

1. INTRODUCCIÓN

El corcho, obtenido de la corteza del alcornoque (*Quercus suber* L.), es un recurso natural, renovable y biodegradable típico de la región mediterránea. Su extracción periódica, sin necesidad de talar los árboles, constituye una actividad sostenible que aporta beneficios ambientales, económicos y sociales a las comunidades rurales. Aunque la principal aplicación del corcho es la fabricación de tapones para la industria vinícola, el proceso industrial genera una cantidad significativa de residuos sólidos.

La valorización de estos subproductos como biocombustibles representa una alternativa sostenible para su aprovechamiento energético. En este estudio se caracterizaron tres muestras de residuos de la industria corchera, seleccionadas y clasificadas según su densidad aparente, con el objetivo de evaluar su potencial como biocombustibles sólidos. Los ensayos propuestos para la caracterización fueron: humedad, análisis inmediato y elemental y poder calorífico superior. Además, se llevó a cabo un estudio energético del proceso de combustión mediante análisis termogravimétrico (TG), curva de termogravimetría diferencial (DTG) e índices de pirólisis y combustión.

2. METODOLOGÍA

Recogida y preparación de muestras

Los subproductos de corcho empelados pertenecen a diferentes etapas de la fabricación de tapones: CDB, CDM, CDA (en orden creciente de densidad). Las muestras fueron trituradas y tamizadas hasta conseguir una granulometría inferior a 0,4 mm.

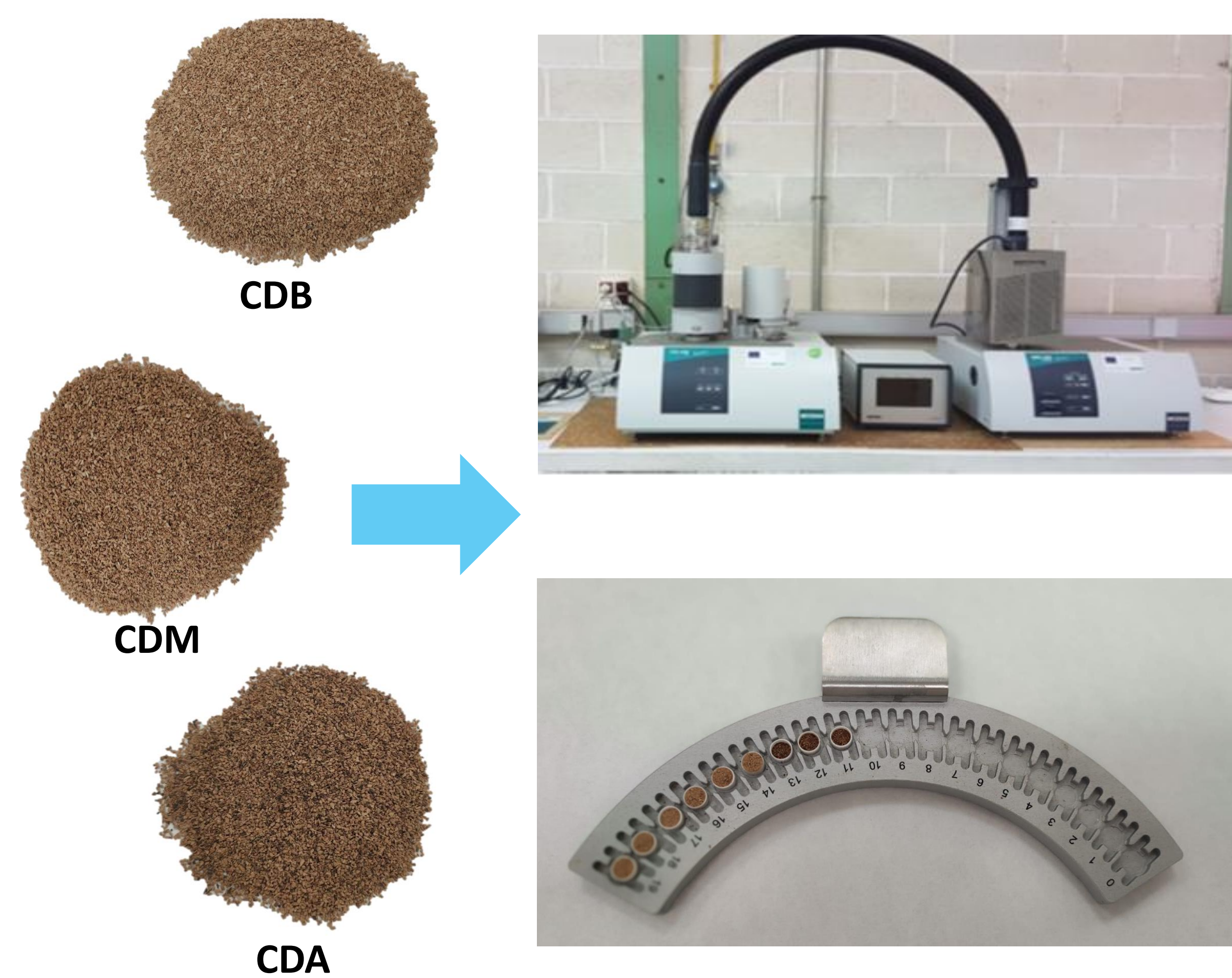
Análisis inmediato y elemental y poder calorífico superior

La humedad, el análisis inmediato (% de materia volátil, % de cenizas, % de carbono fijo), el análisis elemental (% de C, H, N, S) y el poder calorífico superior (PCS) se determinaron de acuerdo con la norma correspondiente sobre biocombustibles.

Análisis TG

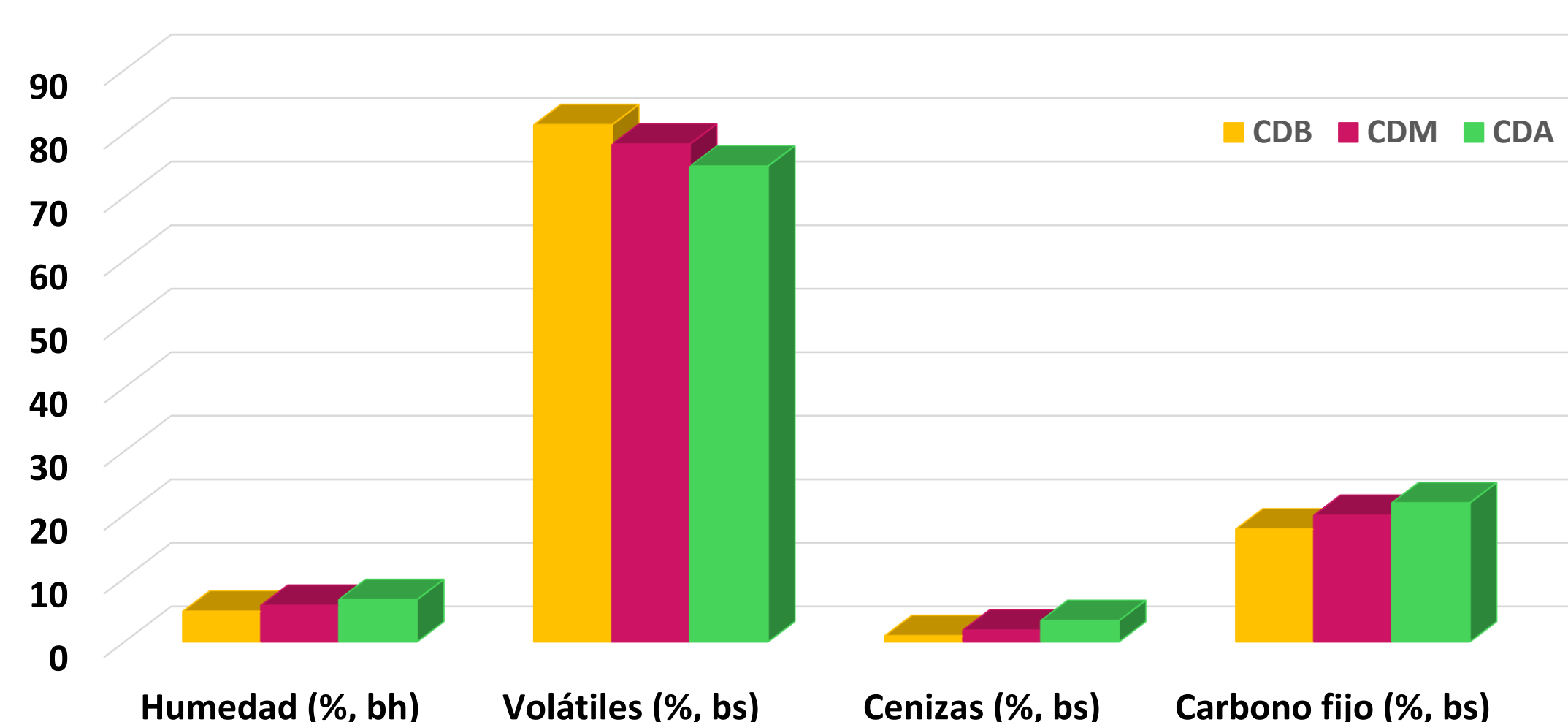
El análisis termogravimétrico (TG) se llevó a cabo utilizando una termobalanza (NETZSCH STA 449F5). Se analizaron diferentes muestras de cada subproducto a temperaturas comprendidas entre 30 y 900 °C con una velocidad de calentamiento de 20 °C/min en atmósfera de aire (80/20) y un flujo de gas de 50 ml/min.

La curva de termogravimetría diferencial (DTG) se calculó como la primera derivada de la curva TG. Para determinar los diferentes eventos de temperatura, se aplicó el método de la tangente [1].



3. RESULTADOS

Humedad y análisis inmediato

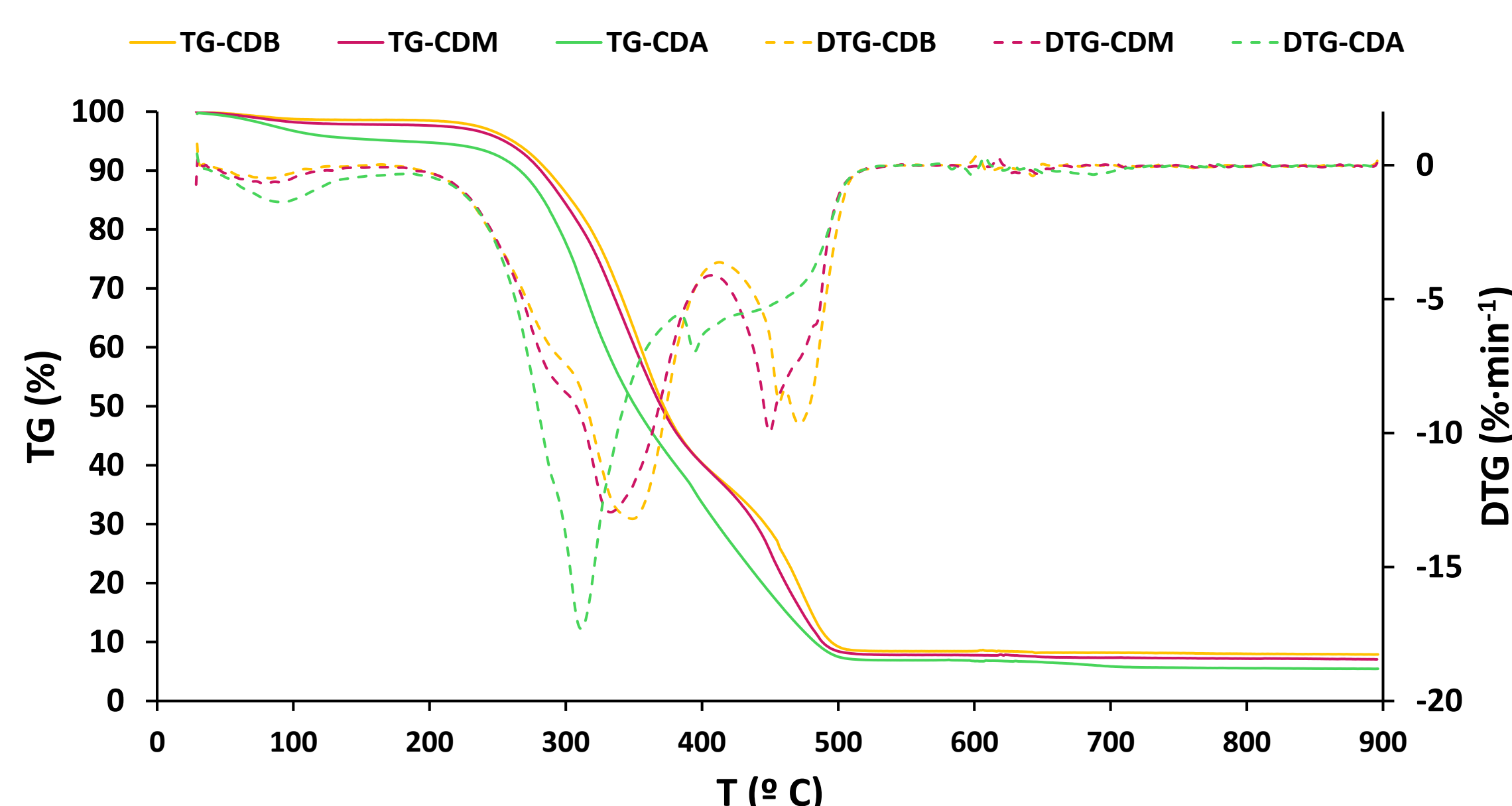


Los residuos analizados presentan un contenido de humedad reducido en todas las fracciones (4,79–6,62 %), lo que favorece su utilización directa como biocombustible al no requerir etapas adicionales de secado. En relación con el contenido en volátiles, se aprecia una tendencia decreciente desde CDB hasta CDA (81,35–74,84 %). El contenido de cenizas, por el contrario, aumenta progresivamente, posiblemente asociado a una mayor proporción de partículas leñosas. Finalmente, el carbono fijo experimenta un incremento claro con la densidad (17,72–21,84 %).

Muestra	Análisis elemental (% bs)				PCS (MJ/kg, bs)
	C	N	H	S	
CDB	60,90	0,729	7,88	0,013	27,38
CDM	58,70	0,664	7,48	0,012	25,25
CDA	53,90	0,807	6,44	0,020	21,97

El contenido en C, disminuye progresivamente con la densidad, este comportamiento está alineado con los valores de PCS. En cuanto a los contenidos de N y S, su estudio es importante debido a las posibles emisiones de NO_x y SO₂. En el caso del nitrógeno, los valores presentados fueron inferiores al 0,807 %, mientras que los del azufre fueron inferiores al 0,02 %. Ambos dentro de los límites establecidos por la norma [2].

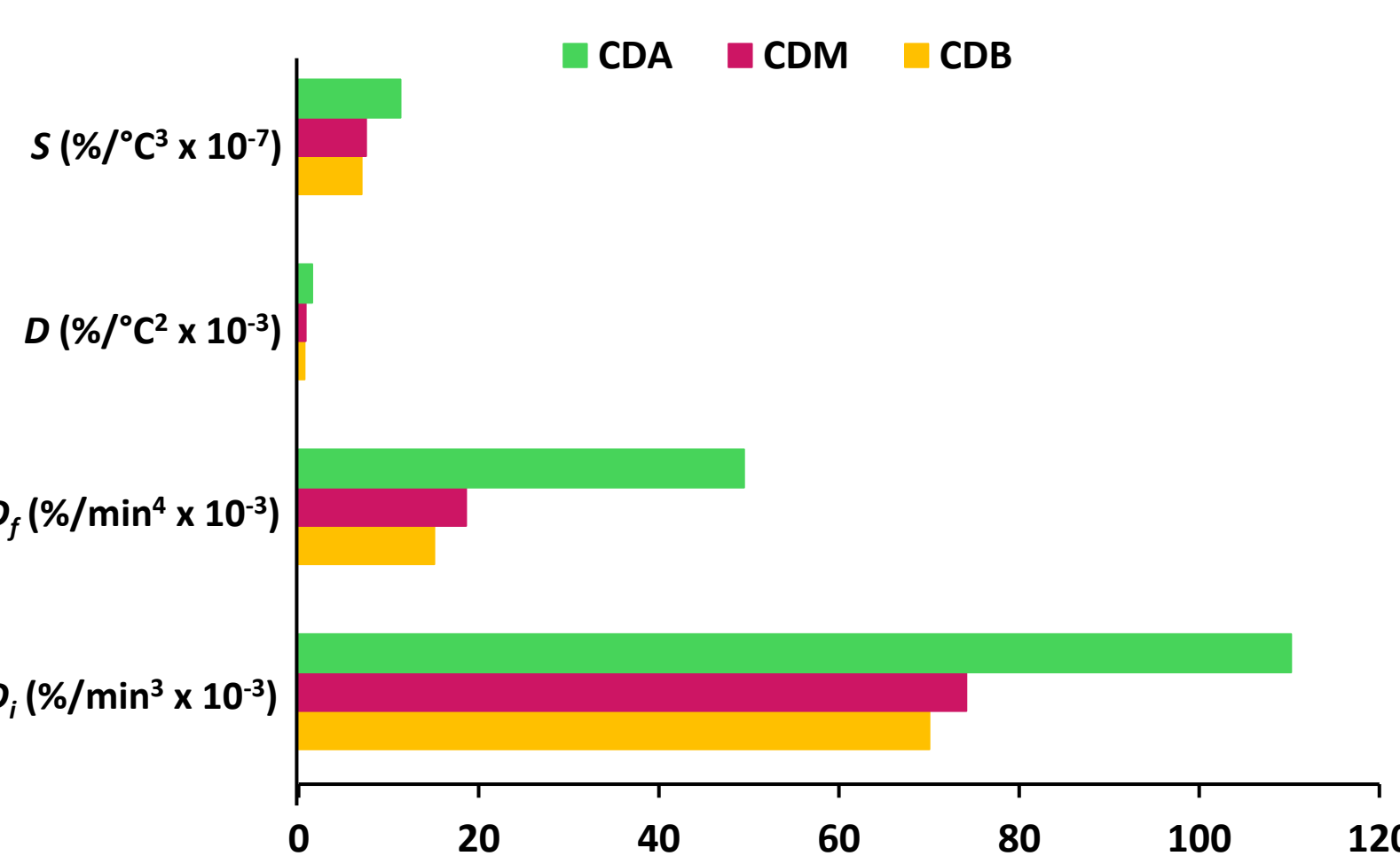
TG/DTG Combustión



Los parámetros de combustión obtenidos evidencian que el comportamiento térmico de las muestras de corcho está fuertemente influenciado por su densidad. En orden creciente de densidad (CDB < CDM < CDA), se observa una disminución progresiva en las temperaturas características (T_i), (T_p) y (T_f), acompañada por un incremento en las velocidades de pérdida de masa (DTG_{max} y DTG_{med}) y en los índices de combustión (D_i , D_p y D_s). Estos resultados indican que las muestras más densas presentan una mayor reactividad térmica y facilidad de ignición, alcanzando la combustión máxima a temperaturas más bajas y en intervalos de tiempo más cortos ($\Delta t_{1/2}$ reducido).

Parámetros de combustión	CDB	CDM	CDA
Temperatura ignición T_i (°C)	292,80	284,30	274,80
Temperatura pico T_p (°C)	349,10	332,90	311,30
Temperatura combustión T_f (°C)	492,40	488,00	483,40
DTG_{max} (%/min)	13,20	12,95	17,31
DTG_{med} (%/min)	2,24	2,28	2,39
Tiempo ignición t_i (min)	12,6	12,3	11,9
Tiempo pico t_p (min)	14,9	14,2	13,2
Tiempo combustión t_f (min)	22,6	22,3	22,1
$\Delta t_{1/2}$ (min)	2,6	2,2	1,2
Masa residual (%)	7,89	7,07	5,46

Índices de combustión



4. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos evidencian que el comportamiento como biocombustible de las muestras de corcho está fuertemente influenciado por su densidad.
- Los residuos de la industria corchera presentan buena calidad como biocombustibles sólidos, apoyados por su bajo contenido de humedad, en ceniza, S y N. Además, de su alto contenido en volátiles y elevado PCS.
- En lo que respecta al proceso de combustión, se obtuvieron mejores resultados para el corcho de mayor densidad, CDA.

5. BIBLIOGRAFÍA

- García-Mateos, R.; Miranda, M. T.; Arranz, J. I.; Romero, P.; Sepúlveda, F. J.; Cuellar-Borrego, S. Comparative Analysis of Energy Viability of Crop Residue from Different Corn Varieties. *Materials*. 2025, 18(7), 1683.
- ISO 17225-2:2021; Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 2: Clases de pélets de madera. ISO: Geneva, Switzerland, 2022.

Financiado por: El proyecto, Ecoagrodehesa, se enmarca en el Programa Operativo FEDER Extremadura 2021-2027. Actuación 1A1103. Desarrollo de la capacidad de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación, cofinanciado al 85%.