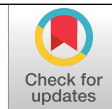


EFFECTO DEL SECADO CON COMBUSTIÓN DIRECTA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP) SOBRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GRANO DE CAFÉ

Laura Vanessa Quintero Yepes *, Nelson Rodríguez Valencia *, Aristóteles Ortiz **

Quintero-Yepes, L., Rodríguez-Valencia, N., & Ortiz, A. (2022). Efecto del secado con combustión directa de Gas Licuado de Petróleo (GLP) sobre la composición química del grano de café. *Revista Cenicafé*, 73(2), e73204. <https://doi.org/10.38141/10778/73204>



En el proceso de secado mecánico del café se emplea un intercambiador de calor para calentar el aire sin contaminar el grano de café con los gases generados durante la combustión. Sin embargo, si se utiliza Gas Licuado de Petróleo (GLP) como combustible para reducir los costos del proceso, los secadores se instalan sin intercambiador de calor, asumiendo que la combustión del GLP es una combustión limpia. No obstante, se desconoce si los gases de combustión generados contaminan el café. Teniendo en cuenta lo anterior, se evaluó el efecto del secado con combustión directa del GLP en la composición química del grano. Para ello se realizaron caracterizaciones cromatográficas al café sin pergamino, con el fin de determinar la presencia de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs). Como testigo, se obtuvieron muestras de café provenientes del proceso de secado utilizando resistencias eléctricas para calentar el aire de secado. De acuerdo con los resultados, no se detectó la presencia de HAPs en la mayoría de las muestras caracterizadas. En las muestras donde se presentaron estos compuestos, los valores estuvieron entre 0,08 y 4,1 $\mu\text{g kg}^{-1}$, valores que están por debajo de los límites máximos establecidos en el Reglamento de la Unión Europea, en el cual se permiten contenidos entre 5 y 50 $\mu\text{g kg}^{-1}$, dependiendo del tipo de alimento. En cuanto al análisis sensorial, ninguna de las muestras presentó defectos en taza, alcanzándose valores de un café comercial en escala de la Asociación de Cafés Especiales (SCA) entre 80,09 y 82,69 puntos sobre 100. Por lo tanto, se concluye que los caficultores podrían hacer uso de secadores sin intercambiador de calor, utilizando como combustible el GLP, si se tienen en cuenta las condiciones de operación dadas por el fabricante y los flujos de aire y combustible apropiados.

Palabras claves: Análisis sensorial, compuestos tóxicos, hidrocarburos aromáticos policíclicos, secado mecánico, Cenicafé, Colombia.

EFFECT OF DIRECT DRYING OF LIQUEFIED PETROLEUM GAS (LPG) ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF COFFEE BEANS

In the mechanical coffee drying process, a heat exchanger is used to heat the air without contaminating the coffee beans with combustion gases. However, if Liquefied Petroleum Gas (LPG) is used as fuel to reduce the costs of the process, the dryers are installed without a heat exchanger, assuming that the LPG combustion is clean, but it is unknown if the gases generated contaminate coffee. This is how the drying effect with direct LPG combustion on the chemical composition of the grain was evaluated. Chromatographic characterizations were performed on coffee without parchment in order to find the presence of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), and coffee samples were obtained from the drying process using electrical resistors to heat the drying air as control groups. PAHs were not found in most of the characterized samples, those with these compounds had values between 0.08 and 4.1 $\mu\text{g kg}^{-1}$, below the maximum limits established in the European Union Regulation, with acceptable values between 5 and 50 $\mu\text{g kg}^{-1}$, depending on the type of food. As for the sensory analysis, none of the samples showed cup defects, they had commercial coffee values between 80.09 and 82.69 points out of 100, on the scale of the Association of Special Coffees. In conclusion, coffee growers could use dryers without heat exchanger, using LPG as fuel, if they consider the operating conditions given by the manufacturer and the appropriate air and fuel flows.

Keywords: Sensory analysis, toxic compounds, polycyclic aromatic hydrocarbons, mechanical drying, Cenicafé, Colombia.

* Investigador Científico I e Investigador Científico III, respectivamente. Disciplina de Poscosecha, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-9982-7790> y <https://orcid.org/0000-0003-0897-4013>

** Investigador Científico I. Disciplina de Fisiología Vegetal, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-3242-1948>



En algunas regiones cafeteras las condiciones climáticas en la época de cosecha no son favorables para el secado solar del café, aún en pequeña escala, por la baja temperatura, la alta humedad relativa y el bajo brillo solar, dichas condiciones aumentan el tiempo de secado y a su vez afectan la calidad del producto. Por ello, se ha promovido el uso de secadores de baja capacidad (desde 94 kg de café pergamino seco, cps) como complemento al secado solar o como única alternativa (Oliveros et al., 2013).

El secado mecánico del café se hace en cámaras en la cuales se introduce aire caliente impulsado por un ventilador, el cual atraviesa la masa de café. Un secador mecánico consta de una, dos o tres cámaras con piso perforado, donde se deposita el café, un calentador del aire de tipo indirecto, un ventilador que entrega el caudal de aire para el secado del café y un dispositivo para el suministro de combustible (Oliveros et al., 2009).

En los secadores mecánicos de capa estática, el aire se calienta hasta una temperatura de 50°C y el tiempo para secar el café, hasta una humedad entre 10% y 12%, varía de 18 a 24 h. Para calentar el aire se utilizan diferentes combustibles (cisco de café, carbón mineral, combustible diésel o aceite combustible para motores [ACPM] y Gas Licuado de Petróleo [GLP]). Cuando se utilizan combustibles sólidos o líquidos se emplea un intercambiador de calor, el cual es un dispositivo donde se transfiere la energía térmica obtenida en la combustión, sin contaminar el aire de secado con los gases generados durante la misma (Oliveros et al., 2009).

Cuando se emplea GLP como combustible, usualmente, los secadores se instalan sin intercambiador de calor; sin embargo, por tratarse de un producto para el consumo humano, se recomienda evitar el contacto

directo de los gases de combustión con los granos de café (Roa et al., 2000), ya que se desconoce si estos gases de combustión contaminan el café con compuestos tóxicos para la salud humana.

El GLP es una mezcla de propano (C₃H₈), butano (C₄H₁₀), con proporciones menores de etano (C₂H₆), etileno (C₂H₄), propeno (C₃H₆), buteno (C₄H₈) y pentano (C₅H₁₂). Los compuestos del GLP pueden variar de acuerdo al clima donde es producido, pudiendo presentar altas concentraciones de propano y propeno en climas fríos, o de butano y buteno en climas cálidos. Sumado a esto, la composición química de este producto también depende de su fuente de obtención; puede obtenerse por rompimiento catalítico en refinerías de petróleo o por procesos de separación continua del gas natural; igualmente pueden presentar componentes químicos externos como resultado de contaminación por prácticas inadecuadas de almacenamiento y transporte (Gerena, 2017).

El GLP es un combustible más sencillo que la biomasa, desde el punto de vista molecular, y al tener un mayor poder calorífico que ésta, brinda una combustión más eficiente y limpia, con menos emisiones, que reduce el riesgo de intoxicación por formación de monóxido de carbono y de adquirir enfermedades respiratorias crónicas. Esta diferencia en la estructura molecular del GLP en comparación con la biomasa, radica principalmente en el número de carbonos, ya que el primero posee máximo cuatro, mientras que la madera está constituida por polímeros orgánicos complejos como la lignina, compuestos por 30, 50 o más átomos de carbono (Asociación Colombiana del GLP-GASNOVA, 2019).

La combustión es un conjunto de reacciones de oxidación con desprendimiento de calor que se produce entre dos elementos: el combustible,

que puede ser un sólido (carbón, madera, cisco, entre otros), un líquido (diésel, gasolina) o un gas (metano, propano, butano) y el comburente (oxígeno). La combustión puede ser completa, cuando las sustancias combustibles se queman hasta el máximo grado posible de oxidación, o incompleta, cuando el combustible no se oxida completamente y se forman sustancias que pueden seguir oxidándose, las cuales se denominan inquemados. Estas sustancias son los contaminantes más comunes que llegan a la atmósfera en los gases de combustión (Barrera, 2018).

Se ha comprobado que el contacto directo de semillas de aceite o cereales con productos de combustión durante los procedimientos de secado da lugar a la formación de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs), y por lo tanto debería evitarse. El Informe Conjunto del Comité de Expertos FAO-OMS sobre Aditivos Alimentarios (JECFA) recomienda que el contacto de alimentos con los gases de combustión se reduzca al mínimo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, & Organizació, 2009).

Los HAPs constituyen un conjunto de compuestos químicos formados por átomos de carbono (C) e hidrógeno (H) que contienen dos o más núcleos aromáticos; se encuentran de forma natural en el petróleo, el carbón, depósitos de alquitrán y como productos de la combustión. Como contaminantes, han despertado preocupación debido a que algunos compuestos han sido identificados como cancerígenos (AESAN, 2020). En general, son un grupo de más de 200 sustancias químicas diferentes; sin embargo, la regulación Europea ha seleccionado 17, los cuales tienen efectos cancerígenos: acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo[a]antraceno, benzo[a]pireno, benzo[e]pireno, benzo[b]fluoranteno, benzo[g,h,i]perileno, benzo[j]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, criseno, dibenzo[a,h]

antraceno, fluoranteno, fluoreno, indeno[1,2,3-c,d]pireno, fenantreno y pireno. El Reglamento (UE) N° 835/2011 y El Reglamento (UE) 2020/1255 de la Comisión Europea, establecen valores permisibles para el benzo(a) pireno entre 1 y 10 $\mu\text{g kg}^{-1}$ para diferentes alimentos; sin embargo, el café no se contempla en esta normativa. Como referencia se toman los valores permisibles para cacao, que se encuentran entre 5 y 10 $\mu\text{g kg}^{-1}$, valores por debajo de 5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ están estipulados para alimentos de consumo infantil y algunos alimentos de consumo directo, lo cual no aplica para el café (UE, 2020; UE, 2012).

Existen pocos datos relacionados con la contaminación del café con HAPs, los estudios que se encuentran están enfocados en la determinación de este tipo de sustancias químicas en el proceso de tostado (Roudbari et al., 2021; Ciecierska et al., 2019), pero no se encuentran datos relacionados con la presencia de estas sustancias en el proceso de secado con combustión directa de GLP. Por estas razones, este trabajo de investigación tuvo como propósito determinar el efecto del secado con combustión directa de gas licuado de petróleo sobre la composición química del grano de café y su calidad en taza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se desarrolló en la Unidad de Beneficio de Semilla de Cenicafé (Manizales, Caldas), se tuvo como unidad experimental 12 kg de café lavado, obtenido a partir del proceso de beneficio recomendado por Cenicafé para el café comercial (Sanz-Uribe et al., 2013) y se utilizó café proveniente de la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas). El secado se realizó en un equipo mecánico de capa estática sin intercambiador de calor, utilizando como fuente de energía calórica la combustión de GLP, calentando el aire hasta una temperatura de $50\pm 1^\circ\text{C}$. Se tuvo como

testigo, café pergamino seco obtenido con secado mecánico utilizando resistencias eléctricas, dado que es la alternativa que se le puede dar al productor de café para que adapte los secadores que utilizan GLP. Los procesos de secado se detuvieron cuando el café llegó a una humedad entre el 10% y 12% (en base húmeda).

El efecto de los procesos de secado con GLP (tratamientos), se evaluó bajo el diseño experimental completamente aleatorio, con diez unidades experimentales, con las cuales la potencia de la prueba en los compuestos de interés (hidrocarburos aromáticos) que presentaron diferencias con respecto al testigo fue mayor del 90% y en los compuestos que no presentaron diferencias, el error tipo II, fue menor al 2%, de acuerdo a los análisis realizados en la investigación.

Previo al diseño anterior, se realizó una caracterización por cromatografía de gases con detector selectivo de masas (CG-MS), al gas utilizado en el proceso de secado (GLP) y a los gases de combustión generados, con el fin de identificar posibles compuestos tóxicos para la salud humana que pudieran ser absorbidos por el grano de café y tenerlos en cuenta en las caracterizaciones posteriores. De igual forma, para evaluar el comportamiento del secado a una condición extrema, se simuló la combustión incompleta del gas (Figura 1) lo cual se evidenció en el color amarillo de la llama. Lo anterior se logra por el exceso de combustible en el proceso, la prueba se realizó bajo estas condiciones con el fin de determinar el efecto de este tipo de combustión (condición extrema) sobre la composición química del grano sin pergamino. En total, se realizaron tres evaluaciones. La determinación de HAPs en la muestras de café sin pergamino se realizó por parte de un laboratorio externo.

Una vez realizadas las evaluaciones de secado bajo la condición de combustión

incompleta, se procedió a realizar la evaluación de acuerdo al diseño experimental establecido, que consistió en realizar el proceso de secado bajo las condiciones de operación dadas por el fabricante, utilizando los flujos de aire y combustible que permitieran una combustión bajo condiciones adecuadas que se caracteriza por la presencia de una llama de color azul (Figura 2). Para esta condición, se realizó una caracterización por cromatografía de gases (cromatógrafo HP6890) con detector selectivo de masas (HPMS7953) a cada una de las unidades experimentales de cada tratamiento, con el fin de obtener el porcentaje presente de hidrocarburos aromáticos e hidrocarburos aromáticos policíclicos (variable respuesta). Tres de estas muestras fueron enviadas a un laboratorio externo para determinar la presencia de HAPs y contrastar los resultados con los obtenidos en Cenicafé. Las muestras enviadas al laboratorio externo se caracterizaron mediante dos métodos diferentes: extracción en fase sólida (SPE) con un nivel de detección hasta $10 \mu\text{g kg}^{-1}$ y microextracción en fase sólida (SPME) con un nivel de detección hasta 80 ng kg^{-1} .

Adicionalmente, se determinó la calidad en taza (variable complementaria) del café procesado en cada una de las condiciones (combustión directa del GLP y secado mecánico con resistencias eléctricas), utilizando la metodología establecida por el panel de catación de Cenicafé.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los gases de combustión y del aire de secado

Se realizó la toma de muestras al gas proveniente del cilindro que se utilizó en las pruebas y al aire de secado conteniendo los gases de combustión (Figura 3).



Figura 1. Apariencia de la llama en las pruebas de secado realizadas con combustión incompleta del GLP.



Figura 2. Apariencia de la llama en las pruebas de secado realizadas con combustión, bajo condiciones adecuadas, del GLP.



Figura 3. Toma de muestras al gas (GLP) utilizado y al aire de secado conteniendo los gases de combustión.

En la Figura 4 se describe la cromatografía obtenida en el análisis de las muestras GLP. Los cromatogramas fueron normalizados para obtener el área bajo la curva y, por lo tanto, la distribución porcentual de cada uno de los compuestos identificados. En las Figuras 5 y 6 se presenta la distribución porcentual de los compuestos encontrados, tanto en el gas utilizado como en los gases de combustión presentes en el aire de secado, cuando se realizó el proceso de combustión

bajo condiciones adecuadas. Como se observa en la Figura 5, el GLP utilizado en las pruebas estuvo compuesto principalmente por butano (49%) y por 2-metil propeno (29%), siendo el contenido de propano solamente del 3,68%, lo que confirma lo reportado en la literatura que indica que la composición de los cilindros de GLP es variable y depende de la zona del país donde se comercializan y del método de extracción utilizado.

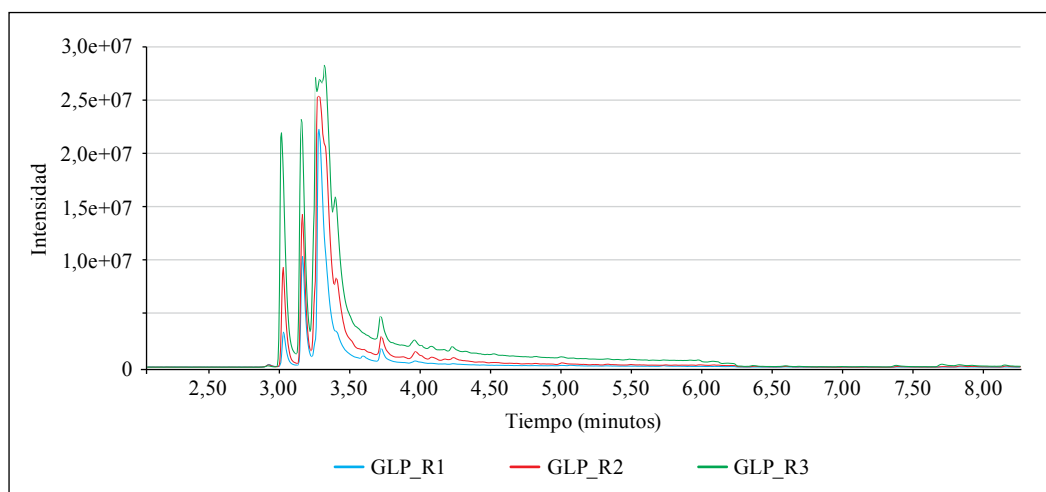


Figura 4. Cromatograma para las muestras de GLP.

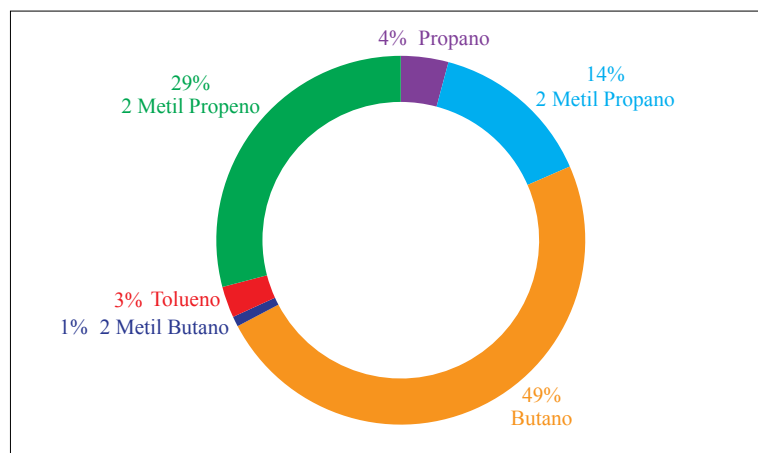


Figura 5. Distribución porcentual promedio de los compuestos encontrados en el GLP.

En la Figura 6, el contenido de gases de combustión, cuando se realiza una combustión bajo condiciones adecuadas, presentes en el aire de secado, se encontró que el butano fue el compuesto predominante (3,68%) y se registró un porcentaje de tolueno del 0,01% (compuesto tóxico para la salud humana), por lo que fue necesario determinar su presencia en los granos de café sin pergamino.

Proceso de secado con combustión incompleta del GLP

Cuando se realizó el proceso de secado con combustión incompleta (condición extrema), el café pergamino y las almendras obtenidas se tornaron negros (Figura 7).

De acuerdo a las caracterizaciones realizadas mediante extracción en fase sólida (SPE), no se evidenció la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos en los granos de café. Por ello se realizó la caracterización de las muestras bajo la técnica de microextracción en fase sólida (SPME), con el fin de determinar la presencia de estos compuestos a concentraciones más bajas. En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos en la caracterización.

Según los resultados bajo las condiciones establecidas en esta primera prueba, no se encontró la presencia de HAPs en los granos de café sin pergamino, en ninguno de los dos métodos de caracterización utilizados. En algunas muestras se reportó un valor inferior al límite de detección $0,08 \mu\text{g kg}^{-1}$, que está por debajo de los límites máximos permisibles en alimentos según el Reglamento (UE) N° 835/2011 y el Reglamento (UE) 2020/1255 de la Comisión Europea, que establecen valores entre 5 y $50 \mu\text{g kg}^{-1}$, dependiendo el tipo de alimento (para café no están regulados este tipo de compuestos), y valores menores a $5 \mu\text{g kg}^{-1}$ hacen referencia a alimentos de consumo infantil o de consumo directo (UE, 2020).

En esta primera etapa de la investigación se determinó que, cuando hay procesos de combustión incompleta en el proceso de secado, utilizando GLP como combustible, no hay presencia de HAPs en el café sin pergamino; sin embargo, se presenta una afectación en la calidad física (café pergamino y sin pergamino negro). Por lo tanto, no es apropiado que esta condición se presente cuando se está realizando el proceso de secado con GLP ya que se disminuye el precio de venta y podría afectar la calidad en taza.

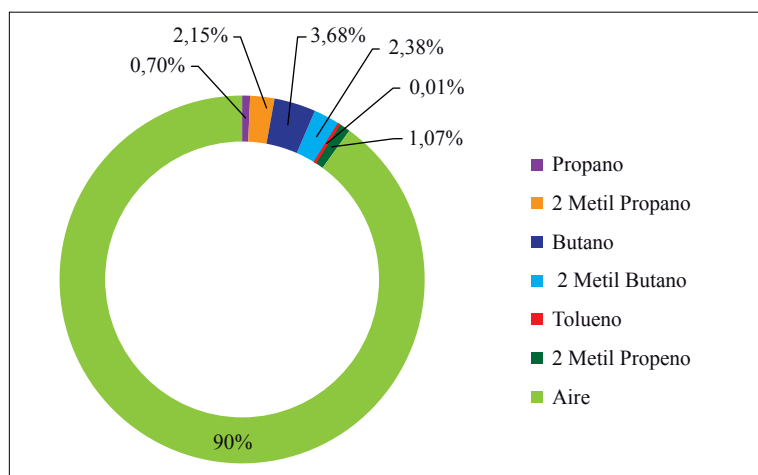


Figura 6. Distribución porcentual promedio de los gases de combustión en los compuestos encontrados en el aire de secado cuando se realizó una combustión bajo condiciones adecuadas.



Figura 7. Apariencia del café pergamino seco y del café en almendra después de la prueba de secado con combustión incompleta.

Tabla 1. Caracterización de los HAPs presentes en el café sin pergamino, obtenidos en un proceso de secado con combustión incompleta mediante la técnica SPME.

Compuesto	Concentración ppt (ng kg ⁻¹)		
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
Naftaleno	0	<80	<80
Acenaftileno	<80	<80	<80
Fluoreno	<80	<80	<80
Fenantreno	<80	0	<80
Antraceno	0	0	0
Fluoranteno	0	0	0
Pireno	0	0	0

Proceso de secado con combustión bajo condiciones adecuadas

De igual forma que en la primera etapa de la investigación (combustión incompleta) se realizó una caracterización inicial del café sin pergamino obtenido en el proceso, mediante

extracción en fase sólida (SPE); sin embargo, no se evidenció la presencia de HAPs. Teniendo en cuenta lo anterior, y con el fin de realizar una caracterización más precisa se realizó la caracterización de las muestras bajo la técnica de microextracción en fase sólida (SPME). En la Tabla 2 se presentan los resultados.

Tabla 2. Caracterización de los HAPs presentes en el café sin pergamino obtenidos en un proceso de secado con combustión bajo condiciones adecuadas mediante la técnica SPME.

Compuesto	Concentración ppt (ng kg ⁻¹)		
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
Naftaleno	<80	<80	<80
Acenaftileno	0	4.135	<80
Fluoreno	<80	850	<80
Fenantreno	0	0	0
Antraceno	0	0	0
Fluoranteno	0	0	0
Pireno	0	0	0

De acuerdo a los análisis realizados no se encontró presencia de HAPs en la mayoría de las muestras caracterizadas por el laboratorio externo; en las muestras donde se presentaron estos compuestos los valores estuvieron entre < 0,08 µg kg⁻¹ y 4,1 µg kg⁻¹ (solo en una muestra para el compuesto acenaftileno) valores que están por debajo de lo establecido en el Reglamento de la Unión Europea (entre 5 y 50 µg kg⁻¹ dependiendo el tipo de alimento) (UE, 2020).

En Cenicafé se realizó una caracterización por cromatografía de gases con detector selectivo de masas (CG-MS) a los granos de café sin pergamino obtenidos en el proceso de combustión adecuada, buscando un perfil cromatográfico con los principales compuestos presentes. De igual forma se compararon los compuestos obtenidos con los de un patrón de HAPs (EPA Method 8310 PAH Mixture) para identificar la presencia de estos hidrocarburos en las muestras. Dicho análisis se realizó tanto a las muestras provenientes del proceso de secado utilizando resistencias eléctricas (testigo), como a las muestras del proceso

de secado con combustión directa de GLP (Figura 8).

En la Figura 9 se presenta uno de los cromatogramas obtenidos en las caracterizaciones realizadas, al cual, una vez generado, se le realizó la parametrización para obtener el área bajo la curva, determinando los porcentajes de distribución de los compuestos encontrados en las muestras.

En la Tabla 3 se presentan los resultados de la distribución porcentual promedio y error de estimación de los compuestos encontrados, agrupados por grupo funcional, en las muestras de café provenientes de un proceso de secado con combustión adecuada del GLP y en las provenientes del secado utilizando resistencias eléctricas (testigo).

De acuerdo con los perfiles cromatográficos de las muestras analizadas, en total se identificaron 32 compuestos tanto en las muestras de café provenientes del secado con combustión del GLP como en las muestras del testigo, distribuidas en siete

grupos funcionales: alcohol, aldehído, ácido, cetona, éster, alcano e hidrocarburo aromático. Los porcentajes presentados en la tabla corresponden a la proporción del grupo funcional en los 32 compuestos identificados, y no a la composición total de los granos de café. Se encontró en mayor proporción el grupo de alcoholes (69,16% GLP y 70,69% testigo). Los porcentajes encontrados corresponden a la distribución normal de este tipo de

compuestos en muestras de café (Puerta, 2011; Peralta, 2011). En cuanto al grupo de los hidrocarburos aromáticos se encontró un porcentaje promedio del 0,53% en las muestras de café provenientes del secado con combustión directa del GLP y un 4,18% en las muestras del testigo, el mayor valor encontrado en éstas puede estar relacionado con malas prácticas en los procesos de cosecha y poscosecha del café.



Figura 8. Aspecto de las muestras de café analizadas mediante CG-MS.

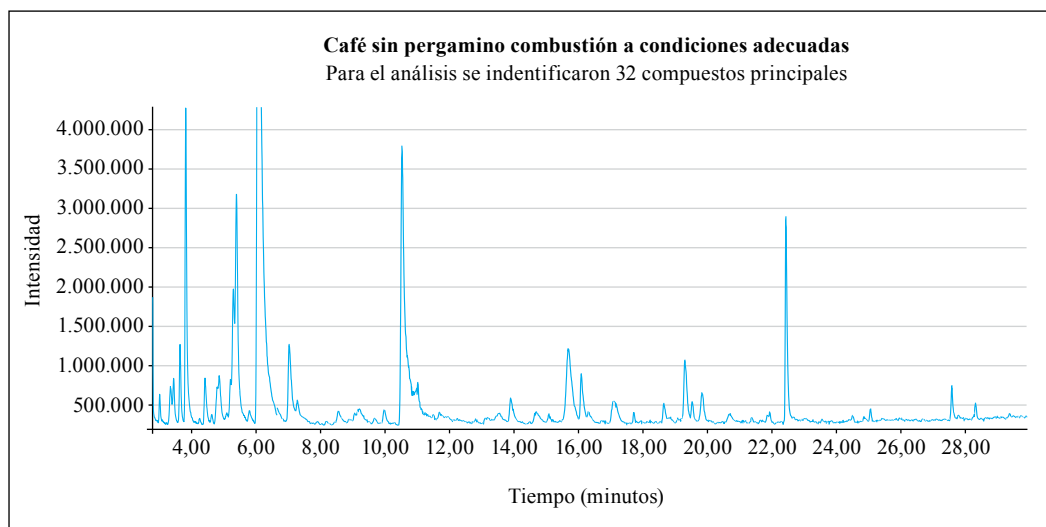


Figura 9. Cromatograma para una de las muestras de café sin pergamino (secado con GLP).

Tabla 3. Promedio y error de estimación del porcentaje de los grupos funcionales encontrados.

Grupo funcional	GLP		Testigo			
	Promedio (%)	Error estimación (%)	Promedio (%)	Error estimación (%)		
Ácido	8,16	a	3,19	2,88	b	0,47
Alcano	0,25	a	0,03	0,09	a	0,05
Alcohol	69,16	a	4,10	70,69	a	8,61
Aldehído	8,84	a	1,28	10,70	a	3,47
Cetona	9,12	a	0,62	9,78	a	3,33
Éster	3,95	a	1,30	1,69	b	0,41
Hidrocarburo Aromático	0,53	b	0,38	4,18	a	0,81

Para cada grupo funcional, letras no comunes indican diferencias estadísticamente significativas al 5%, según prueba Welch al 5%

Los mayores contenidos en ácidos y esteres presentes en las muestras secadas con GLP y que difieren estadísticamente de las muestras testigo pudieron estar relacionados con los tiempos de secado que fueron un poco mayores cuando se utilizó el gas licuado de petróleo. No obstante, los contenidos de estos grupos funcionales son bajos en ambas muestras pues sus porcentajes están relacionados con menos del 5% de la composición total del café evaluado.

En cuanto a los HAPs, no se encontró alguno de los 17 compuestos considerados como cancerígenos, ni en las muestras provenientes del secado con combustión directa del GLP ni en las muestras del testigo. No obstante, se detectaron otro tipo de hidrocarburos aromáticos, a bajas concentraciones (tolueno, dimetilbenceno, etilbenceno y dietilbenceno). En la Tabla 4 y en la Figura 10 se presentan los promedios de los porcentajes de los hidrocarburos aromáticos encontrados en las muestras provenientes del secado con combustión directa del GLP y en el testigo, y los errores de estimación.

De acuerdo con los resultados, en todos los casos y para todos los compuestos encontrados, se presentaron porcentajes en la distribución de los hidrocarburos aromáticos (tolueno, dimetilbenceno, etilbenceno y dietilbenceno) más altos en el testigo (secado con resistencias eléctricas) que en las muestras de café provenientes del secado con combustión directa del GLP. El compuesto que se obtuvo en mayor proporción en el secado con combustión directa del GLP fue el tolueno, con un porcentaje promedio de presencia del 0,17%, y para el testigo el compuesto predominante fue el 1,3 dimetil benceno, con un porcentaje promedio de 1,30%. Sin embargo, las cantidades encontradas en ambas condiciones fueron muy bajas, ya que los 32 compuestos encontrados representaron en su totalidad un porcentaje menor al 5% de la composición total del grano.

La presencia de los hidrocarburos aromáticos encontrados en las muestras de café está asociada a su presencia en fuentes externas (agua, aire o agroquímicos que hayan estado en contacto con el grano) o en otras etapas del proceso del

cultivo y beneficio. Considerando que los granos de café sin pergamino no son un alimento de consumo directo y que después de obtenerlos se someten a un proceso de tostión, en el cual estos compuestos se volatilizan (la temperatura de ebullición del tolueno es de 110,6°C y la del 1,3 dimetil benceno es de 144°C, inferiores a las temperaturas a las cuales se tuesta el café que están en el rango entre 185 y 240°C), se considera que las concentraciones encontradas no ponen en riesgo la salud de las personas que consuman el café.

Tanto para las muestras de café provenientes del secado con combustión directa del GLP como para las muestras procesadas mediante el uso de resistencias eléctricas, se realizó el análisis sensorial, de acuerdo con la metodología establecida por el panel de catación de Cenicafé. Los resultados se presentan en la Tabla 5.

De acuerdo con los resultados del análisis sensorial realizado tanto a las muestras de

café provenientes del secado con combustión directa del GLP como a las muestras del testigo, no se presentaron defectos en taza, con puntajes entre 80,09 y 82,69 de acuerdo a la escala de la Asociación de Cafés Especiales (Osorio, 2021).

Bajo las condiciones evaluadas y para el tipo de GLP utilizado en la investigación, la combustión directa del GLP como alternativa de secado no generó sustancias tóxicas en el grano de café (tomando como referencia la Normativa Europea UE, 2020) y no afectó la calidad física ni en taza, ya que los puntajes en la escala SCA estuvieron por encima de los 80 puntos y los porcentajes de almendra sana por encima del 75% (Osorio, 2021). Por lo tanto, los caficultores pueden utilizar secadores sin intercambiador de calor con GLP como combustible, siguiendo las recomendaciones y condiciones de operación determinadas por el fabricante y los flujos de aire y combustible apropiados.

Tabla 4. Promedio y error de estimación del porcentaje de hidrocarburos aromáticos identificados.

Compuesto	GLP			Testigo		
	Promedio (%)		Error estimación (%)	Promedio (%)		Error estimación (%)
1,2 dimetil benceno	0,05	b	0,05	0,81	a	0,26
1,3 dimetil benceno	0,12	b	0,14	1,30	a	0,29
1,4 dimetil benceno	0,03	b	0,03	0,23	a	0,09
Etil benceno	0,08	b	0,05	0,52	a	0,11
Dietilbenceno	0,07	b	0,09	0,77	a	0,26
Tolueno	0,17	b	0,05	0,55	a	0,14

Para cada compuesto, letras no comunes indican diferencias estadísticamente significativas al 5%, según prueba LSD al 5%

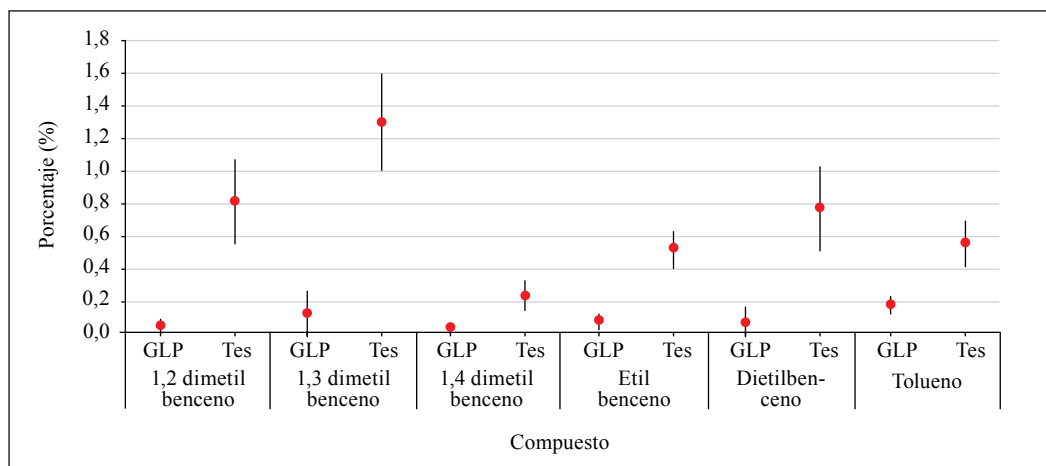


Figura 10. Distribución porcentual de los hidrocarburos aromáticos en los 32 compuestos encontrados tanto para el testigo como para GLP.

Tabla 5. Análisis sensorial de las muestras de café.

Muestra	Puntaje SCA	Taza
Combustión R1	80,75	Sin defecto
Combustión R2	80,38	Sin defecto
Combustión R3	80,09	Sin defecto
Combustión R4	80,70	Sin defecto
Combustión R5	80,40	Sin defecto
Combustión R6	81,10	Sin defecto
Combustión R7	82,10	Sin defecto
Combustión R8	81,19	Sin defecto
Combustión R9	81,63	Sin defecto
Combustión R10	81,31	Sin defecto
Testigo R1	81,44	Sin defecto
Testigo R2	81,56	Sin defecto
Testigo R3	81,31	Sin defecto
Testigo R4	80,69	Sin defecto
Testigo R5	80,94	Sin defecto
Testigo R6	81,31	Sin defecto
Testigo R7	81,10	Sin defecto
Testigo R8	82,69	Sin defecto
Testigo R9	81,81	Sin defecto
Testigo R10	81,75	Sin defecto

AGRADECIMIENTOS

A los auxiliares Samuel Castañeda, Javier Velázquez y al Ing. Jhon Félix Trejos por su apoyo en la ejecución de la investigación. A los doctores Juan Rodrigo

Sanz, Aída Peñuela y a la Disciplina de Biometría por el apoyo en el análisis de los resultados. Al panel de catación de Cenicafé por el apoyo en el análisis sensorial de las muestras de café. Fuente de financiación: recursos propios, POS103007.

LITERATURA CITADA

- Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. (2020). Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) (Seguridad Alimentaria, p. 6) [Ficha técnica]. Ministerio de Consumo de España. https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/HAPs_ficha_SEPT_2020.pdf
- Asociación Colombiana del GLP-GASNOVA. (2019). Informe del sector del GLP 2019. <http://www.gasnova.co/wp-content/uploads/2019/08/INFORME-DEL-SECTOR-DEL-GLP-2019.pdf>
- Barrera Puigdollers, M. C., Castelló Gómez, M. L., Betoret Valls, N., & Pérez Esteve, E. (2018). Principios Básicos de la Combustión (Tecnología de la alimentación) [Publicación Docente]. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/103833>
- Ciecierska, M., Derewiaka, D., Kowalska, J., Majewska, E., Drużyńska, B., & Wołosiak, R. (2019). Effect of mild roasting on Arabica and Robusta coffee beans contamination with polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 737–745. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3532-0>
- Gerena Romero, M. A. (2017). Retos y oportunidades del gas licuado de petróleo (GLP) como fuente alternativa de energía del parque automotor en Colombia [Tesis de especialización, Universidad Militar Nueva Granada]. <http://hdl.handle.net/10654/16739>
- Oliveros, C. E., Ramírez, C. A., Sanz-Uribe, J. R., Peñuela-Martínez, A. E., & Pabón, J. (2013). Secado solar y secado mecánico del café. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura (Vol. 3, pp. 49–80). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_29
- Oliveros, C. E., Sanz, J. R., Ramírez, C. A., & Peñuela-Martínez, A. E. (2009). Aprovechamiento eficiente de la energía en el secado mecánico del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 380, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0380>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, & Organización Mundial de la Salud. (2009). Código de prácticas para reducir la contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en los alimentos producidos por procedimientos de ahumado y secado directo (CAC/RCP 68-2009; Codex Alimentarius). FAO. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/codes-of-practice/es/>
- Osorio, V. (2021). La calidad del Café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, Guía más agronomía, más productividad, más calidad (3a ed., pp. 219–234). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0014_12
- Peralta, A. (2011). Revisión del estudio de volátiles en café (*Coffea arabica*) por microextracción en fase sólida. *Alimentos Hoy*, 19(19), 39–46. <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/download/55/53>
- Puerta, G. I. (2011). Composición química de una taza de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 414, 1–12. <https://doi.org/10.38141/10779/0380>
- Sanz-Uribe, J. R., Oliveros Tascón, C. E., Ramírez, C. A., Peñuela-Martínez, A. E., & Ramos Giraldo, P. J. (2013). Proceso de beneficio. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura (Vol. 3, pp. 09–47). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_28
- Roa, G., Oliveros, C. E., Parra, A., & Ramírez, C. A. (2000). El secado mecánico del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 282, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0282>
- Roudbari, A., Rafiei Nazari, R., Shariatfar, N., Moazzen, M., Abdolshahi, A., Mirzamohammadi, S., Madani-Tonekaboni, M., Delvarianzadeh, M., & Arabameri, M. (2021). Concentration and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in commercial tea and coffee samples marketed in Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(4), 4827–4839. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10794-0>
- Unión Europea. (2020). Reglamento (UE) 2020/1255 de la Comisión de 7 de septiembre de 2020 por el que se modifica el Reglamento (CE) n° 1881/2006 en lo que respecta al contenido máximo de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en la carne y los productos cárnicos ahumados del modo tradicional y en el pescado y los productos de la pesca ahumados del modo tradicional, y se establece un contenido máximo de HAP en los polvos de alimentos de origen vegetal utilizados para la preparación de bebidas. <http://data.europa.eu/eli/reg/2020/1255/oj>
- Unión Europea. (2012). Reglamento (UE) n° 835/2011 de la Comisión, de 19 de agosto de 2011, que modifica el Reglamento (CE) n° 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de hidrocarburos aromáticos policíclicos en los productos alimenticios. <http://data.europa.eu/eli/reg/2011/835/oj>