

# Evaluación teórica del impacto ambiental de una hornilla tradicional para producción de panela

## Theoretical evaluation of the environmental impact of a traditional burner for panela production

Luis F. Gutiérrez M.<sup>1</sup>, Sebastián Arias G.<sup>2</sup> y Adela M. Ceballos P.<sup>2</sup>

### RESUMEN

La elaboración de panela es una actividad de gran importancia en Colombia. Dicho proceso genera un deterioro ambiental, causado principalmente por la disposición de residuos y la operación de combustión. A través del presente trabajo, se evaluó el impacto ambiental potencial (PEI) de una hornilla panelera tradicional. Para ello, se siguió la metodología definida por el algoritmo *Waste Reduction Algorithm* (WAR GUI), aplicado a cinco lotes experimentales independientes de fabricación. Se consideró la afectación al recurso aire, y a ecosistemas acuáticos y terrestres. Las principales fuentes de contaminación correspondieron a cachazas, material particulado y cenizas; aunque hubo además una contribución a la formación de *smog* por la presencia de CO, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>. Finalmente, se recomendó mantener un control exhaustivo sobre el flujo de aire como agente comburente.

**Palabras clave:** azúcar crudo, combustión, contaminación atmosférica, medio ambiente, residuos.

### ABSTRACT

Unrefined brown sugar (*panela*) production is an activity of great importance in Colombia. This process generates environmental degradation, mainly caused by waste disposal and combustion operations. The objective of this work was to evaluate the Environmental Impact Potential (PEI) of a traditional burner, used for *panela* manufacturing. To do so, the methodology of the Waste Reduction Algorithm (WAR GUI) was applied to five independent experimental batches; additionally, air resource, as well as aquatic and terrestrial ecosystems were considered. The main sources of contamination were *cachazas*, particulate matter and ashes; although there was also a contribution to the formation of *smog* in the presence of CO, NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub>. Finally, it was recommended maintaining comprehensive control over the flow of air as a combustion agent.

**Key words:** unrefined brown sugar, combustion, air pollution, environment, waste.

## Introducción

Colombia ostenta el mayor consumo per cápita de panela en el mundo (24,7 kg año<sup>-1</sup>) y es el segundo productor después de la India, con una captación del 12% del mercado global (Superintendencia de Industria y Comercio, 2012). En el país, la fabricación de panela se realiza por métodos artesanales, en instalaciones llamadas *trapiches*. Se extraen inicialmente por compresión los jugos de la caña (*Saccharum officinarum*), para posteriormente ser filtrados y clarificados. Cuando se han separado los contaminantes del jugo (llamados cachazas), se procede a su evaporación y concentración en fondos o recipientes metálicos, usando bagazo como combustible. Finalmente, el concentrado pasa a un batido exhaustivo, se moldea y se empaqueta la panela como producto final (Osorio, 2007).

La tecnología más utilizada para fabricar panela se denomina hornilla panelera, en la cual la combustión ineficiente del bagazo disminuye la productividad y afecta la autosuficiencia combustible. El control de emisiones es un punto adicional a evaluar, pues impacta sobre el medio ambiente por la presencia de especies como CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y material particulado (Velásquez *et al.*, 2004). Por otra parte, están prohibidas prácticas como la quema de llantas, que afectan la composición de los gases de salida elevando su potencial contaminante (Osorio, 2007).

En el presente trabajo se evaluó el potencial de impacto ambiental de una hornilla panelera tradicional, considerando sus efectos sobre el aire y los ecosistemas acuáticos y terrestres. Así, se identificaron las principales fuentes de afectación medioambiental, con el fin de sentar un precedente para la intervención y sostenibilidad futura de estos esquemas productivos.

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación Alimentos y Agroindustria, Universidad de Caldas. Manizales (Colombia). fernando.gutierrez@ucaldas.edu.co

<sup>2</sup> Grupo de Investigación Alimentos y Agroindustria, Universidad de Caldas. Manizales (Colombia).

## Materiales y métodos

### Producción de panela

Se tomó como unidad de experimentación una hornilla panelera ubicada en el municipio de Supía, Caldas, Colombia; propiedad de la Asociación de Mujeres Jefes de Hogar de las Negritudes (ASOMUNE).

La materia prima fue lo más uniforme posible, adquiriéndose jugo de caña, bagazo y cadillo siempre con el mismo proveedor. La cantidad de bagazo empleado fue la suficiente para mantener la temperatura de punteo de la panela en 120°C. Se controló la utilización de 70 kg de jugo de caña, con un promedio de 17-18°Brix (Osorio, 2007). En la clarificación de guarapos, se empleó un extracto acuoso de cadillo (Mosquera *et al.*, 2007).

Para preparar la solución de clarificación, se utilizó una relación en masa de doce partes de agua por cada parte de cadillo macerado. El líquido resultante se agregó a los jugos en una concentración del 10% en peso. Esta técnica se consensuó entre los investigadores del trabajo y las asociadas de ASOMUNE.

En total, se llevaron a cabo cinco producciones o lotes de panela en bloque. Para cada proceso, se estimaron y/o controlaron los siguientes parámetros: masa de bagazo, cantidad de jugo de caña, dosificación de extracto flocculante, cachaza recolectada, concentración de sólidos solubles en guarapo, miel y panela (Refractómetro Digital Atago PAL-3), temperatura de operación (Termopar tipo K, asociado a Microtherma 2 Thermoworks) y condiciones ambientales.

Se ejecutó además una evaluación de emisiones por chimenea, según informes entregados por la empresa Servicios Integrales de Ingeniería Ambiental (SINAM S.A.S). Se obtuvo información sobre la concentración de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>), nitrógeno (N<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y humedad. Para ello, se respetaron las metodologías de la EPA (1991) y el Ministerio del medio ambiente (2010). Se utilizó un analizador de gases (E-Instruments, Modelo 5500), y una consola acoplada a tren de muestreo isocinético (ES – Environmental supply company C-5000).

### Evaluación del potencial de impacto ambiental (PEI)

Para la evaluación del impacto ambiental en la hornilla se empleó el algoritmo *Waste Reduction Algorithm Graphical User Interface* (WAR GUI), de la EPA (2011). Se consideraron los datos reales de cada experimento, como muestra la figura 1.

Para las matrices cachaza, bagazo y extracto de cadillo se utilizaron datos reportados en la literatura; los cuales se mantuvieron constantes para cada producción (Taurachand, 2005; Cifuentes *et al.*, 2011; Ortiz *et al.*, 2011). Simplificando el análisis, la panela y el jugo de caña se tomaron como soluciones binarias de agua y sacarosa. Por su parte, el material particulado y los residuos quemados se asumieron como carbón.

En cada producción de panela se estimaron los siguientes potenciales de impacto ambiental (PEI/kg<sub>producto</sub>): toxicidad por ingestión (HTPI), toxicidad por exposición (HTPE), toxicidad acuática (ATP), toxicidad terrestre (TTP), calentamiento

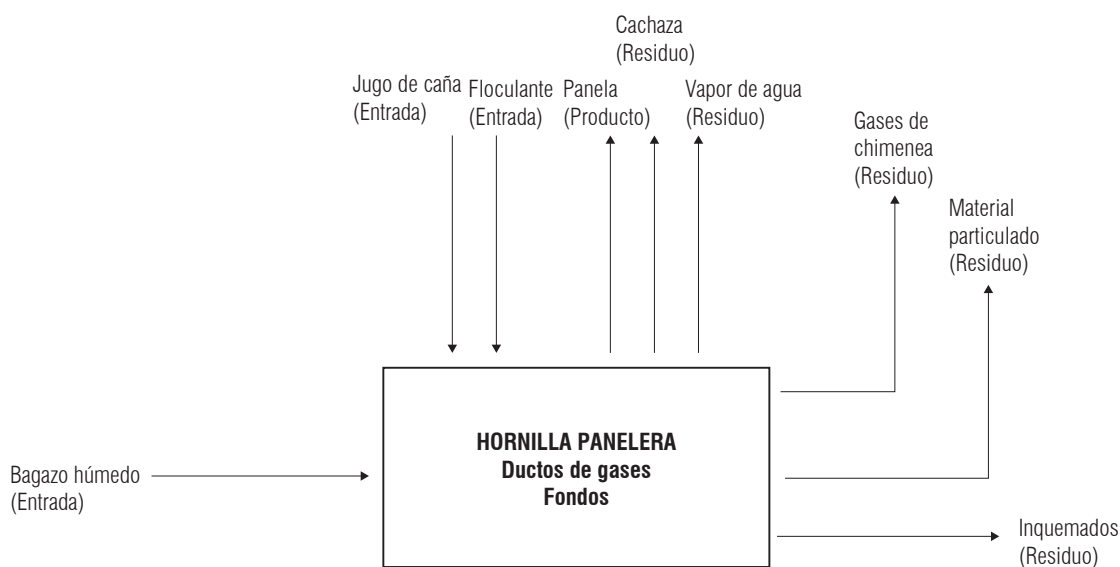


FIGURA 1. Esquema para análisis del proceso, a través del algoritmo WAR GUI.

global (GWP), agotamiento de la capa de ozono (ODP), oxidación fotoquímica (PCOP) y acidificación (AP). Además, se cuantificó el potencial total del proceso (TOTAL).

## Resultados y discusión

Los resultados obtenidos para la simulación ambiental se presentan en la tabla 1 y la figura 2. No se encontraron otros estudios que cuantificaran el PEI para este tipo de proceso.

Se observó que el impacto más significativo correspondió al potencial de daño a los ecosistemas terrestres, seguido por la oxidación fotoquímica (formación de *smog*). Los dos primeros, debidos a la disposición de residuos como la cachaza, el material particulado y las cenizas o inquemados generados durante la combustión (Sánchez *et al.*, 2007). Estos componentes pueden ser fácilmente ingeridos por personas o animales, ya sea de manera directa o por medio de depósitos y fuentes de agua.

La presencia de monóxido de Carbono y óxidos de Nitrógeno y Azufre favorecen el aumento del PCOP (Fedepanela, 2002; Sánchez *et al.*, 2007). Sin embargo, dichas especies se encontraron en bajas concentraciones, máximas de 2,6%;

0,12% y 0,18% respectivamente; por lo que se puede explicar el bajo PEI asociado.

La considerable desviación estándar de los resultados obedece al mínimo control existente sobre la operación de combustión, que afecta directamente la composición y la temperatura de los gases de chimenea (Velásquez *et al.*, 2004). Además, los excesos de aire fueron demasiado fluctuantes, variando desde 116% hasta 173%. Así, a menor flujo de comburente, se presentó una quema más incompleta y una mayor emisión de material particulado (Sánchez *et al.*, 2013).

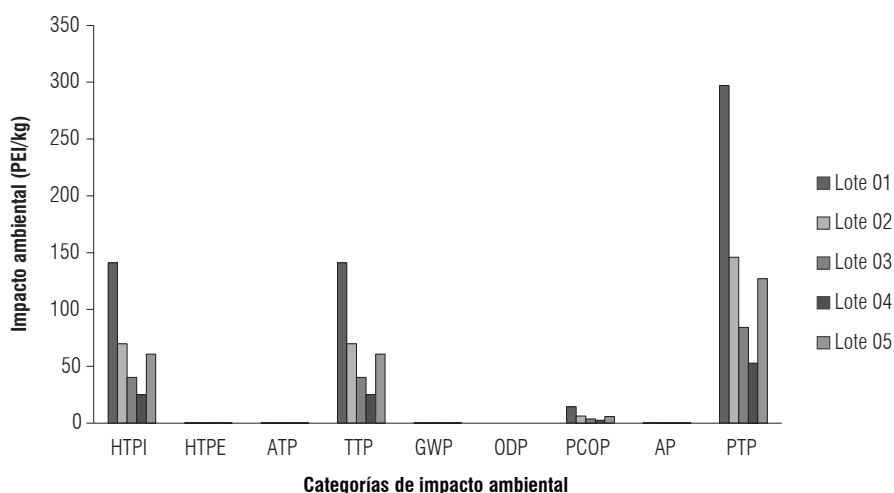
## Conclusiones

El PEI de una hornilla panelera tradicional se debe principalmente a la disposición de residuos como la cachaza y las partículas de cenizas e inquemados. Esto, siempre y cuando se utilice únicamente el bagazo como agente combustible, y los excesos de aire minimicen la formación de monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno y azufre. Por esta razón, es importante encontrar algún uso potencial para la cachaza y aumentar el flujo de aire en el horno, de tal manera que se reduzca la presencia de estos contaminantes en el medio

**TABLA 1.** Indicadores ambientales tras las cinco producciones ( $\pm$  desviación estándar).

HTPI*	HTPE*	ATP*	TTP*	GWP*
67,32 $\pm$ 44,71	0,10 $\pm$ 0,03	1,45E -02 $\pm$ 2,95E -03	67,32 $\pm$ 44,71	8,00E -03 $\pm$ 7,68E -04
ODP*	PCOP*	AP*	TOTAL*	
0,00 $\pm$ 0,00	6,52 $\pm$ 4,72	9,89E -03 $\pm$ 1,20E -03	141,40 $\pm$ 94,29	

\*Los indicadores de impacto ambiental en PEI/kg<sub>panelera</sub>, siendo cada uno: toxicidad humana por ingestión (HTPI), toxicidad dérmica (HTPE), toxicidad a cuerpos de agua (ATP), toxicidad terrestre (TTP), calentamiento global (GWP), agotamiento de la capa de ozono (ODP), oxidación fotoquímica (PCOP), acidificación (AP) y potencial total del proceso (TOTAL).



**FIGURA 2.** Potencial de impacto ambiental para los lotes de producción de panela; siendo los índices evaluados: toxicidad por ingestión (HTPI), toxicidad por exposición (HTPE), toxicidad a acuíferos (ATP), toxicidad terrestre (TTP), calentamiento global (GWP), daño a capa de ozono (ODP), oxidación fotoquímica (PCOP), acidificación (AP) y afectación medioambiental total por parte del proceso (TOTAL).

ambiente. Alternativas de control de la etapa de combustión son necesarias, con el fin de garantizar un impacto ambiental estable, y poder validar a futuro cualquier mejora desde el punto de vista de sostenibilidad.

### Agradecimientos

A la Universidad de Caldas y al proyecto Implementación del Centro de Investigación, Innovación y Tecnología al sector panelero del Departamento de Caldas, Centro BEK-DAU, financiado por el Sistema General de Regalías (SGR).

### Literatura citada

- Cifuentes, R., R. De León y C. Porres. 2011. Producción de abono orgánico a partir de cachaza y tallos de caña de azúcar recuperados de las carreteras. *Rev. Univers. Valle Guatem.* 23, 8-17.
- EPA - Agencia de Protección Medio Ambiental de los Estados Unidos. 1991. Title 40. Protection of environment. Part 60 (Appendix). Code of federal regulations. Washington DC.
- EPA - Agencia de Protección Medio Ambiental de los Estados Unidos. 2011. Waste Reduction Algorithm – Graphical User Interface. Washington DC.
- Fedepanela - Federación Nacional de Productores de Panela. 2002. Guía ambiental para el subsector panelero. En: [http://www.fedepanela.org.co/publicaciones/cartillas/guía\\_ambiental\\_panelera.pdf](http://www.fedepanela.org.co/publicaciones/cartillas/guía_ambiental_panelera.pdf); consulta: marzo de 2016.
- Ministerio del Medio Ambiente. 2010. Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas. Versión 02. Bogotá.
- Mosquera, S.A., J.E. Carrera y H.S. Villada. 2007. Variables que afectan la calidad de la panela procesada en el Departamento de Cauca. *Rev. Facultad Cienc. Agropecu. Univers. Cauca* 5, 17-27.
- Ortiz, C.A., D.J. Solano, H.S. Villada, S.A. Mosquera y R. Velasco. 2011. Extracción y secado de floculantes naturales usados en la clarificación de jugo de caña. *Biotecnol. Sector Agropecu. Agroind.* 9, 32-40.
- Osorio, G. 2007. Manual: buenas prácticas agrícolas – BPA – y buenas prácticas de manufactura – BPM – en la producción de caña y panela. FAO, Corpoica, Medellín, Colombia.
- Sánchez, O.J., C.A. Cardona y D.L. Sánchez. 2007. Análisis de ciclo de vida y su aplicación a la producción de bioetanol: una aproximación cualitativa. *Rev. Univers. EAFIT* 43, 59-79.
- Sánchez Z., H.R. García y O.A. Mendieta. 2013. Efecto del precalentamiento del aire primario y la humedad del bagazo de caña de azúcar durante la combustión en lecho fijo. *Ciencia Tecnol. Agropecu.* 14, 5-16.
- Superintendencia de Industria y Comercio. 2012. Cadena productiva de la panela en Colombia: diagnóstico de libre competencia 2010-2012. Editor SIIC, Bogotá.
- Taurachand, D. 2005. Manual del cultivador de hongos. Cultivo del hongo ostra. Mushworld, Corea.
- Velásquez, H.I., F. Chejne, A.F. Agudelo. 2004. Diagnóstico energético de los procesos productivos de la panela en Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agron. Medellín* 57, 1-15.