

OPTIMIZACIÓN DE PRODUCCIÓN DE CARBÓN CON *Aspidosperma quebracho blanco* EN LA PROVINCIA DEL CHACO, ARGENTINA

E. O. Sanabria; M. E. Cayré;
W. A. Frank

Facultad de Agroindustrias, Universidad Nacional del Nordeste
Comandante Fernández 755, 3700 Pcia, Roque Sáenz Peña-
Chaco- Argentina

RESUMEN

La producción de carbón de residuos de aserraderos de la especie *Aspidosperma quebracho-blanco* en la provincia del Chaco, Argentina, se realiza por medio de hornos convencionales, tipo media naranja con un rendimiento en peso de carbón de 25 % y un rendimiento en carbono fijo de 74 %. El objetivo del presente trabajo fue proponer una alternativa más eficiente del uso de residuos de aserraderos para optimizar el rendimiento en peso de carbón y el rendimiento en carbono fijo. Para ello, se procedió a fabricar carbón por destilación seca, de acuerdo a un diseño experimental compuesto controlando los siguientes parámetros: velocidad de calentamiento entre 60 y 120 °C·h⁻¹ y temperatura final de carbonización entre 450 y 550 °C. Los resultados arrojan un rendimiento en peso de carbón del 48 % trabajando con una velocidad de calentamiento y temperatura final de carbonización baja, disminuyendo este rendimiento a un 36 %, cuando se trabaja a velocidades de calentamiento y temperaturas finales de carbonización, altas. En lo que respecta a rendimiento en carbono fijo, su comportamiento es de manera inversa en referencia a las variables antes mencionadas, pero siempre con un rendimiento superior al 82 %.

PALABRAS CLAVE: carbón, destilación seca, carbono fijo, rendimiento en peso *Aspidosperma quebracho blanco*

OPTIMIZATION OF CHARCOAL PRODUCTION FROM *Aspidosperma quebracho blanco* IN THE PROVINCE OF CHACO, ARGENTINA

SUMMARY

Charcoal production from sawmills wastes of *Aspidosperma quebracho-blanco* species in the province of Chaco, Argentina, is made by means of conventional kilns, half-orange type ones, giving a 25 % weight yield of charcoal and fixed carbon yield of 74 %. Consequently, the aim of this work was the finding of more efficient alternative of the use of sawmills wastes in order to optimize the weight yield of charcoal and the fixed carbon yield. In the way, charcoal was made by dry distillation, on the basis of a composite experimental design controlling the following parameters: heating speed (between 60 and 120 °C·h⁻¹) and a final carbonization temperature of range between 450 and 550 °C. Result showed that a 48 % weight yield, was attained at the lowest laves of heating speed and final carbonization temperature, while working at the highest levels of these parameters gave a lower yield (36 %). Regarding the fixed carbon yield, it had a conversely behaviors towards the above mentioned variables, but it always yielded levels higher than 82 %.

KEY WORDS: charcoal, distillation dry, fixed carbon, weight yields, *Aspidosperma quebracho blanco*

INTRODUCCIÓN

Obtener beneficios de los recursos naturales, ha sido y es la constante del desarrollo económico del hombre sobre la tierra. Si además se consigue que estos beneficios contribuyan a revalorizar ecosistemas de un gran valor

ecológico, como es el bosque, llegamos a la conclusión evidente de que toda actividad que obtenga beneficios económicos y revalorice estos ecosistemas adquiere importancia y debe ser estudiada, siendo la producción de carbón una de estas actividades.

Pueden ser varias las definiciones de carbón vegetal que se pueden citar, pero una de las más acertadas y quizá la más antigua, define al carbón vegetal como el producto de la combustión incompleta de la madera (Antal y Gronli, 2003).

El carbón vegetal es “un combustible de color negro y sólido con mayor poder calorífico que la madera “ ya que tiene mayor contenido en carbono fijo que ésta. Además el carbón vegetal es inerte, difícilmente alterable con las condiciones atmosféricas normales y no es atacado por agentes biológicos, hongos y agentes xilófagos, que atacan la madera. Cuando la madera es sometida a la acción del calor con temperaturas elevadas y en presencia de cantidades controladas de aire, sufre un proceso de transformación denominado carbonización, en el cual todos sus componentes son modificados, desprendiendo productos como: vapor de agua, gases condensables y gases no condensables, quedando como residuo el carbón. Ahora bien, cuando el proceso de obtención de carbón se realiza en ausencia completa de aire y con la recuperación de los productos de la carbonización, entendiéndose por ello la condensación de los gases condensables y utilización de los gases no condensables, el proceso se denomina destilación seca de la madera (Mohan *et al.*, 2006).

En los procesos de destilación seca de la madera (continuos y no continuos), el calor necesario para transformar la madera en carbón es suministrado externamente. De esta manera la temperatura del proceso de carbonización es controlada y como además no hay oxígeno, se observa un mayor índice de transformación de la madera en carbón, por consiguiente, las calidades de los carbones y los rendimientos en peso, son mejores y más homogéneos (Ayahn, 2000).

La industria de la destilación seca de madera surgió con el nombre de destilación de madera, en sus comienzos, y se la utilizaba principalmente para producir compuestos químicos, tales como: metanol, ácido acético, acetona, terpenos, fenoles y alquitranes de madera (Connor and Shallecross, 2000).

Otro proceso de destilación seca de la madera, es la destilación seca flash. En este proceso se introducen astillas de madera anhidra (entre 50 y 100 g, aproximadamente) a un reactor de cuarzo, calentado por resistencias eléctricas a temperaturas entre 700 y 1,000 °C, (Horne y Williams, 1999). Este proceso dura segundos, mientras que la descrita anteriormente, dura aproximadamente de 10 a 12 horas. El inconveniente de la destilación seca tipo flash es que los rendimientos en peso de carbón son mucho menores (Mohan *et al.*, 2006; Jeng-Chyan, 2006).

El rendimiento de carbón en base anhidra en instalaciones modernas es de 40 % de rendimiento en peso utilizando los gases producidos como elemento secundario

de calefacción, de esta manera se utiliza mejor la energía térmica liberada en el proceso (Fuwape y Akindele, 1997).

Por otra parte, la producción de carbón en hornos convencionales tarda alrededor de 15 a 17 días y los gases producidos durante la carbonización no son recuperados y tienen mucha energía que podría ser utilizada. Los rendimientos de carbón de este tipo de horno es del 15 al 20 % sobre base anhidra y este rendimiento puede ser llevado de 30 a 35 %, con un mejor diseño del horno, con un control de la velocidad de calentamiento dentro del mismo y con una temperatura final de calentamiento adecuada (El Bassam, N. y Maegaard, 2004).

Aspidosperma quebracho-blanco es una madera dura que tiene una densidad de 0.87 g·cm⁻³ y sería una excelente madera para producir carbón. De hecho, la misma está siendo utilizada en la Argentina, en la provincia del Chaco, para producir carbón en hornos convencionales tipo media naranja, con un rendimiento de carbón en base anhidra, del orden del 32 % y un porcentaje de carbono fijo del 74 % (Anuario de Estadística Forestal, 1997).

En este trabajo se analizó el efecto de la velocidad de carbonización y su temperatura final, sobre el rendimiento en carbono fijo y el rendimiento en peso de carbón de la especie *Aspidosperma quebracho-blanco* a fin de optimizar el proceso de producción de carbón mediante destilación seca.

MATERIALES Y MÉTODOS

La materia prima utilizada para la realización de las destilaciones secas de madera es *Aspidosperma quebracho-blanco* proveniente de los aserraderos y carpinterías de la provincia del Chaco, Argentina. La producción de carbón se llevó a cabo en una Planta Piloto de destilación seca discontinua con una capacidad aproximada de 50 kg de madera, con sus respectivos equipos de condensación y control. La retorta vertical se puede apreciar en la Figura 1.

Para analizar como influyen las variables del proceso de destilación seca, temperatura final y velocidad de calentamiento, en el rendimiento en peso y en carbono fijo, se adoptó un Diseño Central Compuesto, DCC., con tres repeticiones en el punto central para estimar el error experimental. De acuerdo con este diseño se realizaron 11 destilaciones secas usando dos niveles de temperatura final de carbonización: 450 y 550 °C y dos de la velocidad de calentamiento: 60 y 120 °C·hora⁻¹. Las diferentes combinaciones de estas variables se muestran en la Figura 2. El análisis estadístico se realizó con el software Statgraphics *Plus* versión 4.0

El rendimiento en carbono fijo, contenido de humedad, contenido de cenizas y de materias volátiles se determinó utilizando las siguientes Normas IRAM:



FIGURA 1. Retorta vertical y horno de calefacción utilizada en el proceso de destilación seca.

Norma IRAM Núm. 17005 contenido de humedad.

Norma IRAM Núm. 17006 contenido de cenizas.

Norma IRAM Núm. 17007 contenido de materias volátiles.

Norma IRAM Núm. 17013 contenido en carbono fijo.

Para determinar el rendimiento de carbón en base anhidra se calculó el contenido de humedad de la madera a utilizar en cada destilación seca utilizando la Norma IRAM 9532: Método de determinación de humedad en maderas.

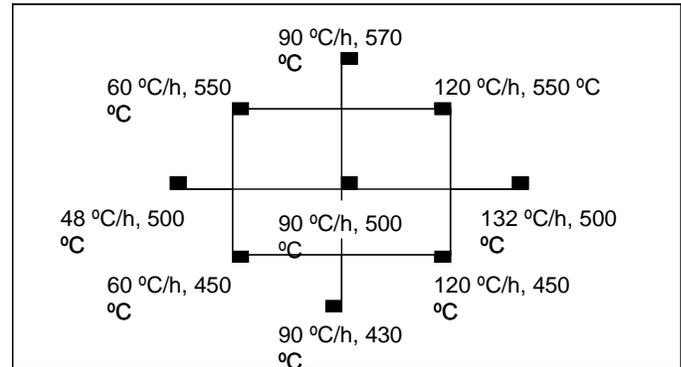


FIGURA 2. Disposición de variables en el Diseño Central Compuesto.

RESULTADOS

Las destilaciones secas de madera se realizaron siguiendo las pautas indicadas por el diseño experimental. Los valores de rendimiento en peso de carbón y de rendimiento en carbono fijo para cada una de las destilaciones realizadas se detallan en el Cuadro 1.

Para todas las condiciones ensayadas, los rendimientos en peso de carbón y en carbono fijo fueron superiores a los reportados para carbón obtenido a partir de la misma especie en hornos convencionales.

Análisis estadístico de los resultados – Rendimiento en peso de carbón

Los resultados del análisis de varianza de la variable dependiente, rendimiento en peso de carbón, en función de las variables independientes, en el rango establecido del diseño central compuesto, se dan en el Cuadro 2.

CUADRO 1. Valores de rendimiento en peso y rendimiento en carbono fijo para cada una de las destilaciones realizadas.

Destilación Nº	Variables Independientes		Variables Dependientes	
	Temperatura Final de Carbonización	Velocidad de Calentamiento	Rendimiento en Carbono Fijo (%)	Rendimiento en Peso (%)
1	-1	+1	87.7	42.7
2	+1.4142	0.0	90.5	42.6
3	0.0	-1.4142	82.4	49.0
4	0.0	+1.4142	86.8	36.0
5	+1	-1	87.7	42.4
6	-1	-1	84.7	47.3
7	-1.4142	0.0	85.8	45.8
8	+1	+1	89.8	34.3
9	0.0	0.0	84.8	41.6
10	0.0	0.0	84.2	43.5
11	0.0	0.0	84.1	42.8

CUADRO 2. Análisis de varianza del efecto de la temperatura de final de carbonización y velocidad de calentamiento para el rendimiento en peso.

Efectos	F ₀	Probabilidad
A: Temperatura	43.02	0.0225
B: Velocidad	130.81	0.0076
AB	3.32	0.2102
AA	0.81	0.4710
BB	1.44	0.3529
Desajuste	6.96	0.1282

Tanto la temperatura final de carbonización como la velocidad de calentamiento afectaron significativamente el rendimiento en peso de carbón. Mientras que las interacciones cuadráticas de la temperatura final y la velocidad de calentamiento, no fueron significativas y por consiguiente se eliminaron del análisis. El desajuste no fue significativo indicando que el diseño adoptado es estadísticamente adecuado y explica 88.74 % de la variabilidad de los datos.

La superficie de respuesta estimada para el rendimiento de carbón en peso sobre base anhidra, en función de la temperatura final y la velocidad de calentamiento, se muestra en la Figura 3.

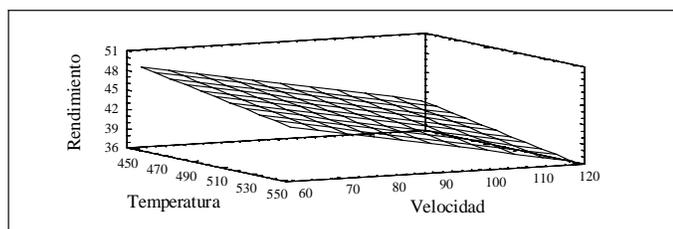


FIGURA 3. Rendimiento en peso de carbón en base anhidra.

Análisis estadístico de los resultados – Rendimiento en carbono fijo

El análisis de varianza para rendimiento en carbono fijo, en función de las variables independientes, se muestra en el Cuadro 3. Del cual se deduce que, tanto la temperatura final de carbonización y su interacción cuadrática como la velocidad de calentamiento influyen significativamente sobre el rendimiento en carbono fijo. Mientras que, la interacción temperatura – velocidad y la cuadrática de la velocidad, no fueron significativos.

El desajuste no fue significativo indicando que el diseño adoptado es estadísticamente adecuado y explica un 95 % de la variabilidad de los datos.

CUADRO 3. Análisis de varianza para la velocidad de calentamiento y temperatura final de carbonización para el rendimiento en carbono fijo.

Efectos	F ₀	Probabilidad
A: Temperatura	120.34	0.0082
B: Velocidad	111.80	0.0088
AB	1.41	0.3566
AA	184.95	0.0054
BB	6.04	0.1332
Desajuste	6.69	0.1328

La superficie de respuesta estimada para el rendimiento en carbono fijo sobre base anhidra, en función de la temperatura final y la velocidad de calentamiento, se muestra en la Figura 4.

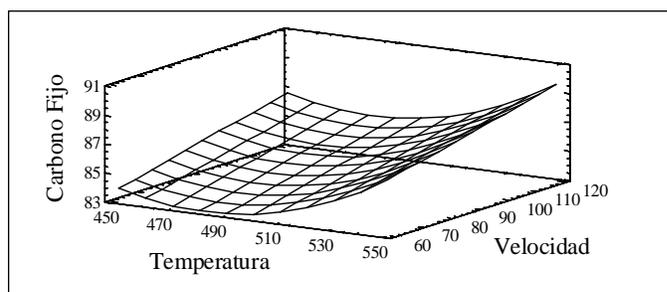


FIGURA 4. Rendimiento en carbono fijo.

DISCUSIÓN

En la Figura 3 se observa claramente que a medida que la temperatura final de carbonización aumenta, el rendimiento en peso de carbón disminuye comportándose el proceso de destilación seca de modo general de acuerdo con Demirbas (2004), Huang y Gao (2005) y Ayahn (2000). Por otro lado, un aumento en la velocidad de calentamiento provoca una disminución en el rendimiento en peso de carbón.

Estas disminuciones de rendimiento en peso por temperatura final (elevada) y velocidad de calentamiento (rápida) ocurren posiblemente por varios motivos:

1. Porque se elimina mayor cantidad de gases que pudiesen quedar ocluidos en la estructura del carbón al no elevarse la temperatura final (Mohan *et al.*, 2006).
2. Al trabajar con una velocidad de calentamiento rápido ocurre una mayor degradación de la hemicelulosa, celulosa y ligninas (Ayhan, 2000).

A partir del punto de máximo rendimiento en peso de carbón y a temperatura constante, un aumento de la velocidad de carbonización provoca una disminución del rendimiento en peso de carbón del 16 %, mientras que la disminución del rendimiento es del 9 % para un aumento de la temperatura de carbonización a velocidad constante a partir del mismo punto. Este análisis indica que si bien el rendimiento en peso de carbón está influenciado por las dos variables independientes, es más sensible a la velocidad de carbonización que a la temperatura final de carbonización.

El mayor rendimiento en peso de carbón obtenido fue de 49 % con una temperatura final de carbonización de 500 °C y una velocidad de calentamiento de 47 °C·h⁻¹.

En la superficie de respuesta de la Figura 4, se observa un comportamiento inverso del rendimiento en carbono fijo con respecto al rendimiento en peso de carbón, en función de las mismas variables independientes, temperatura final de carbonización y velocidad de calentamiento. Esto es, produciendo carbón a velocidades de calentamiento elevadas y temperaturas finales de carbonización altas, se obtiene un rendimiento en carbono fijo del orden del 90 % sobre base anhidra. Este comportamiento puede deberse a que, al eliminarse los elementos condensables y no condensables casi en su totalidad, queda como elemento principal el "carbono", sobre el cual se basa el ensayo de "carbono fijo". Estos resultados coinciden con los reportados Demirbas (1999), (2004) y Encinar *et al.* (1997)

CONCLUSIONES

- Con la producción de carbón por destilación seca de residuos de la especie *Aspidosperma quebracho-blanco*, se obtiene un rendimiento de 49 % en peso sobre base anhidra, trabajando a una velocidad de calentamiento de 47 °C·h⁻¹ y con una temperatura final de carbonización de 500 °C
- El rendimiento en peso de carbón en base anhidra producido por destilación seca de residuos de esta especie aumenta su 49 % con respecto a los hornos convencionales tipo media naranja, trabajando en los parámetros anteriormente indicados.
- El rendimiento en carbono fijo en base anhidra obtenido por destilación seca de residuos, con los parámetros que corresponden al mayor rendimiento en peso, es

del 82 %. Por otra parte, si el carbón es fabricado con una velocidad de calentamiento de 120 °C·h⁻¹ y una temperatura final de 550 °C, el rendimiento en carbono fijo aumenta un 21 % con respecto a la media de hornos convencionales.

LITERATURA CITADA

- ANTAL Jr., M. J.; GRONLI, M. 2003. The art, science and technology of charcoal production. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 42.8.1619-1640
- ANUARIO DE ESTADÍSTICA FORESTAL. 1997. Dirección de Recursos Forestales Nativos, Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable, de la Nación, Buenos Aires, Argentina. 6-11p
- AYAHN, D. 2000. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion & Management*. 42. 1357-1378
- CONNOR, M. A.; SHALLECROSS D. C. 2000. Effluent gas analysis as a tool for studying wood carbonization processes. *Forest and Society; The role of Research. Abstracts of Group Discussions. XXI IUFRO World Congress*. 2. 180-181.
- DEMIRBAS, A. 2004. Relationships between carbonization temperature and pyrolysis products from biomass. *Energy Exploration and Exploitation*. 22.6.411-420
- DEMIRBAS, A. 1999. Properties of charcoal derived from hazelnut shell and the production of briquettes using pyrolytic oil. *Energy*. 24.2.141-150.
- EL BASSAM, N.; MAEGAARD, P. 2004. *Integrated Renewable Energy for Rural Communities: Panning Guidelines, Technologies and Applications*. Elsevier. The Netherlands. pp. 107
- ENCINAR, J. M.; BELTRÁN, F. J.; GONZÁLEZ, J. F.; MORENO, M. J. 1997. Pyrolysis of maize, sunflower, grape and tobacco residues. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 70.4.400-410
- FUWAPE, J.; AKINDELE, S. 1997. Biomass yield and energy value of some fast-growing multipurpose trees in nigeria. *Biomass and Bioenergy*. 12. 2. 101 – 106.
- HORNE, P.; WILLIAMS, P. 1999. Influence of temperature on the products from the flash pyrolysis of biomass. *Fuel*. 75. 9. 1051-1059.
- HUANG, B.; GAO, S. 2005. Study of mechanism of wood carbonization – Effect of carbonization method and condition on the property of Chinese fir charcoal. *Linchan Huaxue Yu Gongye/ Chemistry and Industry of Forest Products*. 25. 95-98
- IRAM. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.
- JENG-CHYAN, M. 2006. Development of a high yield and low cycle time biomass char production system. *Fuel processing technology*. 87. 487-495.
- MOHAN, D; PITTMAN, C.; STEELE, P. 2006. Pyrolysis of wood/Biomass for bio-oil: A critical review. *Energy & Fuels*. 20. 848-88.