

# Evaluación de la concentración de Benzo[a]pireno durante la combustión de leña de eucalipto en una hornilla eco-eficiente

Vol.11 No.2 - 2024

**Paula Andrea Caicedo Muñoz**

**Julieth Andrea Salazar Arcos**

**Diana Marcela Muñoz Zuñiga**

**Juan Felipe Melo Moreno**

Estudiantes de Ingeniería Ambiental  
Universidad Mariana

**Juan Carlos Narváez Burgos**

Profesor de Ingeniería Ambiental  
Universidad Mariana

## Resumen

En este trabajo, desarrollado para el curso de Diagnóstico de la calidad del aire del programa de Ingeniería Ambiental, se llevó a cabo un estudio centrado en analizar la relación entre la concentración de benzo[a]pireno y variables ambientales (temperatura, humedad y velocidad del viento) durante la combustión de leña de eucalipto en estufas eco-eficientes; se empleó instrumentos específicos como un cromatógrafo de gases acoplado a espectrometría de masas, un equipo muestreador de gases tipo Rack, un termohigrómetro digital y un anemómetro. Este meticuloso experimento recolectó muestras a lo largo de todo el proceso de combustión, evidenciando concentraciones significativas de benzo[a]pireno, algunas superando los límites permitidos, representando un riesgo potencial para la salud humana. Los hallazgos subrayan la imperativa consideración de factores ambientales al quemar materiales orgánicos en estufas eco-eficientes, ya que estos factores ejercen una notable influencia en la generación de contaminantes, con consecuencias adversas para la salud.

## Introducción

La implementación de estufas eco-eficientes en áreas rurales ha sido un paso relevante propuesto por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el

Ministerio de Ambiente para mitigar los efectos nocivos de los fogones tradicionales en la salud humana y el medio ambiente. Sin embargo, un estudio detallado en una vivienda del corregimiento de Catambuco, vereda La Merced, ha arrojado luz sobre una problemática importante, debido a las emisiones generadas por estas estufas, especialmente al quemar ciertos materiales como la leña de eucalipto, por lo cual se propuso investigar sobre contaminantes de esta leña, específicamente el Benzo[a]pireno (BaP), un compuesto tóxico y cancerígeno generado por la combustión incompleta. La exposición a este químico puede aumentar el riesgo de cáncer y provocar problemas respiratorios.

Se planteó un estudio que se enfoca en analizar la relación entre la concentración de BaP y variables como temperatura, humedad y velocidad del viento durante la combustión de leña de eucalipto en este tipo de estufas, donde se determinó cuál de estas variables tiene la mayor variación con la concentración de BaP. Para esto se llevó a cabo un diseño experimental detallado, tomando muestras desde el inicio hasta el final del proceso de combustión. Los resultados obtenidos muestran concentraciones significativas de BaP, algunas superando los niveles permisibles, lo que sugiere un riesgo potencial para la salud humana; el análisis de los datos revela correlaciones entre la temperatura y la concentración de BaP, sugiriendo que temperaturas más altas contribuyen

a mayores concentraciones del compuesto, así como, la velocidad, Sin embargo, la humedad no muestra correlación en cuanto a la concentración de BaP. Estos hallazgos destacan la importancia de considerar factores ambientales durante la combustión de materiales orgánicos, ya que influyen significativamente en la generación de este contaminante, lo que genera impactos adversos en la salud humana y al medio ambiente.

## Materiales y métodos

### 1. Equipos

#### Figura 1

Área de estudio: combustión de leña de eucalipto



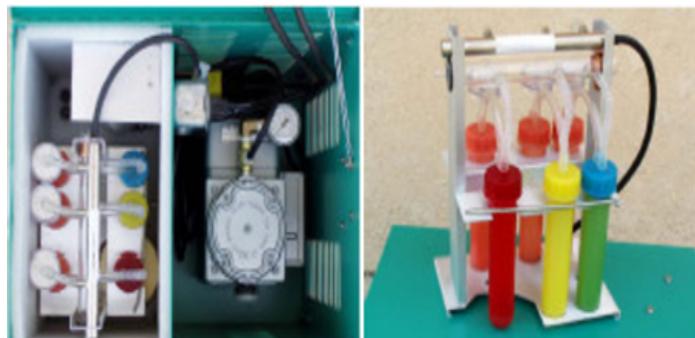
Nota. Marcela Muñoz Zuñiga.

En la Figura 1 se puede apreciar que se realizó la toma de muestra por inmisión, desde el inicio de la combustión hasta la finalización de la misma, dividido en dos jornadas: mañana 10:00 a. m. a 13:00 p. m. y tarde 13:00 p. m. a 16:00 p. m. durante cinco días.

Para la toma de la muestra se utilizó el equipo Rack 3-Gases con sus accesorios característicos, los cuales cumplen las especificaciones recomendadas por el Código Federal de Regulaciones de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) (Ver Figura 2).

#### Figura 2

Equipo Rack 3-Gases [2]



Nota. Juan Felipe Melo Moreno.

Se empleó también el equipo termohigrómetro digital para obtener los datos de temperatura, presión y humedad atmosférica. La velocidad de viento fue medida con el equipo anemómetro.

### 2. Reactivos y materiales

Se utilizó como materia prima para la combustión, leña de eucalipto seca, en aras de estandarizar el experimento. Para las muestras recolectadas se aplicó 40 ml de formol a los tubos del rack y se burbujan.

Se empleó estándares de antraceno, los cuales fueron sometidos un proceso de metilación 0,0025 g de antraceno; fueron pesados y después puestos en un balón de 25 ml con agua destilada y, se realizó el cálculo correspondiente para aforar las muestras con la solución preparada.

Para el estudio se utilizó cromatógrafo de gases acoplado a espectrometría de masas con condiciones específicas para su análisis; estas fueron una columna de nombre SHRXI-5MS, con una longitud de 30 m, un espesor de 0,25 um, un diámetro de 0,25 mm; la temperatura de columna fue de 40 °C; la temperatura de inyección fue de 523,15 °K; el modo de inyección fue splitless y su tiempo de muestreo fue de un minuto.

### 3. Preparación de la muestra

A cada muestra se le agregó 2 ml de la solución estándar de antraceno preparada; se sometió a baño maría durante 40 minutos; se usó una fibra óptica que absorbiera los gases y, posteriormente, se inyectó en el cromatógrafo.

**Figura 3**

*Inyección del patrón antraceno a cada muestra*



Nota. Paula Caicedo Muñoz.

### Resultados y discusión

Estandarización de la técnica de cromatográfica de gases acoplado a la espectrometría de masas

El muestreo se llevó a cabo en cinco días, divididos en dos jornadas: mañana y tarde; se obtuvo un total de diez muestras; cada una de ellas se inyectó en el cromatógrafo de gases para determinar el comportamiento del contaminante del BaP emitido en la combustión de leña de eucalipto; el contaminante tuvo un tiempo de retención de 29 minutos, dado que, es un compuesto pesado conformado por cinco anillos de benceno; además, se tuvo en cuenta las variables ambientales.

Por la mañana, la temperatura media exhibida fue de 292.930 °k mientras que, por la tarde, alcanzó 293.830 °k. Se evidenció una ligera disparidad entre ambas jornadas, siendo ligeramente más elevada en la tarde (Temperatura tarde > Temperatura mañana).

Además, se observó una mayor variabilidad en las temperaturas de la tarde en comparación con las de la mañana. La desviación estándar por la mañana fue de 3.626, mientras que por la tarde fue de 15.895. Esta discrepancia en las desviaciones estándar indica una mayor dispersión de los valores en la tarde.

La variabilidad también refleja esta diferencia, registrando una varianza de 13.146 por la mañana y de 5.895 durante la tarde. En la mañana, la humedad media que se presentó fue de 61.000, mientras que por la tarde alcanzó 53.467. Esto permite evidenciar que la jornada de la mañana es significativamente mayor en comparación con la tarde; se registró una variabilidad de 188.714, siendo mayor a la varianza de la tarde, que fue de 160.552.

La desviación estándar registró una ligera diferencia, siendo mayor en la jornada de la mañana: 13.737 que en la de la tarde: 12.671.

En la jornada de la mañana, la velocidad del viento que se obtuvo fue de 0.371, siendo menor a la jornada de la tarde: 0.404. Sin embargo, la dispersión de los datos fue similar; también se obtuvo una desviación estándar ligeramente mayor en la jornada de la mañana.

La desviación estándar presentó una ligera diferencia, siendo mayor en la jornada de la mañana: 13.737 que en la de la tarde: 12.671.

La Resolución 2254 de 2017, en el capítulo 1, artículo 4, de niveles máximos permisibles de contaminantes tóxicos en el aire, establece el valor máximo permisible del BaP de 0,001  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en un tiempo de exposición anual. Para el estudio realizado se encontró valores elevados del contaminante; este compuesto es perjudicial para la salud y el medio ambiente, por sus efectos cancerígenos.

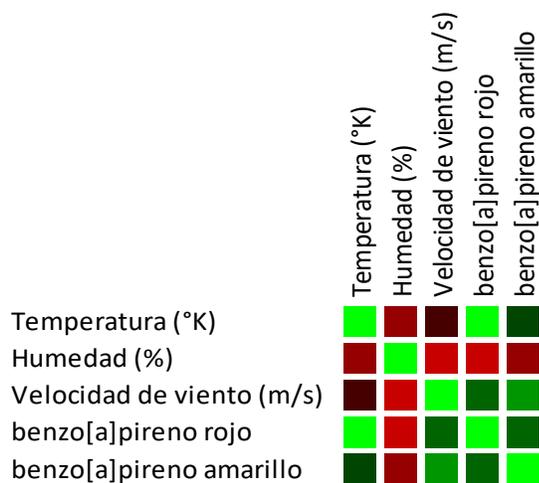
Según Mastandrea et al. (2005), la exposición al contaminante BaP posee la capacidad de desarrollar efectos carcinogénicos como el cáncer de escroto, cáncer de pulmones, leucemia y linfoma, entre otros. De igual forma, causa efectos genotóxicos y/o mutagénicos y se halla expuesto en la mayoría de combustiones incompletas que se realiza diariamente. Lo anterior, sumado al tiempo de permanencia en el medio ambiente, causa mayores daños. Se puede observar algunas de las enfermedades que ocasiona la exposición del BaP en la Figura 4. La Resolución 2254 sugiere que, al existir altos niveles del contaminante, se debe efectuar un monitoreo continuo.

El análisis de correlación de la concentración del BaP realizado con las variables ambientales cuenta con una relación significativa entre ellas, en los cinco días de muestreo.

En la Figura 4 se observa la correlación entre las variables ambientales y la concentración de BaP en las dos jornadas de estudio.

Figura 4

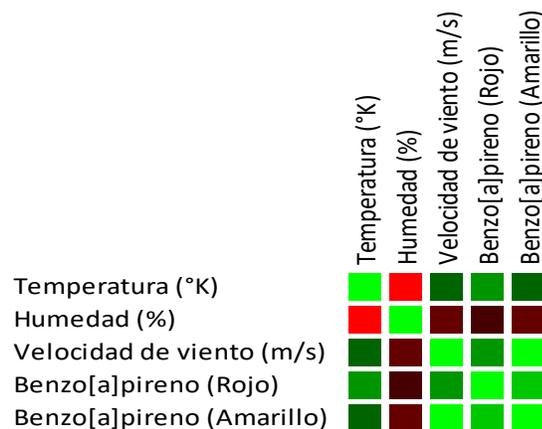
Correlograma Jornada de la mañana



Nota. Color verde directamente proporcional y color rojo inversamente proporcional.

Figura 5

Correlograma Jornada de la tarde



La temperatura tiene una correlación directamente proporcional con las concentraciones de BaP, porque la velocidad de reacción aumenta cuando hay una mayor temperatura, puesto que provoca más choques efectivos entre las moléculas reaccionantes, como consecuencia del incremento de la energía de las moléculas, influyendo en la liberación o formación de este compuesto. Asimismo, cuando las temperaturas descienden, las concentraciones de BaP disminuyen, lo cual conlleva una menor frecuencia de 'choques efectivos' entre las moléculas reaccionantes.

Por otro lado, la variable humedad con la concentración de BaP no tiene una correlación significativa. En el contexto específico de la combustión de leña de eucalipto, se ha observado que la cantidad de hidrocarburos policíclicos

aromáticos (HAPs) varía en función de la humedad. Sin embargo, al analizar los datos obtenidos en el presente estudio, se observa que los niveles de humedad no eran significativamente altos. Esto sugiere que, aunque la humedad puede influir en la concentración de BaP en casos específicos, no fue un factor influyente en el conjunto de datos examinado.

En cuanto a la velocidad del viento, se puede identificar que existe una correlación directamente proporcional con las concentraciones de BaP; sin embargo, no fue tan significativa como la temperatura. En nuestro lugar de muestreo, el flujo de viento se da en dirección contraria, debido a que este, en la ciudad de Pasto, se encuentra de sur oeste a norte en los meses de octubre a noviembre, lo cual influyó en que hubiera una menor velocidad de viento en la cocina, produciendo un estancamiento de partículas en la misma, proporcionando una menor dispersión de estas y, generando mayores concentraciones de B[a]P.

### Conclusión

Los hallazgos indican que las variables ambientales, incluyendo temperatura, humedad y velocidad del viento, ejercen una influencia significativa en las concentraciones de BaP durante la combustión de leña de eucalipto. Se destaca la importancia crucial de la temperatura, directamente correlacionada con la formación del contaminante, provocando un aumento en sus concentraciones a temperaturas elevadas. La velocidad del viento desempeña un papel esencial, ya que una menor velocidad conduce a la retención de partículas de BaP en áreas elevadas de la cocina, generando concentraciones más altas. Aunque la humedad no se identifica como un factor determinante en general, su influencia se manifiesta en circunstancias específicas. Además, encontramos factores endógenos, como la humedad de la madera y, factores exógenos, como la temperatura de combustión, el flujo de aire y variables climatológicas, que deben ser considerados para una comprensión integral de este fenómeno.

### Referencias

- Mastandrea, C., Chichizola, C., Ludueña, B., Sánchez, H., Álvarez, H. y Gutiérrez, A. (2005). Hidrocarburos aromáticos policíclicos. Riesgos para la salud y marcadores biológicos. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 39(1), 27-36.
- Resolución 2254 de 2017. (2017, 01 de noviembre). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=82634>