones de CO<sub>2</sub> se relacionan principalmente con el combustible fósil usado en el horno y con el ácido fosfórico; mientras que las emisiones de CH<sub>4</sub> se liberan de forma directa durante la carbonización y activación.

Figura 2. Contribución de cada GEI al PCG del carbón activado obtenido a partir de aserrín de madera



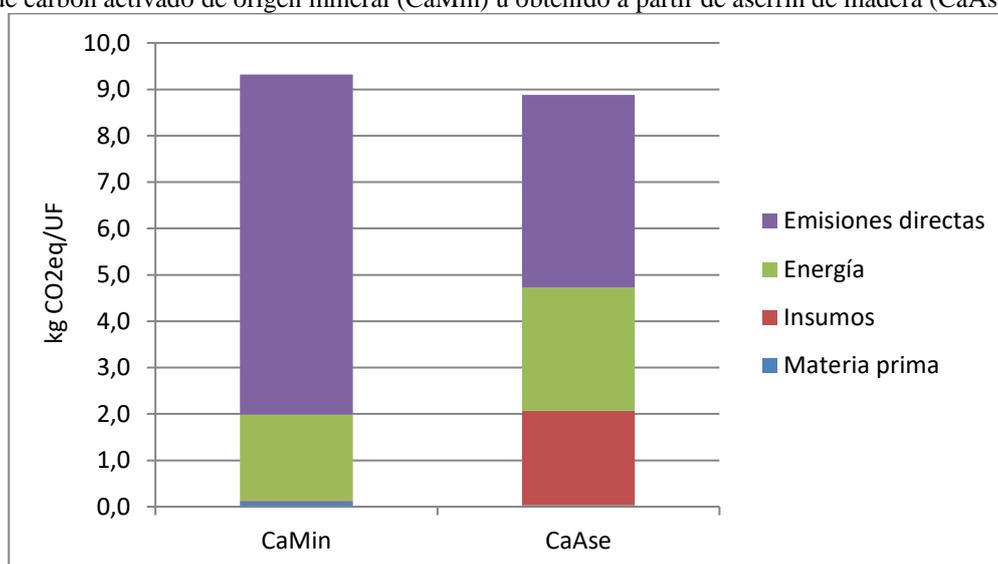
La Figura 3 muestra los resultados del análisis comparativo entre los escenarios CaAse y CaMin. Es notable la disminución del impacto asociado a las emisiones directas para el carbón activado de aserrín. Esto se explica porque gran parte de las emisiones directas de CaAse son de origen biogénico, mientras que para CaMin las emisiones directas son en su mayoría de origen fósil (los GEIs biogénicos tienen potencial de calentamiento global nulo o menor que los mismos GEIs de origen fósil).

A pesar de la reducción del impacto de las emisiones directas, la producción de carbón activado a partir de aserrín representa sólo una disminución del potencial de calentamiento global de 5 % en relación con el carbón activado de origen mineral. Esto es por el alto impacto que tiene

la producción y el uso del ácido fosfórico como activador, y también por el uso de combustible fósil durante la carbonización.

Asimbaya y colaboradores [10] discuten algunas de las principales ventajas ambientales y técnicas del uso de ácido fosfórico frente a otros agentes activantes como cloruro de cinc e hidróxido de potasio. Así mismo, destacan que la relación másica de material lignocelulósico- agente de activación es un factor que puede optimizarse en función de las propiedades que se quiere obtener en los carbones activados. En este trabajo, se utilizó una relación másica aserrín-ácido fosfórico de 1:1, por lo que este aspecto deberá ser profundizado en futuros estudios.

Figura 3. Potencial de calentamiento global (PCG) expresado en kilogramos de dióxido de carbono equivalentes por kilogramo de carbón activado de origen mineral (CaMin) u obtenido a partir de aserrín de madera (CaAse).



Se destaca que al contabilizar las emisiones de GEI que se evitarían por la supresión de la quema del aserrín en los aserraderos, se lograría un ahorro de GEI cercano a 1,9 kg de CO<sub>2</sub>eq por kg de aserrín valorizado como materia prima. Considerando estas emisiones evitadas, la reducción del impacto sobre el cambio climático de la producción de carbón activado a partir de aserrín alcanza el 65% en relación con el carbón activado de origen mineral.

#### 4 CONCLUSIONES

El trabajo evidencia que la producción de carbón activado a partir de aserrín para el uso en refrigeradores solares representa un ahorro de emisiones de GEI en relación con el carbón activado de origen mineral. Esta reducción puede ser considerablemente mayor (65 %) cuando se utiliza como materia prima aserrín proveniente de aserraderos que no pueden insertar este subproducto en otras industrias y lo eliminan mediante la quema.

Los resultados indican los procesos que contribuyen en mayor medida al potencial de calentamiento global del carbón activado obtenido a partir de aserrín de madera y, por lo tanto, los que necesitan mejoras. El sistema analizado deberá ser estudiado con mayor profundidad, especialmente en lo que respecta a la posibilidad de utilizar agentes activadores alternativos y de modificar la relación aserrín-ácido fosfórico, optimizando las propiedades deseadas y el comportamiento ambiental del carbón activado. Así mismo, este estudio deberá complementarse con el análisis de otras categorías de impacto tales como consumo acumulado de energía, toxicidad al suelo, toxicidad al agua, etc.

### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a la Empresa ConCarbo por la donación de carbones activados.

## REFERENCIAS

- [1] P.R. Chauhan, S.C. Kaushik, S.K. Tyagi. Current status and technological advancements in adsorption refrigeration systems A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.154 (2022) 111808.
- [2] S. Vera, A. Sartarelli, R. Echarri, E. Cyrulies, I. Samson. 2011. Prototipos de refrigeradores solares por adsorción. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 15, 2011.
- [3] G. Zibettia, R. Benitez, E. Calandrib. 2012. Elaboración de carbón activado: contenidos celulares vs carbón fijado en tres especies de interés forestal de la provincia de Formosa. *Actas de las II Jornadas de Investigación en Ingeniería del NEA y países limítrofes*.
- [4] N. Manyala, A. Bello, F. Barzegar, A.A. Khaleed, D.Y. Momodu, J.K. Dangbegnon. 2016. Coniferous pine biomass: A novel insight into sustainable carbon materials for supercapacitors electrode. *Materials Chemistry and Physics* 182,139-147.
- [5] O. Ioannidou, A. Zabaniotou. 2007. Agricultural residues as precursors for activated carbon production-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11, 1966-2005.
- [6] Amit Kumar, Himanshu Gupta. Activated carbon from sawdust for naphthalene removal from contaminated water. *Environmental Technology & Innovation* 20 (2020) 101080.
- [7] Rong Zhu, Qiongfeng Yu, Ming Li, Hong Zhao, Shaoxuan Jin, Yaowei Huang, Jie Fan, Jie Chen. Analysis of factors influencing pore structure development of agricultural and forestry waste-derived activated carbon for adsorption application in gas and liquid phases: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9 (2021) 105905.
- [8] Loredó-Cancino M, Soto-Regalado E, Cerino-Córdova FJ, García-Reyes RB, García-León AM, Garza-González MT. Determining optimal conditions to produce activated carbon from barley husks using single or dual optimization. *J Environ Manage.* 2013 Aug 15;125:117-25. doi: 10.1016/j.jenvman.2013.03.028. Epub 2013 May 4. PMID: 23651918.
- [9] Sanchez, K., Colina, G., Pire, M., Diaz, A., & Carrasquero, S. (2013). Adsorption capacity of activated carbon on total chromium from tannery waste. *REVISTA TECNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DEL ZULIA*, 36(1), 45-52.
- [10] Asimbaya, C., Rosas, N., Endara, D., & Guerrero, V. H. (2015). Obtención de carbón activado a partir de residuos lignocelulósicos de canelo, laurel y eucalipto. *Revista Politécnica*, 36(3), 24-24.
- [11] Ministerio de Agroindustria. 2017. Censo Nacional de Aserraderos Provincia de Mendoza. Disponible en [http://forestindustria.magyp.gob.ar/archivos/\\_pdf/censo\\_nacional\\_de\\_aserraderos\\_mendoza.pdf](http://forestindustria.magyp.gob.ar/archivos/_pdf/censo_nacional_de_aserraderos_mendoza.pdf).
- [12] ISO-International Organization for Standardization. (2006a). ISO Norm 14040:2006. Life cycle assessment: principles and framework. Environmental Management. International Organisation for Standardisation, Ginebra.
- [13] ISO- International Organization for Standardization. (2006b). ISO Norm 14044:2006. Life cycle assessment. Requirements and guidelines. Environmental Management. International Organisation for Standardisation, Ginebra.

[14] García, V. K., & Machado, R. A. (2011). Diseño preliminar de una planta para la obtención de carbón activado.

[15] IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Reino Unido.

[16] Gu, H., Bergman, R., Anderson, N., & Alanya-Rosenbaum, S. (2018). Life cycle assessment of activated carbon from woody biomass. *Wood and Fiber Science*. 50 (3): 229-243, 50(3), 229-243.