

TRABAJO CIENTÍFICO

# Utilización de hornos metálicos transportables para carbonización: carbotambor

*Using transportable metal furnaces for carbonization: the “carbotambor”*

Ludueña, M. E.<sup>1</sup>; R. de J. Cardozo<sup>1</sup> y M. E. Carranza<sup>1</sup>

Recibido en noviembre de 2019; aceptado en agosto de 2020

## RESUMEN

Este trabajo constituye un aporte al conocimiento del carbón vegetal, de leña mezcla de especies nativas del Parque Chaqueño, obtenido artesanalmente en un Horno Metálico Transportable: “carbotambor”; a la vez que establece una experiencia enriquecedora de intercambio entre los ámbitos educativos de la Universidad y de una Escuela primaria rural. La metodología de trabajo está basada en la construcción del horno, procesamiento de la leña, obtención del carbón vegetal y determinación de la calidad y del valor calorífico del producto obtenido. Los resultados obtenidos muestran que por su rendimiento comercial (32,56 %), rendimiento energético (39,26 %), contenido de volátiles, carbono fijo, producción y carácter innovador, la utilización del Horno Metálico Transportable es adecuada para la producción de carbón vegetal orientado al mercado de uso doméstico local.

**Palabras clave:** hornos metálicos transportables, carbotambor, calidad, valor calorífico

## ABSTRACT

This work is a contribution to the knowledge on charcoal made out of a mixture of species native to the Chaco Park handmade in a Transportable Metal Furnace referred to as the “carbotambor”; it also embodies an enriching exchange experience between University and Rural Primary School settings. The methodology of this work consists of constructing the furnace, processing the wood, obtaining charcoal, and determining the quality and calorific value of the product obtained. The results obtained show that due to its commercial yield (32,56 %), energetic efficiency (39,26 %), volatile content, fixed carbon, cost, production and innovative character, the use of the Transportable Metal Furnace is suitable for the production of charcoal oriented to the local domestic market.

**Key words:** transportable metal furnaces, “carbotambor”, quality, calorific value

## 1. INTRODUCCIÓN

Alrededor de la mitad de la madera extraída en todo el mundo se utiliza para producir energía, principalmente para cocinar y proporcionar calefacción. De toda la madera empleada como combustible a nivel global, el 17 % se transforma en carbón vegetal. Más de 2.400 millones de personas dependen todavía del uso tradicional de combustible de madera para cocinar, y muchas empresas pequeñas utilizan leña y carbón vegetal como principales fuentes de energía (FAO, 2017). La leña y/o carbón son la segunda fuente de energía más importante y primera entre las renovables, empleadas para cocinar alimentos en los hogares argentinos. (INTA, 2019) La producción de carbón vegetal es la principal actividad forestal en la provincia de Santiago del Estero, tanto en términos físicos como económicos, la que en 2014 se ubicó en torno a las

<sup>1</sup> Instituto de Tecnología de la Madera. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) N° 1912. 4200. Santiago del Estero. Argentina. E-mail: mel@unse.edu.ar

99.404 toneladas. Es la segunda provincia productora de carbón, después de Chaco, concentrando el 25,7 % del total nacional. La producción de carbón se desarrolla principalmente en la región oriental; cuatro departamentos concentran más del 58,2 % de la misma: Moreno (23,1 %), Choya (13,2 %), Juan F. Ibarra (11,1 %) y Copo (10,8 %) (Informes productivos provinciales. Santiago del Estero, 2016).

La elección de una técnica de carbonización mejorada para la producción de carbón vegetal, depende de su puesta a punto: la técnica elegida se debe adaptar desde un punto de vista técnico-económico, así como humano (Briane y Doat, 1985). El contenido de humedad, volátiles, cenizas y carbono fijo indican en términos porcentuales la calidad del carbón vegetal (Kretschmann *et al.*, 2007). En el Noroeste argentino, los hornos tipo “Media Naranja” (construidos con ladrillo y barro), son los más difundidos para la elaboración artesanal, presentando la limitación de producir carbón de baja calidad y escaso rendimiento. Según Fernández Livatetz (2019) el rendimiento de estos hornos, para la producción de carbón de madera blanda fue de 29,14 %, mientras que el de maderas duras fue de 28,29 %.

Se denominan hornos metálicos transportables (H.M.T.), a cualquier dispositivo de carbonización cilíndrico que disponga de entradas y salidas de aire en la base y que pueda llevarse de un sitio a otro. Hay muchos modelos de HMT en los que se ha logrado aumentar la eficacia de la carbonización (TPI, Bonnechau, Mark V, etc.). Dentro de los más simples y de bajo costos se encuentra el “carbotambor” que consiste en un tambor metálico de 200 litros al cual se le realizan algunas modificaciones para su uso en carbonización. La ventaja además de su transportabilidad, es su enfriamiento rápido, proceso fácil de controlar, mínimo impacto sobre el recurso forestal y menores tiempos del proceso siendo una importante opción para algunas escuelas rurales, la desventaja es su poca durabilidad. (Sayra Navas, 1992).

En cuanto a la calidad del carbón, Guardado *et al.* (2010) mencionan que se observa una relación muy estrecha entre el contenido de gases volátiles, carbono fijo y contenido de cenizas, es decir, que, a mayor cantidad de gases volátiles, menor es la cantidad de carbono fijo y viceversa, y si más carbono fijo tiene, mayor porcentaje de cenizas producirá.

Este trabajo se fundamenta en considerar que el HTM produce carbón vegetal de calidad y rendimiento comparables al producido por el del horno Media Naranja, además de ofrecer las ventajas de su movilidad, su enfriamiento más rápido, presentar un proceso más fácil de controlar y requerir un menor consumo de energía de biomasa. Según Kees *et al.* (2017), para un ingreso de 70 metros estéreos de leña, el rendimiento de horno de carbón Media Naranja en toneladas es de 7,5 tn para maderas livianas y de 10 tn para maderas pesadas. La calidad del carbón vegetal varía en función a la temperatura: a una temperatura de 300 °C (donde aún se considera madera torrificada) el carbono fijo y material volátil es de 68 % y 31 %, a 500 °C el carbono fijo aumenta a 86 % y el material volátil disminuye a 13 %, a 700 °C presenta un alto carbono fijo de 92 % y un material volátil de 7 % (Prías Barragán *et al.* 2011), donde a mayor calidad reflejada en el porcentaje de carbono fijo disminuye el rendimiento.

El objetivo de este trabajo consistió en poner a punto la técnica de carbonización en un Horno Metálico Transportable: el “carbotambor”, con mezcla de leña de especies nativas del Parque Chaqueño determinando rendimientos, y calidad del carbón vegetal obtenido, con mínimo impacto sobre el recurso forestal y menores tiempos de elaboración, evaluando su utilidad en el medio doméstico rural, concretando una experiencia de interacción Universidad-Escuela rural, a través de la transferencia cognitiva.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se llevó a cabo entre el área de Extensión de la Universidad Nacional de Santiago del Estero y la Escuela N° 837 “Ing. Manuel Gallardo”, ubicada en la localidad de El Zanjón, Dpto. Capital, Santiago del Estero, Argentina, originada en la necesidad de la escuela, inserta en un medio rural, de proveerse de carbón para el comedor. La iniciativa se transformó en un proyecto institucional dentro del marco de la Ley Federal de Educación.

### 1. Preparación de la materia prima

Se utilizaron, principalmente, ramas de las siguientes especies: *Aspidosperma quebracho - blanco* Schltl. “Quebracho blanco”, *Schinopsis lorentzii* (Griseb.) Engl. “Quebracho colorado”, *Geoffroea decorticans* (Hook et Arn.) Burkart “Chañar”, *Ziziphus mistol* Griseb. “Mistol”, *Prosopis alba* Griseb. “Algarrobo blanco”. Se cortaron trozos de diámetros no menores a 5 cm - 7 cm y no mayores a 40 cm de largo utilizando machetes y hachas, a los que se les determinó la humedad.

### 2. Preparación del lugar de instalación del horno

Se despejó el terreno donde posteriormente se ubicó el H.M.T., cuidando que el área estuviese bien drenada y nivelada, y disponiendo de barro para sellar las filtraciones de aire que se producen durante el proceso. Se construyó una cámara de aire circular, cavando aproximadamente 60 cm de diámetro por 30 cm de profundidad, en donde se colocó el horno.

### 3. Construcción del horno

El horno se construyó usando un tambor de chapa de 200 l de capacidad dispuesto verticalmente, en el cual se realizó un agujero de 9 cm de diámetro en la base y otro en la tapa del mismo, la cual se quita y se pone según la tarea a realizar (Figura 1). Por debajo del horno se insertó la tronera (entrada de aire consistente en un tubo de fibrocemento o hierro de 9-10 cm de diámetro), cuidando que no queden entradas de aire.

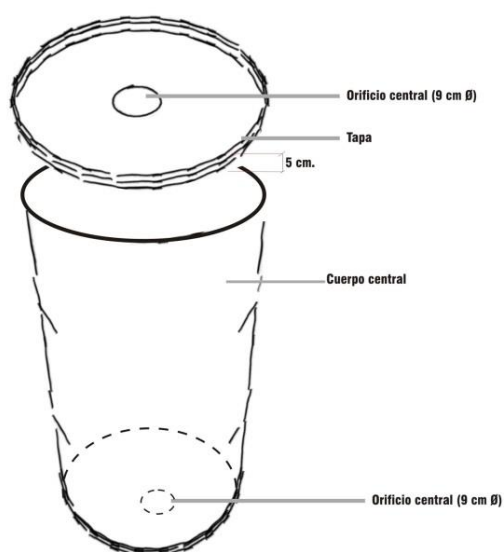


Figura 1. “carbotambor”: diseño y situación real

#### **4. Descripción del proceso de carbonización**

a) Carga del horno

Se cargó la leña alternando una disposición vertical y otra horizontal, favoreciendo una transferencia de aire adecuada (lo que no ocurre colocando toda la carga en forma vertical, por producirse canales de preferencia de paso de los gases, pudiendo provocar algunas zonas con tizones).

b) Encendido

Se encendió el horno por arriba con chamizas (hierbas secas y leña menuda). Cuando el fuego tomó fuerza en la parte superior de la carga, se colocó la tapa, y encima de ella se colocó y ajustó la chimenea. Se selló la junta de la tapa y el horno, y alguna otra filtración de aire, con barro. Esta operación obligó al aire a introducirse por la tronera, circular por el horno y salir por la chimenea. Después de producida una primera zona superficial de leña seca, el aumento de calor carbonizó, progresivamente, toda la carga. Sin embargo, en el suelo cerca del horno, se encontraron algunos “tizones” o trozos parcialmente carbonizados, debido a que las temperaturas, habitualmente más bajas en esa zona, impiden la carbonización uniforme a una velocidad media (U.S. Department of Agriculture Forest Service, 1965).

c) Reducción de la corriente

Luego de comenzado el proceso, cuando el “carbotambor” tomó temperatura hasta la mitad, se procedió a reducir la entrada de aire a través de la tronera.

d) Control de la carbonización

El control del proceso fue importante, ya que durante el mismo pueden presentarse problemas, por ejemplo que un fuerte viento desequilibre el perfil de temperatura a través del horno.

e) Finalización

La carbonización concluyó cuando el frente de pirólisis llegó a la base, luego de haber transcurrido entre 5 a 7 horas desde el encendido.

f) Sellado del horno

Al terminar la tarea se quitó la tronera, obstruyendo la entrada de aire con un ladrillo y barro, y verificando que no queden fisuras por donde haya pérdida de humos.

g) Enfriado

El horno se dejó enfriar hasta el día siguiente (entre 12 a 14 horas).

h) Descarga y clasificación del producto

El horno se abrió cuando se verificó al tacto que estaba frío, en toda su extensión. La descarga del horno fue rápida, realizando esta actividad con una zaranda para clasificar el producto por granulometría. Cada tipo de producto fue pesado en una balanza para la determinación de los rendimientos másico, másico ponderado, comercial, tecnológico y energético.

#### **5. Preparación de las muestras**

Se obtuvo 1 (una) muestra de carbón de las ocho (8) horneadas realizadas, retirando el carbón en forma completamente aleatorizada. Se procedió a moler en molino tipo Wiley y se almacenó en bolsas pequeñas de polietileno para impedir la variación de humedad.

## 6. Determinaciones analíticas

Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Energía de Biomasa del Instituto de Tecnología de la Madera (Universidad Nacional de Santiago del Estero).

### a) Contenido de Humedad (Normas N F B 101-55)

Las muestras fueron secadas a  $105 \pm 1$  °C en estufa hasta peso constante. Se calculó la humedad a partir de la pérdida de masa con referencia a la masa inicial, con un tenor de humedad determinado.

$$\text{Cálculos} \quad H = \frac{(M_2 - M_3)}{(M_2 - M_1)} \times 100$$

Donde:  $M_1$  = masa (g) del recipiente limpio y seco;  $M_2$  = masa (g) del recipiente limpio y seco + muestra antes del calentamiento;  $M_3$  = masa (g) del recipiente limpio y seco + muestra después del calentamiento y enfriado.

### b) Contenido de Cenizas (Normas N F B 101-55)

El tenor de cenizas es la porción de residuo mineral restante luego de la pirolisis, efectuada dentro de condiciones bien definidas de tiempo y temperatura.

Cada muestra se calcinó en la navecilla durante 15 minutos en mufla a 950 °C. Luego se colocó en estufa a 105 °C durante 30 minutos, se enfrió y pesó.

Se pesó dentro de la navecilla 1 a 2 g de muestra y luego se colocó en mufla a temperatura inicial no superior a 300 °C, calentando progresivamente (a una velocidad de 250 °C - 300 °C/h) para alcanzar 950 °C  $\pm$  20 °C. Se mantuvo durante tres horas a la temperatura mencionada. Se enfrió y pesó.

$$\text{Cálculos} \quad C = \frac{(M_3 - M_1)}{(M_2 - M_1)} \times 100$$

Donde:  $M_1$  = masa (g) de la navecilla;  $M_2$  = masa (g) de la navecilla + carbón;  $M_3$  = masa (g) de la navecilla + cenizas

### c) Contenido de Volátiles (Normas N F B 101-55)

Se calentaron las muestras a 950 °C durante una hora en mufla, recubriendo el crisol (doble crisol) para evitar la oxidación durante la pirólisis.

$$\text{Cálculos} \quad V = \frac{100 \times (M_2 - M_3)}{(M_2 - M_1)} - H$$

Donde:  $M_1$  = masa (g) del crisol vacío con tapa;  $M_2$  = masa (g) del crisol + tapa + muestra antes del calentamiento;  $M_3$  = masa (g) del crisol + tapa + contenido después del calentamiento;  $H$  = humedad (% en masa) de la muestra analizada

### d) Valor Calorífico (Normas DIN 51.900)

Es una medida para la cantidad de calor que ha de quedar libre en su combustión completa.

$$\text{Cálculos} \quad Ho = \frac{C \times \Delta T}{M}$$

Donde:  $Ho$  = valor calorífico del combustible (Kcal /Kg o cal/g);  $C$  = capacidad térmica del sistema calorimétrico (cal/grados);  $T$  = elevación de la temperatura corregida del sistema calorimétrico;  $M$  = muestra de un gramo

e) Carbono Fijo

Cálculos

$$\%CF = 100 - (\%H + \%C + \%V)$$

Donde: % CF = porcentaje de carbono fijo; % H = porcentaje de humedad; % C = porcentaje de cenizas; % V = porcentaje de sustancias volátiles.

f) Rendimiento másico (Girard, 1987)

Es el peso del carbón anhidro producido, referido al peso de madera anhidra.

Cálculos

Antes de la carbonización:

$$P0 = PH \times \left(1 - \frac{\%H}{100}\right)$$

Donde: P0 = masa anhidra de madera; % H = contenido de humedad (según Norma N F B 101-55); PH = masa total de la carga

Luego de la carbonización:

$$R = \frac{PC}{(P0 - I)} \times 100$$

Donde: R = rendimiento másico; I = Peso de trozos semi carbonizados (tizones); PC = Peso total del carbón

g) Rendimiento másico ponderado (Girard, 1987)

Dado que las características físico-químicas de un carbón varían de una carbonización a otra, la comparación directa de dos resultados de rendimiento másico, introduce un error importante en su interpretación. A fin de poder compararlos, es importante referir el cálculo de todos los carbones a un mismo tenor de carbono fijo (%) base anhidra 80 % y definir así el rendimiento másico ponderado R<sub>80</sub>.

Cálculos

$$R_{80} = R \times \frac{C.F.}{80}$$

Donde: R<sub>80</sub> = rendimiento másico ponderado; R = rendimiento másico; C.F. = carbono fijo en porcentaje.

h) Rendimiento comercial (Girard, 1987)

Es la relación entre el peso de carbón comerciable producido y el peso de madera anhidra. El carbón no comercial se separa mediante un tamiz y se realizan las respectivas pesadas.

Cálculos

$$Rc = \frac{PC - CR}{PO}$$

Donde: Rc = rendimiento comercial; PC = peso del carbón; CR = peso de residuos; PO = masa anhidra de madera.

i) Rendimiento tecnológico (Girard, 1987)

El rendimiento tecnológico permite expresar la cantidad de carbón obtenido por ciclo de carbonización en función del volumen del horno; varía según el aprovisionamiento, la forma geométrica del horno, el modo de acondicionar y acomodar la madera y el coeficiente de llenado, que es la relación del volumen de madera introducida con respecto del volumen total de un horno.

Cálculos

$$Rt = \frac{PC}{V} \times 100$$

Donde: Rt = rendimiento tecnológico, PC = peso total del carbón (Tn); V = volumen (m<sup>3</sup>) del horno vacío.

Volumen del H.M.T.:

$$V = \pi \times R^2 \times h$$

Donde:  $V$  = volumen del H.M.T.;  $R$  = radio del círculo del cilindro del H.M.T.;  $H$  = altura del cilindro del H.M.T.

#### j) Rendimiento energético (Girard, 1987)

El rendimiento energético bruto (Re) de la transformación de la madera en carbón, es la relación entre la energía calorífica potencial del carbón producido y la energía calorífica potencial de la madera bruta inicial.

El conocimiento de esta relación tiene importancia en un contexto macro-económico cuando se trata de comparar tecnologías bastante diferentes entre sí (carbonización - tostado de madera, o la carbonización con y sin recuperación de gases), y cuando la noción de productividad pura no está sola en juego sino cuando la madera o la biomasa dentro de una región se vuelve escasa y/o costosa.

Cálculos

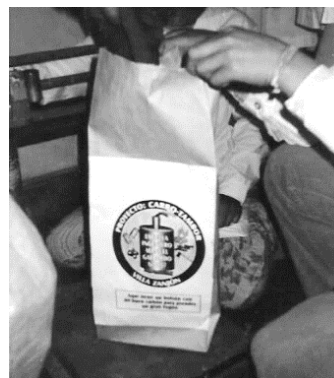
$$Re = \frac{PC \times VCcar}{PH \times VCmad} \times 100$$

Donde:  $Re$  = rendimiento energético;  $PC$  = peso total del carbón inmediatamente luego de la extracción;  $VCcar$  = valor calorífico del carbón según normas;  $PH$  = peso total de la madera húmeda total antes de introducirla al horno;  $VCmad$  = valor calorífico de la madera según normas.

## 7. Almacenamiento y embolsado

Luego de realizadas las carbonizaciones, se seleccionó el carbón para la venta. En las oportunidades en que fue necesario almacenar el producto antes del fraccionamiento para su comercialización, se lo realizó en bolsas de 50 kilos de capacidad.

Los envases que se utilizaron fueron bolsas de papel de periódico, confeccionadas por los alumnos de la Escuela “Ing. Manuel Gallardo” o bolsas de papel “madera”, obtenidas de descarte de supermercados. El frente de las bolsas, con capacidad de 1 y ½ kg, llevó un logotipo identificando la escuela, resultado de un concurso en el que participaron los niños interesados (Figura 2).



**Figura 2.** Almacenamiento en bolsas de 50 kg y embolsado con logotipo identificando la Escuela “Ing. Manuel Gallardo”

## 8. Comercialización

Parte del carbón producido fue utilizado en las actividades del comedor escolar. El resto fue comercializado entre los padres y vecinos de Villa Zanjón. Se fijó un precio de \$ 1,00 por unidad (1996).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se observan los valores referidos al promedio obtenido de los tenores de humedad, contenido de cenizas y contenido de volátiles, según las repeticiones analizadas del carbón vegetal.

Respecto a los tenores de humedad (rango entre 1,4 % y 4,5 %) y contenido de cenizas (rango entre 3,6 % y 9,7 %), los mismos se encuentran dentro los valores promedios de calidades de carbón vegetal en Francia (*H*: 1 % -10 %, *C*: 0,5 % -10 %) según lo informan Mezerette y Vergnet (1994).

**Tabla 1.** Contenido de Humedad (%), Cenizas (%) y Volátiles

Muestra	Humedad	Cenizas	Volátiles
1	2.7	5.9	18,7
2	3.8	3.6	19,3
3	4.4	4.8	17,5
4	3.5	7.3	24,2
5	2.9	6.2	19,6
6	1.4	9.7	28,6
7	3.9	5.9	25,9
8	3.7	9.5	16,5

El contenido de materias volátiles en un carbón comercializado debe ser pobre debido a que un gran contenido, produce sustancias que pueden ser nocivas en el caso en el que los humos estén en contacto directo con los alimentos (Briane y Doat, 1985). Asimismo, resulta un parámetro importante a controlar si su utilización se realizará en ambientes cerrados (no al aire libre) En los ensayos realizados con el H.T.M., estas determinaciones oscilaron entre valores de 16,5 % a 28,6 %, encontrándose dentro del rango de valores promedio de calidad para Francia (*V*: 7 % - 25 %) (Mezerette y Vergnet; 1994).

Según FAO (1983) el contenido de Volátiles de un buen carbón vegetal comercial es de un 30 %, sin embargo, los valores registrados son mayores a los citados para instalaciones industriales (7 %), y para un Horno Metálico Transportable Mark V (10 % - 15 %).

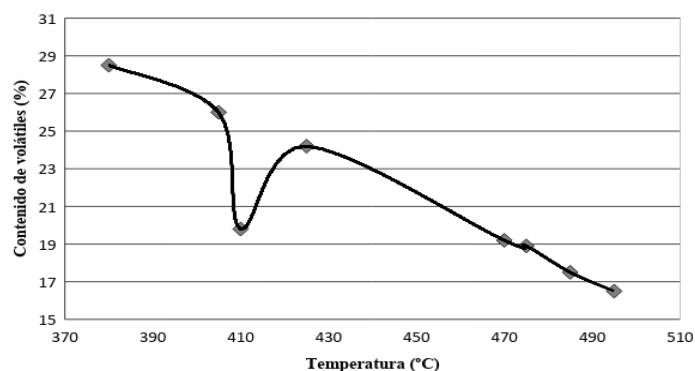
Con respecto al % C. F. las experiencias con H.T.M. registraron valores, entre 60,2 % a 73,0 % (tabla 2), resultando los mayores valores obtenidos, cercanos a los valores mínimos promedio de calidad para Francia: 72 % - 90 % (Mezerette y Vergnet; 1994), y menores a los citados por bibliografía para una instalación industrial: 80 % - 85 % (FAO, 1983). Un aumento del contenido de C.F., implica eliminación y descomposición de los alquitranes presentes, además de mermas en el rendimiento del proceso.

**Tabla 2.** Contenido de Carbono Fijo y datos relacionados

N° Horneada	% H. madera	Peso leña (kg)	Tiempo cocción (hs.)	Peso carbón (kg)	Peso carbonilla (kg)	Peso tizón (kg)	% C.F.
1	13,1	50,2	8,0	15,2	2,2	2,6	72,6
2	14,2	68,6	6,0	8,6	1,0	0,0	70,6
3	25,4	54,4	6,2	14,0	5,8	2,4	73,0
4	14,8	76,5	13,0	9,7	3,8	13,8	64,8
5	21,1	57,7	5,0	8,0	3,0	5,8	71,1
6	14,2	52,6	5,2	13,3	1,8	0,6	60,2
7	16,1	39,6	5,1	11,0	3,2	2,6	65,7
8	17,4	51,8	4,2	13,2	1,4	2,8	70,0



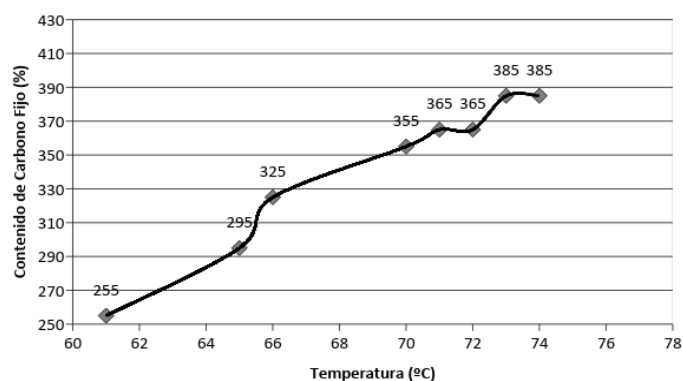
Según FAO (1983), una temperatura de 500 °C está asociada a un contenido típico de C.F. del 85 % y un contenido de materia volátil de cerca del 10 %. En la Figura 3 se observa la disminución del contenido de volátiles en función de la temperatura según los ensayos realizados.



**Figura 3.** Volátiles y temperatura

Prías Barragán *et al* (2011) mencionan valores del material volátil presente en el carbón obtenido similares a los obtenidos con el “carbotambor” a diferentes temperaturas.

En la Figura 4 se observa el incremento del porcentaje de C F en función de la temperatura, según los ensayos realizados.



**Figura 4.** Contenido de carbono fijo y temperatura

Los valores obtenidos, que se muestran en la tabla 3, respecto al rendimiento comercial utilizando el H.M.T. (16,31 % - 48,97 %), superan a los encontrados por Lejeune (citado por Girard, 1987): 9,3 % para parva tradicional; y por Casamançe (citado por Girard, 1987): 20 % utilizando H.M.T. Mark V; 21,3 % en fosa, 17,3 % en parva mejorada y Media Naranja (citado por Livatezt, 2019): 28,29 %. Los resultados del “carbotambor” se acercan a los rendimientos citados en los métodos semi - industriales, TPI y Media Naranja.

En el 50 % de las mediciones realizadas, el rendimiento energético supera el valor máximo esperado por Briane y Doat (1985) correspondiente al 30 %. Comparando los rendimientos obtenidos por el “carbotambor” con los rendimientos citados por Fernández Livatezt (2019) y por Kees *et al.* (2017) tanto para maderas duras como para blandas, los valores son mayores para el “carbotambor”.

**Tabla 3.** Valor calorífico y rendimientos

Nº horneada	Valor calorífico	Rendimiento másico	Rendimiento másico ponderado	Rendimiento comercial	Rendimiento tecnológico	Rendimiento energético
1	6954,02	42,04	38,17	39,93	14,05	52,02
2	7127,13	16,31	14,41	16,31	8,00	21,53
3	7202,35	52,06	47,55	48,97	1,65	56,58
4	6408,40	26,27	19,67	20,71	11,25	24,41
5	6923,90	27,72	24,65	24,18	9,16	28,49
6	6510,00	33,92	25,55	33,47	12,58	40,33
7	6604,10	46,38	38,09	42,76	11,83	51,11
8	6510,00	36,54	32,01	34,15	12,16	39,60

Los valores estadísticos resultantes del carbón: media, desviación estándar, coeficiente de variación, mínimo y máximo se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Estadísticos de resumen de las variables del carbón obtenido

Variable	N	Media	Desviación Estándar	CV %	Mínimo	Máximo
VC (kcal/kg)	8,00	6779,99	308,15	4,54	6408,40	7202,35
RM	8,00	35,16	11,66	33,17	16,31	52,06
RMP	8,00	30,01	10,97	36,55	14,41	47,55
RC	8,00	32,56	11,37	34,94	16,31	48,97
RT	8,00	10,09	3,91	38,77	1,65	14,05
RE	8,00	39,26	13,39	34,11	21,53	56,58

N: número de repeticiones, CV: coeficiente de variación; VC: valor calorífico; RM: rendimiento másico, RMP: rendimiento másico ponderado, RC: rendimiento comercial, RT: rendimiento tecnológico, RE: rendimiento energético

Respecto a la experiencia de interacción, entre Universidad y Escuela en sí misma, durante todo el proceso se observó la participación masiva basada en el entusiasmo de los alumnos por las tareas a realizar, del personal escolar por llevar a cabo un proyecto tecnológico institucional, y de los padres y vecinos, por la importancia que el carbón vegetal reviste como combustible a diario para sus actividades vitales.

#### 4. CONCLUSIONES

De acuerdo a su contenido de volátiles y al contenido de carbono fijo, el carbón vegetal producido utilizando H.T.M., es apto para el consumo doméstico local (asados, cocinas, calentamiento de agua, etc.), y no para el consumo doméstico de exportación por no alcanzar los valores exigidos de dichos parámetros.

Al presentar un rendimiento comercial superior a los valores encontrados en bibliografía para procesos de carbonización artesanales, las ventajas de su utilización son reforzadas debido a la preferencia de los productores por la tecnología con mayor rendimiento comercial.

El rendimiento energético, con valores que superan el máximo valor esperado por bibliografía (30 %), resulta otro indicador a favor de su uso.

Es decir que, por su rendimiento comercial, rendimiento energético, contenido de volátiles, carbono fijo, costo, producción y carácter innovador, se recomienda su utilización para la producción de carbón vegetal orientado al mercado de uso doméstico local.

La experiencia realizada significó para la comunidad escolar una posibilidad de aprendizaje sobre la obtención, optimización de la técnica de carbonización utilizando H.M.T., y comercialización a pequeña escala.

#### AGRADECIMIENTOS:

A mi directora de trabajo final de graduación: Ing. Ind. Forestales Silvia Vélez, quien tuvo la paciencia de acompañarme y guiarme en ese camino.

A todas las personas que contribuyeron a la realización de este artículo: Dra. Marta Coronel de Renolfi y la Ing. Forestal Celia Gaillard de Benítez.

A la Escuela N° 837 “Ing. Manuel Gallardo”.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Briane, D. y J. Doat. 1985. *Guide technique de la carbonisation. La fabrication du charbon de bois*. Edisud, Paris. 180p. ISBN 2-85744-217-3180.
- FAO, 1983. Métodos simples para fabricar carbón vegetal. *Estudio FAO: Montes* 41. 153 p. ISBN 92-5-301328-1 Disponible en: <http://www.fao.org/3/x5328s/x5328s00.htm>.
- FAO, 2017. La transición al carbón vegetal. La ecologización de la cadena de valor del carbón vegetal para mitigar el cambio climático y mejorar los medios de vida locales. [En línea] 12p. [Fecha de consulta: 3 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i6934s.pdf>.
- Fernández Livatetz, K. A. 2019. *Comparación de rendimientos de diferentes materias primas en procesos de carbonización en la provincia del Chaco*. [en línea] Consejo Profesionales de Ciencias Forestales del Chaco. 3p. [Fecha de consulta 30 de octubre de 2019]. Disponible en: <http://www.cpcfch.org.ar/descargas/trabvol002.pdf>.
- Girard, P., 1987. *Fiche Technique Energie. Controle de performance des techniques et materials de carbonisation*. Division ENERGIE.
- Guardado, G., M. B.; R. J. A. Rodríguez y H. L. E. Monge. 2010. *Evaluación de la calidad del carbón vegetal producido en hornos de retorta y hornos metálicos portátiles en el Salvador*. Tesis de grado: Ingeniero Mecánico). Antiguo Cuscatlán, El Salvador. 67 p.
- Informes productivos provinciales. Santiago del Estero, 2016. *Cadena forestal* 1(9) [En línea]. [fecha de consulta: 3 de mayo de 2019] p.26-28 Disponible en: [https://www.economia.gob.ar/peconomica/dnper/fichas\\_provinciales/Informe\\_Productivo\\_Santiago\\_del\\_Estero.pdf](https://www.economia.gob.ar/peconomica/dnper/fichas_provinciales/Informe_Productivo_Santiago_del_Estero.pdf).
- De Bedia, G. y P. Sacchi. 2019. Consumo de leña y/o carbón de madera como combustible para la cocción de alimentos en hogares argentinos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) [en línea] [fecha de consulta: 3 de mayo de 2019]. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/consumo\\_de\\_leña\\_y\\_o\\_carbon\\_de\\_madera\\_como\\_combustible\\_para\\_la\\_coccion\\_de\\_alimentos\\_en\\_hogares\\_argentinos.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/consumo_de_leña_y_o_carbon_de_madera_como_combustible_para_la_coccion_de_alimentos_en_hogares_argentinos.pdf).
- Kees, S. M.; J. F. Michela y J. J. Skoko. 2017. *Rendimientos y costos de la fabricación de carbón elaborados por pequeños productores del Oeste Chaqueño*. Primeras Jornadas Nacionales sobre Dendrocombustibles y Dendroenergía. [en línea] Roque Sáenz Peña Chaco. [fecha de consulta: 30 de octubre de 2019]. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_rendimientos\\_y\\_costos\\_carbon.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_rendimientos_y_costos_carbon.pdf).
- Kretschmann, D.; J. Winandy; C. Clausen; M. Wiemann; R. Bergman; R. Rowell; J. Zerbe; J. Beecher; R. White; D. Mckeever and J. Howard. 2007. *Kirt-Othmer Enciclopedia of Chemical Technology*. Kirk-Othmer (edit.) John Wiley and Sons, Inc. Hoboken, NY. USA. 890 p.
- Mezerette, C. y L. F. Vergnet. 1994. La voie thermo-chimique. In: *Guide Biomasse Energie*, 1a Ed., l'IEPF, Canadá, p.144-200.

- Normas N F B 101-55. 1984. Charbon de bois et briquettes de charbon de bois a usage domestique. (N F M 03-002) Determination de l'humidite, (N F M 03-003) Determination du taux de cendres, (N F M 03-004) Determination de l'indice de matieres volatiles.
- Normas DIN 51.900. 2003. Pruebas de combustibles sólidos y líquidos - Determinación del valor calorífico bruto mediante el calorímetro de bomba y cálculo del valor calorífico neto. Deutsches Institut für Normung, Berlin, 2003.
- Prías Barragán, J. J.; C. A. Rojas González; N. A. Echeverry Montoya; G. Fonthal y H. Ariza Calderón. 2011. Identificación de las variables óptimas para la obtención de carbón activado a partir del precursor *Guadua angustifolia Kunth*. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 35(135):157-166.
- Sayra Navas, O. 1992. El horno metálico transportable. *Dialnet* 11(1): 62-79 [En línea] [fecha de consulta 3 de mayo de 2019]. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5678857>.
- U.S. Department of Agriculture Forest Service, 1965. *Carbón de leña. Producción, venta y usos*. Editorial Herrero S. A: 145 p.

