

Tratamiento hidrotermal asistido por microondas de residuos plásticos, residuos sólidos urbanos y floraciones algales nocivas: Estudio de su reactividad individual y perspectivas de covalorización

Paola Gargallo-Lapuerta, Juan Navarro-Machín, María Benita Murillo, Javier Remón

Grupo de Procesos Termoquímicos (GPT), Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente
Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)
Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.
Tel. +34-976762707, e-mail: 844737@unizar.es

Resumen

Este estudio evalúa la caracterización y la covalorización de diferentes residuos mediante tratamiento hidrotermal asistido por microondas (MA-HTT). El objetivo es analizar su reactividad individual y estudiar posibles sinergias entre ellos para desarrollar procesos de biorrefinería holísticos y menos dependientes del residuo de partida, además de evaluar la posibilidad de utilizar agua de mar como medio de reacción autocatalítico.

Contexto

La situación energética global está dominada por los combustibles fósiles, que representan más del 80%. Como respuesta, la Unión Europea ha implementado marcos normativos como la Directiva de Energías Renovables y el Plan REPowerEU, orientados a la producción de biocombustibles a partir de materias primas procedentes de fuentes renovables. Por lo tanto, los procesos empleados en su producción también deben generar una huella de carbono neutra o negativa.

Bajo esta premisa, el presente trabajo aborda la covalorización de diferentes residuos responsables de diversos problemas medioambientales que requieren soluciones urgentes mediante tratamiento hidrotermal asistido por microondas (MA-HTT). Esta estrategia tiene como objetivo desarrollar procesos de valorización más versátiles, combinando distintos residuos para aprovechar las posibles sinergias entre ellos. El tratamiento hidrotermal utiliza agua en condiciones subcríticas como medio de reacción [1]. Por ello, en el contexto del desarrollo de procesos más sostenibles, este estudio contempla emplear agua de mar como medio de reacción sostenible y autocatalítico. El objetivo no sólo consiste en aprovechar su origen natural sino también en favorecer la reactividad del proceso, gracias a la presencia de iones disueltos que presentan actividad

catalítica, y que permiten aumentar la eficiencia térmica de los procesos de calentamiento asistidos por microondas.

Para ello, inicialmente se caracterizaron los residuos empleados en este trabajo: residuos plásticos, residuos sólidos urbanos (RSU) y floraciones algales nocivas (FAN). A continuación, se ha estudiado la reactividad individual de cada residuo en diferentes medios de reacción: agua desionizada, agua de mar y sus mezclas binarias. De esta forma, el objetivo global de este trabajo consiste en completar este estudio preliminar sobre la reactividad de los residuos empleados y, posteriormente, realizar los experimentos necesarios para evaluar posibles sinergias durante su coprocesado, así como analizar el efecto del medio de reacción (agua desionizada vs. agua de mar).

Fase experimental

La reactividad individual de los residuos se ha estudiado en un reactor de calentamiento asistido por microondas (Milestone Synthwave). El efecto de su covalorización y del medio de reacción se está evaluando mediante un diseño de experimentos factorial. Como factores, se evalúan: el tiempo (de 0 a 2 h), la temperatura (de 150 a 280 °C), el medio de reacción (agua de mar/agua desionizada y sus mezclas binarias) y la composición de la alimentación (proporción plásticos/RSU, proporción RSU/FAN y proporción plásticos/FAN). Esta estrategia se utilizará para analizar el efecto de estos parámetros en la distribución global de productos (principalmente biocrudo e hidrochar) y en sus propiedades fisicoquímicas más importantes.

Resultados

Los residuos plásticos industriales y los RSU fueron proporcionados por Urbaser. Como ejemplo representativo de FAN se ha utilizado el alga

Chlorella Vulgaris, la cual se adquirió a la empresa Biotiva. Estos residuos se caracterizaron mediante análisis elemental y poder calorífico (Tabla 1) y análisis inmediato (Tabla 2).

Tabla 1. Análisis Elemental.

Análisis elemental y PCS	Residuo		
	Pásticos	RSU	FAN
C (%masa)	81,70 ± 0,26	22,09 ± 1,34	48,39 ± 0,21
H (%masa)	15,4 ± 0,18	1,68 ± 0,07	4,27 ± 0,28
N (%masa)	0	2,17 ± 0,25	10,07 ± 0,06
O (%masa)	3,05 ± 0,07	21,60 ± 2,22	31,40 ± 2,52
PCS (MJ/kg)	46,46 ± 0,12	8,75 ± 0,77	20,76 ± 0,47

Tabla 2. Análisis Inmediato.

	Residuo		
	Pásticos	RSU	FAN
Humedad (%masa)	5,45 ± 1,05	0,44 ± 0,13	6,63 ± 0,12
Cenizas (%masa)	5,00 ± 0,5	52,46 ± 2,05	5,87 ± 2,28
Volátiles (%masa)	94,44 ± 0,21	41,97 ± 1,56	73,25 ± 1,61
Carbono fijo (%masa)	0	5,13 ± 3,52	14,26 ± 3,23

Con el objetivo de estudiar la reactividad individual de cada residuo, se realizaron experimentos por separado. En este trabajo se presentan varios de los resultados preliminares más representativos. Estos incluyen principalmente resultados experimentales obtenidos a 150 °C durante 2 h, con agua desionizada como medio de reacción. En lo que respecta a su reactividad individual, los resultados experimentales muestran que el rendimiento a biocrudo disminuye de la siguiente forma: 21,50 % (FAN) > 2,73 % (RSU) > 0,38 % (Plásticos). En el caso del rendimiento a hidrochar, se observó la siguiente tendencia: 90,1 % (RSU) > 87,13 % (Plásticos) > 59,03 % (FAN). Comparando ambas tendencias, los resultados preliminares parecen indicar que, en las condiciones de operación estudiadas, las FAN presentan la mayor reactividad, con la mayor formación de biocrudo y el menor rendimiento a producto sólido (hidrochar). Adicionalmente, los plásticos y RSU presentan baja reactividad en la formación de biocrudo, con

tendencias distintas debido a la generación de gases y de productos solubles en agua.

No obstante, se espera que esta reactividad mejore con el aumento de la temperatura y del tiempo de reacción. Por lo tanto, tras el presente análisis preliminar, este estudio se completará mediante el análisis de la reactividad individual en distintas condiciones de operación (tiempo y temperatura). Adicionalmente, se evaluará el efecto del medio de reacción, comparando los resultados tanto con agua desionizada como con agua de mar. Posteriormente, se estudiará el efecto de la covalorización mediante el coprocesamiento de mezclas de residuos (FAN - RSU, FAN - Plásticos, RSU - Plásticos) en ambos medios de reacción.

Conclusiones

El estudio preliminar de su reactividad individual muestra que las FAN presentan la mayor reactividad en las condiciones estudiadas, lo que se traduce en mayores rendimientos de biocrudo y menor formación de hidrochar. De forma opuesta, los RSU y los plásticos presentan alta tendencia a formar hidrochar, dando lugar a rendimientos a biocrudo inferiores a los obtenidos con las FAN. Como propuesta de trabajo futuro, el presente estudio se completará mediante el coprocesamiento de mezclas dobles de residuos para analizar posibles efectos sinérgicos y/o antagónicos entre ellos. Además, se estudiará el efecto de sustituir el agua desionizada por agua de mar como medio de reacción en el proceso.

Referencias

[1] GAO, Y., J. REMÓN AND A. S. MATHARU Microwave-assisted hydrothermal treatments for biomass valorisation: a critical review. *Green Chemistry*, 2021, 23(10), 3502-3525.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Gobierno de Aragón (Grupo de Investigación de Referencia T22_23R) por proporcionar apoyo marco, y al MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y FEDER/UE (Proyecto PID2023-149750OA-I00) por el proyecto de investigación concedido. Además, Javier Remón agradece al MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y a la Unión Europea «NextGenerationEU»/PRTR» por su contrato Ramón y Cajal (RYC2021-033368-I.