

VALORIZACIÓN DE LA BORRA DEL CAFÉ: PRODUCCIÓN DE BIODIESEL Y 5-HIDROXIMETILFURFURAL/FURFURAL

A. M. Pérez-Merchán¹, I. Malpartida-García², J.A. Cecilia¹, R. Moreno-Tost¹, P. Maireles-Torres¹

¹Departamento de Química Inorgánica, Cristalografía y Mineralogía (Unidad Asociada al ICP-CSIC), Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga, Campus de Teatinos, 29071 Málaga, España

²Deasyl, S.A., Plan-les-Ouates, Geneva, Switzerland
a.perez@deasyl.ch

Introducción

La valorización de residuos en productos químicos de alto valor añadido, dentro del contexto de la Economía Circular, se está impulsando debido a la creciente escasez de los limitados recursos fósiles y al calentamiento global. Para ello, se requiere el desarrollo de tecnologías sostenibles que permitan la transformación de estos residuos, principalmente de origen biomásico, en biocombustibles y productos químicos.

La borra del café (Spent Coffee Grounds, SCG) es uno de los residuos con mayor generación, tanto procedente del grano entero o molido como del café soluble. Los diferentes componentes del café usado pueden separarse y posteriormente valorizarse en presencia de catalizadores heterogéneos y homogéneos.¹

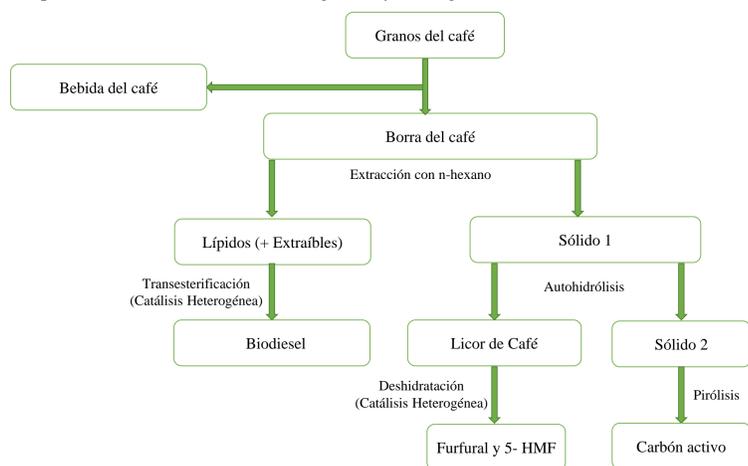


Figura 1. Esquema general de la valorización de la borra de café

En este trabajo se exponen los resultados obtenidos en la obtención de biodiésel a partir de los lípidos extraídos de los SCG, en presencia de digliceróxido cálcico como catalizador heterogéneo básico, así como en la obtención de licores de azúcares por hidrólisis ácida con ácido sulfúrico, y la transformación del residuo sólido en carbón activo de alta superficie.

Resultados



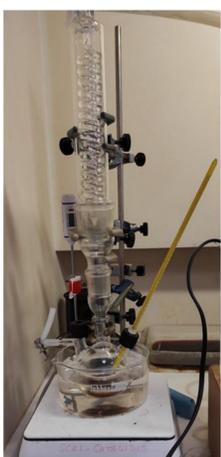
La extracción de lípidos se realizó mediante mecanoquímica modificando diferentes parámetros experimentales (Tabla 1), y se comparó con la extracción en Soxhlet (Tabla 2).

Tabla 1. Optimización de la extracción de lípidos (+extraíbles) mediante mecanoquímica.

Condiciones	% Extracción	Condiciones	% Extracción
1h ; 25°C ; 0,5 mm	5,74	2h ; 25°C ; 0,5 mm	8,45
1h ; 25°C ; 1 mm	7,24	2h ; 25°C ; 1 mm	8,44
1h ; 40°C ; 0,5 mm	7,33	2h ; 40°C ; 0,5 mm	10,09
1h ; 40°C ; 1 mm	8,13	2h ; 40°C ; 1 mm	9,69
1h ; 55°C ; 0,5 mm	8,96	2h ; 55°C ; 0,5 mm	10,43
1h ; 55°C ; 1 mm	9,11	2h ; 55°C ; 1 mm	9,83
Método/Condiciones	% Extracción	Relación SCG : n - hexano	
Mecanoquímica/1h ; 55°C ; 1 mm	10,74	1:10	
Mecanoquímica/1h ; 55°C ; 1 mm	8,12	1:08	
Soxhlet / 1h ; 69°C	9,57	1:10	

Tabla 2. Condiciones y porcentaje de extracción con Soxhlet

Muestra	Peso (g)	Disolvente (L)	% Extraíbles y Lípidos	%Lípidos
Borra del Café	30	0,3	15	7



Los lípidos se analizaron mediante cromatografía de gases identificándose los ácidos grasos recogidos en la Figura 2.

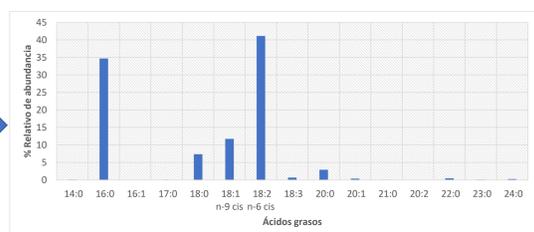


Figura 2. Porcentaje de los diferentes tipos de ácidos grasos.

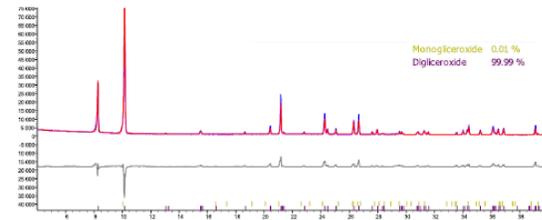


Figura 3. Difractograma de Rayos X del digliceróxido cálcico.

La reacción de transesterificación² se realizó en presencia de digliceróxido de calcio (Tabla 3), cuyo difractograma de rayos X se presenta en la Figura 3.

Tabla 3. Condiciones de transesterificación

Condiciones	
Temperatura (°C)	60
Tiempo (h)	2
Lípidos : Metanol	1:12
Ca(C ₂ H ₃ O ₂) ₂ wt. %	2

Tabla 4. Porcentaje de contribución de cada éster-metilico y rendimiento.

Lípido	C14:0	C15:0	C16:0	C18:0	C18:1n9t
Área %	0,09	0,03	29,83	6,09	0,02
Lípido	C18:1n9c	C18:2n6C	C18:3n3	C20:0	C20:1
Área %	13,06	45,45	0,75	1,98	0,45
Total	98,35				

El sólido 1 contiene celulosa, hemicelulosa, lignina y una baja proporción de proteínas. Este se ha sometido a un proceso de hidrólisis para fragmentar la fracción hemicelulósica y obtener licores con los monosacáridos presentes, que se analizaron por HPLC (Tabla 5).

Para realizar un estudio mas exhaustivo, algunas muestras se sometieron a un pre-tratamiento mecanoquímico.

Tabla 5. Obtención de azúcares a partir de los SCG

Condiciones	SCG 1	SCG 2	SCG 3	SCG 4	SCG 5	SCG 6	SCG 7	SCG 8	SCG 9
Temperatura (°C)	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Tiempo (h)	1	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
SCG : Agua	1:10	1:10 (0,4 % H ₂ SO ₄)	1:10 (0,4 % H ₂ SO ₄)	1:10	1:10	1:12,5	1:12,5	1:12,5	1:12,5
g Azúcares / g SCG	0,010	0,210	0,130	0,003	0,006	0,002	0,007	0,013	0,007
Pretratamiento mecanoquímico	-	-	-	0,5 h 25°C	4 h 25°C	0,5 h 40 °C	4 h 40 °C	0,5 h 55°C	4 h 55 °C

Se realizaron pruebas para la producción de furfural y 5-HMF a partir del licor SCG 1 dando resultados bastante positivos, aunque se requiere llevar a cabo dicho proceso a partir del licor con mayor porcentaje de azúcares .

Por otro lado el sólido 2, que contiene en su mayoría la fracción lignocelulósica, se piroliza 900°C durante 2 horas, después de activarse con KOH, en atmósfera de nitrógeno. Su isoterma de adsorción-desorción de nitrógeno y los datos texturales se exponen en la Figura 5 y Tabla 6, respectivamente.

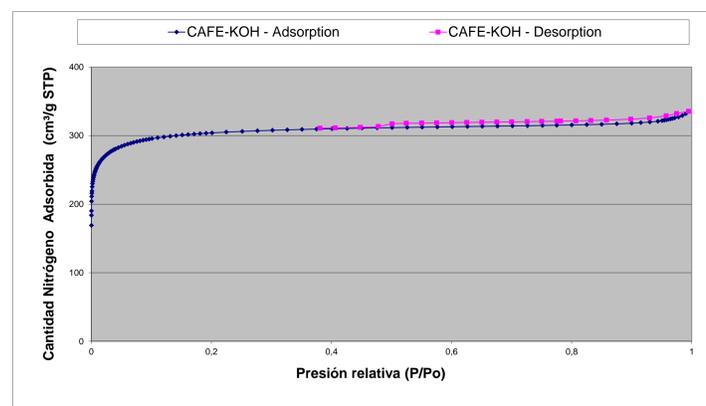


Figura 5. Isotermas de adsorción-desorción de N₂ a -196 °C del residuo sólido pirolizado en presencia de KOH

Tabla 6. Datos texturales de los carbones activos obtenidos mediante pirólisis del residuo sólido de la borra del café, después de extracción.

Muestra	S _t	S _p	S _{ext}	V _p	Diámetro medio poros
	(m ² g ⁻¹)	(m ² g ⁻¹)	(m ² g ⁻¹)	(cm ³ g ⁻¹)	P/P0= 0,943
Café KOH	1359	1330	29	0,496	0,62

Conclusión

En este trabajo se ha demostrado que es posible valorizar de forma integral la borra de café (SCG):

- 1) Se ha optimizado el proceso de extracción de lípidos mediante mecanoquímica obteniendo buenos resultados en tan solo 1 hora de tratamiento.
- 2) La producción de biodiésel mediante catálisis heterogénea alcanzó un 98,35 % de rendimiento, aunque se requiere la optimización de las condiciones experimentales.
- 3) La hidrólisis de la fracción hemicelulósica en medio débilmente ácido permitió obtener licores de azúcares, que pueden deshidratarse para producir furfural y 5-HMF.
- 4) El carbón activo producido presentaba excelentes propiedades texturales y podría usarse para catálisis y otras aplicaciones.

Referencias

1. Malpartida, I., Maireles Torres, P., Vereda, C., Rodríguez Maroto, J.M., Halloumi, S., Lair, V., Thiel, J. y Lacoste, F., 2020. Semi-continuous mechanochemical process for biodiesel production under heterogeneous catalysis using calcium diglyceroxide. *Renewable Energy*, vol. 159, pp. 117–126. ISSN 18790682. DOI 10.1016/j.renene.2020.05.020.
2. Ballesteros, L.F., Teixeira, J.A. y Mussatto, S.I., 2014. Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin. *Food and Bioprocess Technology*, vol. 7, no. 12, pp. 3493–3503. ISSN 19355149. DOI 10.1007/s11947-014-1349-z.

Agradecimientos

Se agradece al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (RTI2018-094918-B-C44), a la Unión Europea (Fondos Feder: UMA18-FEDERJA-171) y a la Universidad de Málaga por su financiación. A.M. Perez Merchan agradece a Deasyl su contrato predoctoral.