



## **“BALANCE ENERGÉTICO NACIONAL EN ENERGÍA ÚTIL DE LA REPÚBLICA DE PARAGUAY”**

### **Encuesta a Carboneras con la finalidad de actualizar los rendimientos de transformación.**

(Corresponde al Anexo 5 del informe “Elaboración de la Prospectiva Energética de la República del Paraguay 2013 – 2040”)

#### **“ELABORACIÓN DE LA PROSPECTIVA ENERGÉTICA DE LA REPÚBLICA DE PARAGUAY 2013-2040”**

Itaipú Binacional – Fundación Parque Tecnológico Itaipú (PY)  
Convenio N°: 4500031455/2014

#### **INFORME FINAL**



Asunción, Noviembre de 2015.

## Índice

	Página
<b>ANEXO 5: Encuesta a Carboneras</b> .....	<b>304</b>
A5.1. Introducción.....	304
A5.2. Diseño .....	304
A5.3. Procesamiento de datos.....	307
A5.4. Resultados .....	309

## **ANEXO 5: Encuesta a Carboneras**

### **A5.1. Introducción**

El objetivo principal de la encuesta a las carboneras del Paraguay es obtener el rendimiento promedio de transformación de Leña en Carbón Vegetal a nivel nacional, para incorporar este coeficiente en el Balance Energético Nacional (BEN) elaborado por el Viceministerio de Energía y Minas. De esta manera se complementan los trabajos realizados para la elaboración del Balance Nacional en Energía Útil (BNEU) que permitió obtener, además de la información para el BNEU, una mejor estimación de los consumos finales de Leña y Carbón Vegetal en Paraguay. Para ello debieron realizarse encuestas sobre consumo y usos de la energía en los distintos sectores socioeconómicos paraguayos. Una vez obtenido el consumo final de Carbón Vegetal, aplicando el rendimiento medio de las carboneras se obtiene el consumo intermedio de Leña para su transformación en las carboneras. Sumando el consumo intermedio y el consumo final de Leña, obtenido este también a partir del BNEU, se obtienen los requerimientos totales de Leña. Al asumir que la producción de Leña es igual a sus requerimientos se completa así el cálculo de este importante vector de la matriz energética paraguaya.

En este anexo se describe el diseño de la encuesta, el procesamiento aplicado a la información relevada, y los resultados obtenidos.

### **A5.2. Diseño**

Se diseñó un cuestionario sencillo teniendo en cuenta el objetivo central de la encuesta, que es obtener el rendimiento de transformación promedio nacional de las carboneras. El diseño inicial fue realizado por el equipo consultor y luego revisado y aprobado por el VMME y el INFONA. Consta de 2 páginas, que se presentan a continuación, y un total de 10 preguntas.

Las dos primeras preguntas están referidas a la identificación y localización geográfica de la carbonera.

La pregunta 3 releva las especies de Leña utilizadas y su participación como insumo para la producción del Carbón Vegetal; mientras que las preguntas 4 y 5 tienen por finalidad determinar la humedad con que la leña ingresa al horno.

La pregunta 7 se refiere al tipo y cantidad de hornos utilizados, sus dimensiones, la duración y periodicidad del proceso. Luego las preguntas 9 y 10 tienen por finalidad poder calcular las cantidades de Leña insumida y Carbón producido en cada proceso.

En el apartado siguiente se detalla el proceso de cálculo para obtener el rendimiento de las carboneras.



**7) Características de los hornos o método de producción:**

	Tipo de horno o método de producción <sup>(a)</sup>	Canti- dad	Medidas Internas (m) <sup>(b)</sup>		Tempera- tura (°C)	Días que dura el proceso	Cantidad de cargas al año
			diámetro	altura			
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

(a) Media naranja, tipo colmena, fosa, parva de tierra, metálico transportable, otros tipos (especificar).

(b) Medidas en metros con dos decimales.

*Nota: si lo considera necesario haga un croquis al dorso de esta página con la forma y medidas de cada tipo de horno o fosa.*

**8) Mide las cantidades consumidas de leña y la producción de carbón vegetal: ?**

- NO → Pase a la pregunta 10).  
 SI → Complete la pregunta 9).

**9) Para cada tipo de horno o método mencionado en 7), indique el Consumo de Leña y Producción de Carbón Vegetal:**

	Tipo de horno o método de producción <sup>(a)</sup>	Consumo de Leña			Producción de Carbón Vegetal		
		Cantidad	Unidad <sup>(b)</sup>	Periodo <sup>(c)</sup>	Cantidad	Unidad <sup>(b)</sup>	Periodo <sup>(c)</sup>
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

(a) Mantener el orden indicado en la pregunta 7)

(b) tonelada, kilogramo, m3, metro estéreo, camión, carro, bolsa, etc.

(c) mes, año, pro cada carga del horno, etc.

En caso que la unidad de medida sea camión, carro, bolsa u otra no estandarizada, indicar su equivalencia en kilogramos:

→

Unidad	Kilogramos
camión	
carro	
bolsa	

**10) Puede indicar cuántas toneladas o metros cúbicos de leña utiliza para producir una tonelada de carbón?**

- SI →  ton de leña / ton de carbón  
 NO  m3 de leña / ton de carbón

**Observaciones:**

FIN DE LA ENCUESTA

2

Como marco muestral se utilizó un listado de la DGEEC que tenía identificadas 522 carboneras ubicadas en todo el territorio nacional. Dicho listado se había obtenido del denominado Directorio General de la DGEEC y también del relevamiento del pre-Censo Nacional Económico 2011.

Las unidades a encuestar se seleccionaron en forma aleatoria simple y el tamaño de la muestra se fijó en 50.

### A5.3. Procesamiento de datos

En esta sección se presenta la metodología de cálculo partiendo de los datos relevados en el cuestionario hasta la obtención del resultado final, que es el rendimiento de transformación de Leña en Carbón Vegetal, promedio nacional. Dicho rendimiento se expresa como porcentaje entre el contenido energético de la Leña ingresada a las carboneras y el contenido energético del Carbón Vegetal producido, sobre la base del poder calorífico inferior (PCI) de ambas fuentes.

El cálculo se desarrolló en la hoja "Procesamiento Carboneras PY.xlsx" y se describe a continuación.

Para calcular tanto la densidad como el PCI de la leña ingresada a los hornos es necesario determinar la humedad (H) de la misma en dicho momento. Para ello se parte de los siguientes supuestos:

- Humedad de la leña seca:  $H_s=15\%$
- Cantidad de días desde el corte hasta llegar a leña seca: 365 días

Se supone que luego de cortada, la leña se seca a la intemperie amontonada, sin ningún apilamiento ni tratamiento especial que pueda acelerar el proceso de secado. Se supone entonces que en 365 días luego de cortada la leña en esas condiciones llega al 15% de humedad. Si bien no se dispone de estudios para Paraguay de cómo variaría el porcentaje de humedad en función del tiempo en las condiciones mencionadas, se ha observado que el resultado final de este estudio, es decir la obtención del rendimiento promedio nacional de transformación de las carboneras, no es muy sensible a dicho plazo.

1° paso: Cálculo de la Humedad real (%) de la leña al ingresar al horno.

Para ello se calcula primeramente la humedad de la leña verde, que dependerá de la especie vegetal. Se dispone de la densidad de la leña verde y de la leña seca<sup>77</sup>, entonces:

$$H_v = (1 - (\delta_s * (1 - H_s / 100) / \delta_v)) * 100$$

Dónde:

- $H_v$  : humedad de la leña verde (%)
- $H_s$  : humedad de la leña seca (15%)
- $\delta_s$  : densidad de la leña seca (kg/m<sup>3</sup>)
- $\delta_v$  : densidad de la leña verde (kg/m<sup>3</sup>)

---

<sup>77</sup> Fuente: Densidades de madera verde y seca. Ing. Ftal. María Elena Atencia, INTI-CITEMA. Argentina, Agosto 2003.

Luego para el cálculo de la Humedad real de la leña al momento de ingresar a la carbonera, se supone que la misma varía en forma lineal en función de los días que se deja secar antes de ingresar al horno. Es decir:

$$H_r = H_v - (H_v - H_s) / 365 * d$$

Dónde:

$H_r$ : humedad real de la leña al ingresar al horno (%)  
 $d$ : cantidad de días entre la corta y el ingreso al horno

2° paso: Cálculo de la Densidad real de la leña al ingresar al horno (kg/m<sup>3</sup>).

El cálculo de la densidad real de la leña al ingresar al horno es necesario ya que las cantidades informadas de leña con que se carga el horno se expresan en unidades de volumen.

$$\bar{\delta}_r = \bar{\delta}_s * (1 - H_s) / (1 - H_r)$$

3° paso: Cálculo del PCI real (kcal/kg).

Para ello se utiliza la expresión<sup>78</sup>:

$$PCI_r = (PCI_s * (100 - H_r) - 2,44 * H_r) / 41,868 * 100$$

Dónde:

$PCI_r$ : PCI real (kcal/kg)  
 $PCI_s$ : PCI leña seca 19 MJ/kg

4° paso: Cálculo del consumo anual de leña (t y tep).

Para cada carbonera se calcula la cantidad anual de leña ingresada a los hornos:

$$I_n = Ch * Ca * Lc / 1.000$$

Dónde:

$I_n$ : cantidad anual de leña consumida, en toneladas  
 $Ch$ : cantidad de hornos  
 $Ca$ : cantidad de cargas por año  
 $Lc$ : cantidad de leña por carga (kg/carga)

En cuanto a las unidades en que se expresan las cantidades de leña por carga, las utilizadas en las respuestas de los entrevistados fueron el metro estéreo y la carretada. Para ellas se asumieron las siguientes equivalencias:

- 1 m<sup>3</sup> estéreo = 0,5 m<sup>3</sup> sólido
- 1 carretada = 2 m<sup>3</sup> estéreo

Para la conversión de t a tep se utilizan los PCI de la leña, calculados en el paso anterior.

---

<sup>78</sup> Manual de Combustibles de Madera. Ed. AVEBIOM Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa, 2008.

5° paso: Cálculo de la producción de carbón vegetal (t y tep).

En la encuesta se respondió la cantidad promedio de carbón vegetal producida por cada carga, en las siguientes unidades: kg, bolsas y paquetes. A su vez, informaron la equivalencia en kg de las bolsas y paquetes. Entonces:

$$Pr = Ch * Ca * CVc * Eq / 1000$$

Dónde:

Pr : cantidad anual de carbón vegetal producida, en toneladas

Ch : cantidad de hornos

Ca : cantidad de cargas por año

CVc : cantidad de carbón producido por carga (unidad/carga)

Eq : equivalencia en kg de cada unidad (bolsas o paquetes)

Para la conversión de t a tep se utiliza el PCI del carbón vegetal que utiliza el VMME en la elaboración de los BEN de 6.900 kcal/kg.

6° paso: Cálculo de los rendimientos de las carboneras (%)

Para cada carbonera encuestada se calcula el rendimiento ( $\eta$ ) de transformación:

$$\eta = In (tep) / Pr (tep) * 100$$

Luego se calculan los rendimientos promedio para las carboneras ubicadas en la región Oriental y en la región Occidental, como el cociente entre la sumatoria de la leña consumida y la sumatoria del carbón vegetal producido en cada región. El rendimiento nacional surge de promediar los rendimientos promedio de cada región ponderados por las producciones totales de carbón vegetal de cada una.

#### **A5.4. Resultados**

Del tamaño inicial de la muestra de 50 unidades, finalmente se encuestaron 33 carboneras. Una de ellas no se pudo procesar por faltantes de información en el cuestionario respondido. En definitiva la muestra procesada fue de 32 carboneras.

De las 17 encuestas que no se pudieron realizar: 10 estaban derribadas (generalmente porque ya se había agotado la leña en las proximidades para la producción de carbón); en 4 no se encontraban los propietarios; y en las 3 restantes los caminos de acceso estaban muy deteriorados.

Una primera información que se obtuvo del procesamiento de las encuestas fue la composición por especie de la leña utilizada. La misma se presenta en el siguiente cuadro, y se observa que las primeras 5 especies aportan el 52% del total insumido. Si consideramos 2 especies más, resulta que las 7 especies más importantes representan el 62% de la leña consumida.

Cuadro A5.1. Participación de las especies de leña para producir carbón vegetal

Especie	%
Vinal	14,0%
Guayaibí	11,5%
Guayacán	10,5%
Yvyrá-pitá	9,2%
Laurel	6,5%
Algarrobo negro	5,3%
Kurupay	5,0%
Guatambú	3,6%
Otras	3,5%
Quebracho blanco	3,5%
Cancharana	2,8%
Peteribí	2,8%
Alecrin	2,3%
Aguay	2,0%
Algarrobillo (Ñandubay)	1,8%
Eucaliptus	1,7%
Cedro	1,7%
Ajuí (Ayuí)	1,6%
Laurel Hú (Laurel negro)	1,6%
Cupay/Kuruguí (Cupaibo)	1,1%
Yvyrá-rovi (Canelo de venado)	1,0%
Tata jiba	0,8%
Guabiyú	0,7%
Curupayrá	0,7%
Yvyrá ro	0,6%
Paraiso	0,5%
Yvyrá kokuere (arbol abandonado)	0,5%
Ysapyi (Isapuy guazú)	0,5%
Resto de especies utilizadas	2,6%
TOTAL	100,0%

Fuente: elaboración propia.

La totalidad de los hornos relevados fueron del tipo denominado media naranja de ladrillos. Se obtuvieron los siguientes valores promedio:

Diámetro promedio	= 2,8 m
Altura promedio	= 1,9 m
Duración promedio del proceso	= 6 días
Cantidad promedio de cargas al año	= 27

El rendimiento promedio resultante de las carboneras a nivel nacional fue del **49,2%**.

Como valor de referencia se menciona que el rendimiento promedio de las carboneras en los países de América Latina y el Caribe fue de 53,2% en el año 2009 (fuente SIEE-OLADE).