Hornillas paneleras

Evaluación de su impacto ambiental

María Cristina García M.[1]

Resumen

Para llevar a cabo estudios de evaluación de impacto, se necesita un marco de referencia que permita calificar de manera objetiva el grado de afectación de cualquier actividad o proceso sobre el medio. Por lo general, estos marcos de referencia lo constituyen normas ambientales establecidas después de un estudio minucioso, con la participación de diferentes áreas del conocimiento, con el fin de tener una aproximación bastante cercana a los impactos que pueden recibir los diferentes componentes del ambiente: físico, biótico y cultural, entre otros.

El establecimiento de las normas para una determinada industria demanda una alta inversión en términos de tiempo y recursos, tanto humanos como económicos, por lo cual este proceso se ha desarrollado de manera lenta, de tal forma que en la actualidad son pocas las industrias que disponen de una norma ambiental para su funcionamiento. Sin embargo, dado que todas las industrias requieren de alguna fuente de energía, este se ha constituido en el proceso más reglamentado, existiendo normas para los diferentes tipos de plantas productoras de energía.

Por las anteriores razones, y considerando que la industria panelera no cuenta con ningún tipo de estudio ambiental, pero que su principal efecto sobre el ambiente es el ocasionado durante la generación de energía, por el volumen y composición de los gases de combustión emitidos a la atmósfera, se ajustaron a esta agroindustria algunas de las normas existentes para plantas de energía. Inicialmente, el ajuste fue de algunos aspectos contemplados en el decreto 02 del 82 sobre emisiones atmosféricas; después se hizo una estimación de los contaminantes arrojados por la agroindustria panelera y, por último, se determinaron algunos parámetros para la valoración de los mismos.

Introducción

La panela es uno de los productos de mayor importancia en la economía agrícola de la nación no

[1] *Ingeniera Química. Programa Procesos Agroindustriales de Corpoica. C. I. Tibaitatá. Apartado Aéreo 240142 Las Palmas, Bogotá. E-mail: crist7296@hotmail.com*

sólo por el área destinada al cultivo de la caña y la participación en el PIB agrícola, sino también por la importancia social traducida en la participación en el empleo rural generado y en la fuente de ingresos para más de 70.000 familias campesinas (Rodríguez, 2000).

La preocupación surgida en los últimos años por la conservación del medio ambiente ha hecho que la sostenibilidad de éste se haya convertido en una condición que toda actividad o proyecto de inversión, investigación o desarrollo debe cumplir, con el propósito de garantizar que sea mínimo el efecto sobre el ambiente.

La agroindustria panelera, al igual que cualquier otra industria, no puede ser ajena a esta situación y, por ende, debe ajustarse también a estos nuevos lineamientos. Sin embargo, en la legislación ambiental colombiana no existen normas específicas para las diferentes industrias, por lo cual este constituye uno de los primeros pasos que se deben dar para responder a las nuevas directrices ambientales. Por otra parte, también es necesario establecer la línea base, ya que ésta constituye el punto de partida o referencia para las evaluaciones de impacto ambiental de cualquier proyecto en este campo.

La agroindustria de la panela tiene efecto sobre los diferentes componentes ambientales: biológicos, físicos y culturales; no obstante, el más afectado es el físico, en especial el componente aire, debido al volumen de gases provenientes de la combustión que son emitidos a la atmósfera. Aunque no se dispone de estudios preliminares sobre el impacto que esta agroindustria causa al medio ambiente, es evidente que los mayores efectos son recibidos por el componente atmosférico, razón por la cual este estudio se centrará en este componente.

Figura. 1. Hornilla Panelera

Estudio de Impacto Ambiental

Un estudio de impacto ambiental contempla una serie de etapas, las cuales pueden resumirse así:

1. Identificación de las actividades desarrolladas en el proyecto.
2. Determinación de los posibles impactos que pueda generar cada actividad.
3. Identificación del área de influencia del proyecto.
4. Predicción y valoración de los impactos.
5. Estudio y evaluación de las diferentes alternativas para su manejo.

1. Identificación de las actividades

La evaluación del impacto ambiental se centra en el sistema de generación y transmisión de la energía, ya que en esta etapa se originan los mayores efectos sobre el ambiente, ocasionados por la emisión de los gases de combustión.

El proceso de elaboración de panela parte de la extracción de los jugos de la caña, los cuales se llevan a la hornilla o sistema de concentración, para retirar más del 90% del agua contenida en los jugos. Este sistema está compuesto por dos secciones, la correspondiente a la generación de energía y la de transferencia de calor.

La sección de generación de energía está conformada por la cámara de combustión de la hornilla, y en ella se quema el combustible con la respectiva liberación de energía. La sección de transmisión de calor está integrada por el ducto, las pailas y la

chimenea. El ducto transporta los gases de combustión hasta las pailas, transfiriendo la energía de los gases a los jugos contenidos en ellas. Esta energía se utiliza en las operaciones de clarificación y limpieza, evaporación del agua y concentración de los azúcares, hasta obtener el punto de panela, momento en el cual este producto de alta viscosidad y temperatura se retira de las pailas y pasa a las bateas donde la miel se enfría, se bate y moldea para dar origen a la panela.

La chimenea promueve el movimiento de los gases a través de la hornilla y su expulsión al ambiente. La chimenea ejerce una alta influencia sobre la eficiencia de la hornilla ya que incide directamente sobre la velocidad de los gases y sobre los procesos de transferencia de calor que se producen a lo largo del ducto.

2. Determinación de los posibles impactos que puede generar cada actividad

En la Tabla 1 se presentan las actividades realizadas en la hornilla durante la elaboración de la panela con sus respectivos efectos sobre el ambiente.

3. Identificación del área de influencia del proyecto, (montaje, puesta a punto y funcionamiento de una hornilla)

La alta dispersión y diversidad de la agroindustria panelera en el país, implica características diferentes tanto de las hornillas como de los lugares donde están ubicadas. La identificación del área alterada es difícil y no puede ser generalizada, requiriéndose de un análisis detallado de cada una de las actividades en la producción de panela, así como de los efectos sobre cada uno de los componentes del entorno. En este caso se hace énfasis en el efecto sobre el componente aire, pues es el más afectado por esta agroindustria.

Para determinar el área de influencia deben considerarse, entre otros aspectos, la relación entre la calidad del aire, la distancia y altura del punto de descarga de los gases, el comportamiento de los vientos, la radiación solar, la composición y el volumen de los gases, la altitud, la localización y la eficiencia de la hornilla, y, por supuesto, las características del entorno.

4. Predicción y valoración de los impactos

Los productos de la combustión son conocidos de manera amplia y están compuestos básicamente por dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y material particulado, dependiendo del combustible y de las condiciones de la combustión.

En la sección de transmisión de calor las emisiones están conformadas por corrientes de vapor de agua con un alto contenido de energía.

El grado de afectación ocasionado al ambiente no se mide en términos absolutos sino que se valora de acuerdo con las normas, reglamentaciones y disposiciones legales existentes, o son referidas, en su ausencia, a las condiciones iniciales del área de influencia de la hornilla.

Para el caso del control de la calidad del aire deben tenerse en

Tabla 1. Actividades desarrolladas para la elaboración de panela y sus efectos sobre el ambiente.

Emisiones		CO_2	CO	NOx	SOx	Partículas	Vapor de agua	Energía	Cenizas	Residuos
Combustión										
Suministro de	leña	x	x	x	x	x	x	x	x	
	caucho	x	x	x	x	x	x	x	x	
	bagazo	x	x	x	x	x	x	x	x	
Limpieza, clarificación y concentración de los jugos										
Calentamiento de los jugos							x			
Adición de floculantes										x
Evaporación y concentración							x			

*Fuente: García, M. C. 2002.

Figura 2. Hornilla panelera y su entorno.

cuenta las normas de emisión y de inmisión según el decreto 02 de 1982 del Ministerio del Medio Ambiente sobre emisiones atmosféricas. Dado que no existen mayores alternativas, se trata de ajustar algunos elementos de este decreto para aplicarlo a la agroindustria panelera, aclarando que aún quedan muchos vacíos que deben cubrirse con el ajuste de normas internacionales o el desarrollo de estudios destinados al establecimiento de la norma colombiana.

Decreto 02 de 1982 del Ministerio del Medio Ambiente y la agroindustria panelera

De acuerdo con este decreto, las hornillas pueden catalogarse como fuentes fijas artificiales de contaminación del aire en zona rural, ya que el punto de descarga se ubica en su mayoría a más de tres (3) kilómetros del perímetro urbano de poblaciones que son cabecera municipal, tienen más de 2.000 habitantes o están por fuera del perímetro urbano, en poblaciones con menos de 2.000 habitantes, o que no son cabeceras municipales.

Las normas establecidas en el decreto están dadas para una altura de descarga, altitud y cantidad de energía generada por hora, así que si estas condiciones de referencia difieren de las del sistema evaluado es necesario aplicar los factores de corrección correspondientes.

La norma de emisión relacionada con el material particulado, proveniente de calderas a base de carbón, es la norma colombiana más cercana que puede aplicarse a la agroindustria panelera. Para las emisiones de CO y los óxidos de azufre y nitrógeno, se tomará el de la norma americana para plantas de energía eléctrica alimentadas con carbón.

En la norma americana, la emisión de contaminantes que pueden emitirse al ambiente, está en función del consumo calorífico, en kilogramos de contaminante por millón de unidades de energía, como se presenta a continuación:

Máximo: 0,054 kg de material particulado/10^6 kcal o el 1% de los sólidos de ceniza contenidos en el combustible. Se debe tomar la menor opción.

Máximo: 2,16 kg de bióxido de azufre/10^6 kcal o más del 30% del SO_2 el cual se formaría si todo el azufre presente en el combustible se convirtiera en SO_2. Se debe tomar la menor opción.

Figura 3. Vapor generado durante las etapas de clarificación y concentración de las mieles.

Para el control de la calidad del aire hay que tener en cuenta las normas de emisión y de inmisión según el decreto 02 de 1982 del Ministerio del Medio Ambiente sobre emisiones atmosféricas

Máximo: 1,08 de bióxido de nitrógeno/10^6 kcal, para la mayor parte de los carbones, o bien 0,9 kg/10^6 kcal, para el carbón subbituminoso.

Para comparar el nivel de emisiones de estas plantas con las producidas durante el proceso de elaboración de la panela, es necesario unificar las unidades utilizadas, expresando los resultados en masa de contaminante/energía generada.

En el caso de la panela, la energía liberada está en función de diferentes factores como el tipo de combustible, características físicas del mismo y consumo por hora. A manera de ejemplo, se calcula la cantidad de energía liberada por una hornilla autosuficiente (el combustible utilizado es sólo bagazo), tomando condiciones promedio de operación tales como la producción promedio de panela de 90 kg/h, los consumos de bagazo de 2 kg de bagazo/kg de panela y los contenidos de humedad del bagazo de 35%. Bajo estas condiciones, la cantidad de energía generada por hora está dada por la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{r * p * (17{,}850 - 20{,}35 * h_b)}{(4{,}187 * 10^6)},$$

donde:

Q: es la cantidad de energía emitida por hora, millón kcal/h

r: es la relación de bagazo a panela, kg bagazo/kg panela

p: es la panela producida por hora, kg panela/h

h_b: es el contenido de humedad del bagazo, kg humedad/kg bagazo húmedo

Q = (2 kg de bagazo/kg de panela) *(90 kg panela/h) * (17.850 – 20,35 * 35)/ 4,187 * 10^6

Q = 0,74 millones de kcal/h.

La energía generada por hora por una hornilla de las condiciones previamente descritas: es de 0,74 millones de kcal/h.

Si se utiliza otro combustible, en la ecuación se debe cambiar el poder calorífico del combustible, que para el caso del bagazo es de 17.850kj /kg, además de ser necesario tener información sobre la cantidad de ese combustible que se emplearía por kg de panela producida.

En la Tabla 2, del decreto 02 del 82 se presentan los límites máximos permisibles para el material particulado que puede ser emitido a la atmósfera, según la cantidad de energía consumida y la altura de la descarga.

De acuerdo con la cantidad de energía generada para estas condiciones promedio, la cual fue de 0,74 millones de kcal/h, la cantidad de material particulado permisible es inferior a 3 kg. No obstante, puede ser aún más baja ya que este valor debe ser corregido tanto por la altura de descarga, en caso de que sea inferior a los 15 metros, como por la altitud a la cual está ubicada la hornilla.

La agroindustria panelera se encuentra ubicada en una franja altitudinal entre los 700 y 2.000 m.s.n.m., lo cual implica un factor de modificación k, entre 0,958 y 0,878, de conformidad con el decreto 02 del 82. Se decidió tomar K=0,878, correspondiente a una altitud de 2.000 metros de altura, pues así se obtienen niveles más drásticos de emisión permitidos, incrementando el grado de protección del componente atmosférico.

Tabla 2. Límites máximos permisibles de emisión de material particulado.*

Consumo de calor 10^6kcal/h	Zona rural kg/h	Zona urbana kg/h	Altura de descarga m
10 o menos	3,00	2,00	15
25	2,24	1,45	20
50	1,79	1,14	25
100	1,43	0,90	40
200	1,15	0,71	45
400	0,92	0,55	55
500	0,86	0,51	60
1000	0,68	0,4	115
1500 o más	0,6	0,35	120

***Fuente:** Ministerio del Medio Ambiente. 1982.

En la Tabla 3 se incluye la norma de emisión para 0 y 2.000 metros de altura, donde se observa como ésta se hace más drástica a mayor altitud.

A pesar del efecto invernadero que genera el CO_2, no hay normas para controlar su emisión, ya que éste es el principal producto de la combustión, de tal manera que en procesos de generación de energía, a partir de combustibles orgánicos, siempre se busca alcanzar la conversión del 100% del carbono a CO_2. Esto genera mayor cantidad de energía y menor producción de monóxido de carbono (CO), gas que representa un riesgo para la salud, aún en muy bajas concentraciones.

Una vez establecidos los límites permitidos para cada uno de los componentes de los gases de combustión, se calcula el volumen y la concentración de los gases emitidos por esta agroindustria para definir su estado actual frente al posible establecimiento de la norma ambiental.

Figura 4. Emisión de gases de combustión durante la elaboración de panela.

- Cálculo de la emisión de contaminantes por la hornilla

La cantidad y composición de los gases de combustión emitidos a la atmósfera, se determinan mediante métodos matemáticos universales, en los cuales se han establecido factores de emisión para cada uno de los componentes de los gases. Estos factores de emisión son particulares a cada industria o equipo y se obtienen a través de ecuaciones teóricas, evaluaciones y seguimiento en planta por largos períodos de tiempo y bajo diferentes condiciones de operación.

Tabla 3. Concentración límite corregida por altitud para la emisión de gases de combustión.*.

Contaminante	Emisión permitida kg/10^6 kcal	Emisión corregida por altitud kg/10^6 kcal
Particulas	3	2,634
Monóxido de carbono, ppm	500	439
Óxidos de azufre	2,16	1,90
Óxidos de nitrógeno	1,08	0,948

***Fuente:** Ministerio del Medio Ambiente 1982.

Según la Tabla 4, el volumen de monóxido y dióxido emitido a la atmósfera por año, en unidades millón de kcal generado, es de 65,04 kg de CO/millón de kcal y de 288,58 kg de CO_2 /millón de kcal. En términos de producción por hora será de:

Monóxido de carbono, CO: 48,13 kg/h

Dióxido de carbono, CO_2 213 kg/h

Tabla 4. Parámetros ambientales en la producción de panela.*

Producción nacional panela, t/año	1'275.000
Área cosechada caña, ha/año	201.028
Trapiches, #	20.000
Caña molida, t/año	12'116.295
Cachaza producida, t/año	363.489
Bagazo producido, t/año	5'331.170
Agua evaporada jugo, t/año	5'146.636
Agua evaporada bagazo, t/año	2'985.455
Consumo leña, t/año	550.800
Consumo llantas, t/año	13.000
Emisión de Co	683.400
Emisión de Co_2	3'031.950
Descarga Térmica, Kw	1.274E+10

*Fuente: García B., H. R. 2004.

Para expresar estas emisiones en unidades de concentración, es necesario tomar condiciones promedio de operación, con respecto a exceso de aire, para precisar el volumen promedio de gas que se produce por kg de bagazo alimentado.

Para una producción de monóxido y de dióxido de carbono como la encontrada, se tendría una producción de gas de combustión de 28 kg por cada kg de bagazo quemado, tomando un exceso de aire del 80%.

De acuerdo con esta información, la concentración de monóxido y dióxido será, en su orden, de:

Gas de combustión producido: 28 kg de gas/kg de bagazo
*289,47kg de bagazo/h
8.105,3 kg de gas/h

Concentración de CO:
48,13 kg CO/ 8.105,3 kg gas
5938 ppm

Concentración de CO_2:
213 kg CO_2 /h/ 8.105,3 kg gas
2,63%

El tamaño de estas agroindustrias genera volúmenes de gases contaminantes relativamente pequeños, comparados con los de otras industrias. Estos pequeños volúmenes de gases pueden, sin embargo, estar transportando gases tóxicos en altas concentraciones, como es el caso del monóxido de carbono, el cual está por encima de los límites permisibles para las condiciones de operación consideradas en el cálculo. Ahora, si se estima que más del 80% de las hornillas paneleras no son autosuficientes, esta concentración de monóxido puede incrementarse de manera substancial por el uso de caucho o leña, combustibles complementarios muy usados en esta agroindustria para cubrir la deficiencia de combustible, cuando la eficiencia global de la hornilla es baja.

La producción de gases de combustión se calculó por unidad de energía generada, ya que las normas están establecidas bajo este criterio. Pese a ello, es recomendable hacer la estimación de volumen de contaminante producido por unidad de volumen o masa de producto obtenido. Esto facilita la comparación entre diferentes sistemas de producción de panela, determinando cual presenta mayores ventajas desde el punto de vista ambiental. Además, la emisión de contaminante por unidad de panela elaborada es un indicador más confiable del impacto que puede causar esta agroindustria, en tanto contempla no sólo la eficiencia del proceso de combustión sino también la de transferencia de calor.

Una vez calculados los volúmenes y la concentración de los contaminantes arrojados a la atmósfera, pueden vislumbrarse los posibles efectos sobre el entorno.

5. Valoración del impacto ambiental

Las emisiones gaseosas no tienen una legislación que permita cualificar el nivel de su impacto. En el decreto 02 del 82 aparece la norma para emisión de material particulado para calderas a base de carbón y otros combustibles tanto líquidos como sólidos. En cuanto a emisiones de óxidos de azufre y de nitrógeno, las hay específicas para la industria de ácido sulfúrico y nítrico, respectivamente. Las emi-

La evaluación del impacto ambiental se centra en el sistema de generación y transmisión de la energía, ya que en esta etapa se originan los mayores efectos sobre el ambiente, ocasionados por la emisión de los gases de combustión

El aire es el componente más afectado por la agroindustria de la panela, debido a la composición y al volumen de los gases emitidos por las hornillas, el comportamiento de los vientos, la radiación solar, la altitud, la localización y la eficiencia de las hornillas y las características del entorno

siones de CO_2 no están reglamentadas y las de monóxido no están contempladas en esta norma.

Las normas de inmisión consideran los óxidos de azufre, de nitrógeno, el material particulado y el monóxido de carbono, de modo que pueden servir como referencia para establecer el nivel de alteración que están causando al ambiente. Por supuesto, estas normas no se aplican en lugares poco poblados sino en las ciudades o cabeceras municipales.

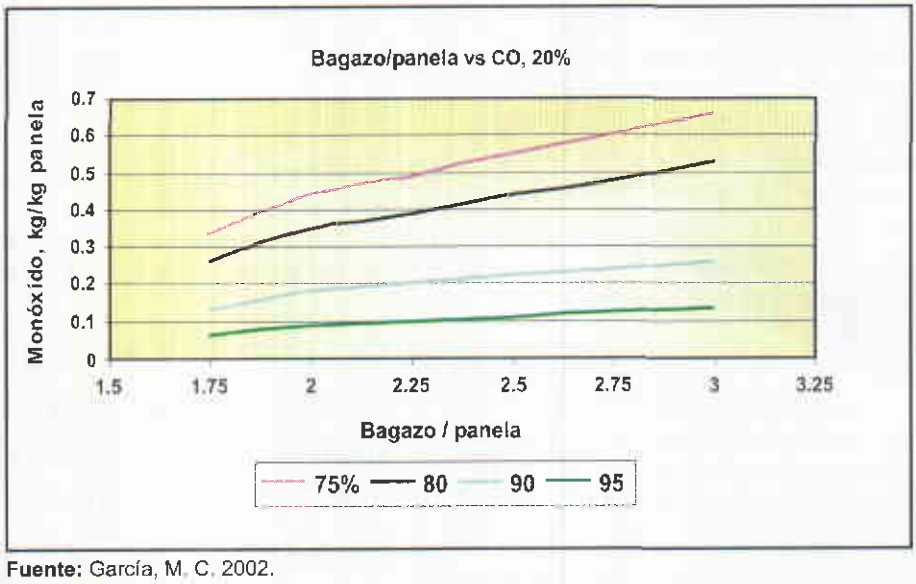
Para el cálculo de la concentración de estos contaminantes en las poblaciones cercanas a los lugares de producción, existe una gran cantidad de modelos basados en un conocimiento preciso del comportamiento de los vientos, su frecuencia, velocidad y dirección, la caracterización de los gases de combustión emitidos a la atmósfera y la altura de descarga, entre otros aspectos.

La norma es una excelente herramienta para cualificar un impacto, porque facilita la comparación objetiva de la alteración; a pesar de ello, algunos efectos no son cuantificables. Para disminuir el grado de subjetividad existen parámetros que ayudan a establecer su verdadera magnitud, como son el tipo de impacto, la intensidad, la extensión, la persistencia, la periodicidad, la reversibilidad, la recuperabilidad, la mitigabilidad, la acumulación, el efecto, el momento y la sinergia. Una vez identificados y valorados los impactos, se puede establecer el *plan de manejo* ambiental más adecuado para mitigar o controlar estos efectos.

Para hacer evaluaciones puntuales de impacto, es decir, ya sean de hornillas individuales o de hornillas localizadas en una región, el procedimiento es similar al señalado antes, pero debe incorporarse la metodología de la toma de muestras de los gases de combustión que aparece en el decreto 02 del 82, con lo cual se obtiene la información relacionada con el volumen y la concentración promedio de los gases emitidos a la atmósfera.

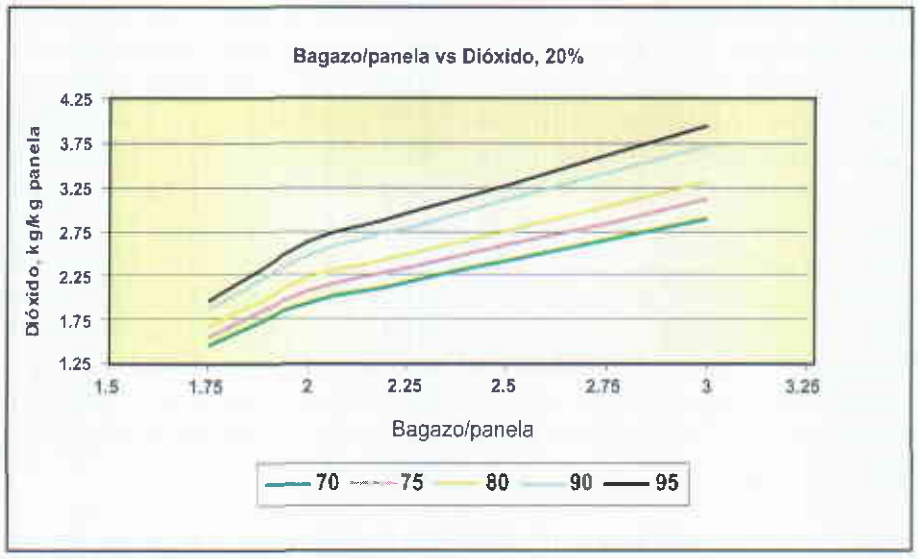
Así mismo, es necesario complementar esta información con un seguimiento detallado de la hornilla, para determinar el consumo de combustible/h, condiciones de suministro, producción de panela por hora, exceso de aire, el tipo de cámara de combustión, la capacidad de la parrilla, el tipo y distribución de pailas en la hornilla y la altura de la chimenea, entre otros factores, pues estas características y condiciones de operación de la hornilla inciden de manera drástica en el volumen y en la composición de los gases de combustión.

En las Figuras 5 y 6 se relacionan una gama de concentraciones de monóxido y dióxido de carbono que puede presentarse en las hornillas paneleras, en función de la relación de bagazo a panela y de la eficiencia de combustión, tomando como parámetro una humedad del bagazo del 20%. Como se observa, el volumen y concentración de los gases que pueden hallarse en las hornillas paneleras es muy amplio; por lo tanto, es necesario un seguimiento detallado por largos períodos de tiempo, para determinar, en principio, los factores de emisión



Fuente: García, M. C. 2002.

Figura 5. Concentración de monóxido de carbono producido en las hornillas paneleras bajo diferentes condiciones de operación.



Fuente: García, M. C. 2002.

Figura 6. Concentración de dióxido de carbono producido en las hornillas paneleras bajo diferentes condiciones de operación.

para esta agroindustria y con ellos construir la norma correspondiente.

Con la evaluación de las hornillas se busca establecer la relación entre las diferentes variables que intervienen en el proceso de elaboración de panela y la eficiencia global de la misma, es decir, que tenga en cuenta la eficiencia de la combustión y la de transferencia de calor. Con esta información se obtiene un panorama más claro y cercano a los efectos ambientales que esta agroindustria genere sobre el ambiente. Además, provee de elementos suficientes para establecer los factores de emisión, herramienta básica en los procesos de evaluación de impacto y en la formulación de la norma.

Por otra parte, en estas evaluaciones es importante expresar la carga contaminante en unidades de volumen de contaminante por volumen de panela producida, lo cual facilita la comparación entre sistemas y permite una concepción más directa del impacto ambiental, puesto que es susceptible de analizarse como una relación costo/beneficio.

Conclusiones

La evaluación del impacto ambiental de la agroindustria de la panela exige un trabajo a fondo, ya que no se cuenta con mayor información al respecto. El primer paso está en construir la línea base y después en determinar los factores de emisión, que hagan posible el establecimiento de la norma.

Es necesario comenzar desde la misma caracterización de la hornilla, en la que se determine la influencia de cada una de las variables de operación sobre la eficiencia del sistema. El tipo de combustible, las condiciones de suministro del bagazo, el exceso de aire, el tipo de cámara de combustión, el tipo de pailas y su distribución en el ducto y la altura de la chimenea, es información básica para precisar los factores de emisión que facilitarán la posterior evaluación de las hornillas.

A pesar del efecto invernadero que genera el CO_2, no hay normas para controlar su emisión, dado que es el principal producto de la combustión

Esta información también es importante para fijar la norma, la cual debe basarse en el estudio de las condiciones actuales de estos sistemas, para que no sea fijada en forma arbitraria y los valores establecidos sean factibles de cumplir.

Este trabajo se concentró en la metodología de aplicación de la norma ambiental sobre las emisiones atmosféricas y en el cálculo del volumen de gases de combustión emitidos al ambiente por esta agroindustria. Si se quiere conocer el grado de alteración que esta industria ocasiona al medio, es preciso incorporar los demás elementos, es decir, todas las actividades e impactos que se presentan desde la misma selección de los lotes para la ubicación del cultivo, como de la hornilla, hasta la obtención de la panela, considerando no sólo las alteraciones sobre el componente atmosférico sino también sobre el componente biótico, geofísico, hídrico y social.

Con base en esta valoración global del impacto ambiental a causa de la emisión de gases de combustión, se puede observar que, dado el tamaño de estas agroindustrias, su participación en la generación de contaminantes es baja si se compara con otras industrias, tanto por el

volumen como por el tipo de combustible consumido.

En el caso de las hornillas autosuficientes, que sólo consumen bagazo, la emisión de óxidos de nitrógeno y azufre al ambiente es mínima. En los casos en los que se utilizan otros combustibles, tales como el caucho y la leña, estas cantidades pueden ser significativas.

Con respecto al bagazo, el principal problema es la producción de monóxido, cuya concentración en el momento de la emisión está por encima de la permitida. Esto señala el aumento de la eficiencia de combustión como uno de los aspectos prioritarios en la formulación de un plan de manejo ambiental.

Referencias Bibliográficas

Durán C., N.; GIL Z., N.; García B., H. R. 1992. Manual para la elaboración de panela y otros derivados de la caña. Barbosa, ICA-CIMPA. 189 p.

García B., H. R. 2004. Oportunidades de producción limpia en la agroindustria de la panela. Bogotá, Corpoica-CINSET. 115 p.

García, M. C. 2002. Evaluación del impacto ambiental en hornillas paneleras. Bogotá, Corpoica. 17 p.

Gordillo A., G.; GARCÍA B., H. R. 1992. Manual para el diseño y construcción de hornillas paneleras. Barbosa, ICA-CIMPA. 167 p.

Ministerio del Medio Ambiente. (Bogotá, Colombia) 1982. Decreto 02 de 1982. Bogotá. Ministerio del Medio Ambiente.

Rodríguez, G. 2000. La panela en Colombia frente al nuevo milenio; un análisis de la cadena agroindustrial. *En:* Manual de caña de azúcar para la producción de panela. Bucaramanga, Corpoica - Fedepanela.

Rodríguez, G.; Gottret, M. 2000. Evaluación de la adopción y el impacto de la tecnología en la agroindustria panelera colombiana. *En:* Primera Conferencia Regional de Desarrollo Rural Sostenible. Memorias. Caracas, Venezuela. Fundación CIARA.