

Mejoramiento del rendimiento y calidad del bio-aceite a través de conceptos de pirólisis rápida y condensación fraccionada

Álvarez-Chávez Brenda J.^{*1-2}, Godbout Stéphane², Le Roux Étienne², Palacios Joahnn H.², Raghavan Vijaya¹

¹ McGill University, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, Sainte-Anne-de-Bellevue, Canada.

²Research and Development Institute for the Agri-Environment (IRDA), Québec, Canada.

email: brenda.alvarezchavez@mail.mcgill.ca

Palabras clave: bio-aceite, pirólisis rápida, condensación fraccionada.

Introducción. La pirólisis rápida es un proceso termoquímico capaz de producir biocombustibles que pueden remplazar los combustibles fósiles. El aceite pirolítico puede utilizarse para la producción de electricidad, calefacción y extracción química (Fu et al., 2017; Kalargaris et al., 2017). Sin embargo, la calidad del bio-aceite está limitada por su baja estabilidad química asociada al envejecimiento, su bajo valor calorífico, su alto contenido en agua, su alta viscosidad y su elevada acidez (Alvarez-Chavez et al., 2019; Carpenter et al., 2014). Por lo tanto, es necesario mejorar la calidad del bio-aceite antes de su uso en nuestra vida cotidiana. Este estudio ofrece la evaluación del efecto de las condiciones de funcionamiento de un reactor pirolizador y su sistema de condensación sobre la calidad y rendimiento del bio-aceite. Se aplicó análisis de superficie de respuesta para optimizar la calidad y rendimiento del bio-aceite utilizando cuatro variables operacionales del pirolizador. Como resultado se obtuvieron los modelos estadísticos que corresponden a las respuestas estudiadas.

Metodología. La evaluación y optimización de la producción de aceite pirolítico se llevó a cabo utilizando un reactor de barrena desarrollado por el IRDA (Patent CA 2830968), el cual se localiza en Quebec Canadá. El análisis de superficie de respuesta se basó en el diseño de Box-Behnken con cuatro variables: temperatura de pirólisis, tiempo de residencia de los sólidos, flujo de nitrógeno y temperatura de la primera etapa de condensación. Se analizaron las propiedades físicas del bio-aceite obtenido tales como el contenido de agua, poder calorífico, pH, etc. y se compararon con la norma ASTM D7544-12. Así como también se realizó una identificación cualitativa de los compuestos químicos del bio-aceite para su uso como combustible en quemadores comerciales.

Resultados. Tras la optimización utilizando análisis de superficie de respuesta, se encontró que las condiciones operacionales óptimas para la producción de bio-aceite fueron una temperatura de reacción de 555 °C, 129 s como tiempo de residencia de la biomasa, 6.9 L/min de nitrógeno y 120 °C como temperatura de condensación. Los rendimientos del producto fueron del 38.61% de biocarbón, el 25.39% de líquido y el 36.52% de gases no condensables. Se descubrió que el flujo de nitrógeno era el factor más significativo para ambas respuestas, ya que afectaba al tiempo de residencia de los vapores dentro del reactor y los condensadores, evitando las reacciones

de agrietamiento secundarias. Los resultados revelaron un bio-aceite con un contenido de agua del 16.86%. El grupo químico más abundante en el aceite identificado por la GC-MS fueron los metoxi-fenoles. El levoglucosan se identificó como el compuesto más abundante en la fase oleosa. Las propiedades físicas y químicas de la fase oleosa se comparan con los límites establecidos para los grados G y D en ASTM D7544-12, y con algunos resultados disponibles en la literatura sobre la pirólisis de la biomasa leñosa (ver anexo 1).

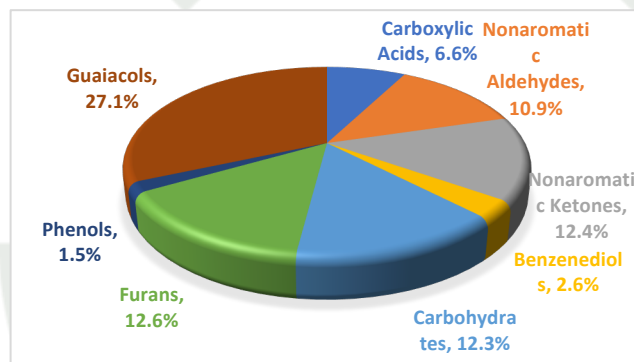


Figura 1. Composición química de bio-aceite pirolítico.

Conclusiones. La viabilidad técnica de la pirólisis de madera se demostró produciendo un bio-aceite cuyo contenido de agua y sólidos es uno de los valores más bajos notificados utilizando reactores de barrena sin necesidad de tratamiento adicional.

Agradecimientos. Esta investigación contó con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-SENER), el Departamento de Ingeniería de Recursos Naturales de la Universidad McGill y el Instituto de Investigación y Desarrollo para el Agroambiente (IRDA).

Bibliografía.

- Alvarez-Chavez, B.J., Godbout, S., Palacios-Rios, J.H., Le Roux, E., Raghavan, V. 2019. Physical, chemical, thermal and biological pre-treatment technologies in fast pyrolysis to maximize bio-oil quality: A critical review. *Biomass & Bioenergy*, **128**.
- Carpenter, D., Westover, T.L., Czernik, S., Jablonski, W. 2014. Biomass feedstocks for renewable fuel production: a review of the impacts of feedstock and pretreatment on the yield and

- product distribution of fast pyrolysis bio-oils and vapors. *Green Chemistry*, **16**(2), 384-406.
- Fu, P., Bai, X.Y., Yi, W.M., Li, Z.H., Li, Y.J., Wang, L.H. 2017. Assessment on performance, combustion and emission characteristics of diesel engine fuelled with corn stalk pyrolysis bio-oil/diesel emulsions with Ce_{0.7}Zr_{0.3}O₂ nanoadditive. *Fuel Processing Technology*, **167**, 474-483.
- Hassan, E.M., Yu, F., Ingram, L., Steele, P. 2009. The Potential Use of Whole-tree Biomass for Bio-oil Fuels. *Energy Sources Part a-Recovery Utilization and Environmental Effects*, **31**(20), 1829-1839.
- Ingram, L., Mohan, D., Bricka, M., Steele, P., Strobel, D., Crocker, D., Mitchell, B., Mohammad, J., Cantrell, K., Pittman, C.U. 2008. Pyrolysis of wood and bark in an auger reactor: Physical properties and chemical analysis of the produced bio-oils. *Energy & Fuels*, **22**(1), 614-625.
- Kalargaris, I., Tian, G.H., Gu, S. 2017. Influence of Advanced Injection Timing and Fuel Additive on Combustion, Performance, and Emission Characteristics of a DI Diesel Engine Running on Plastic Pyrolysis Oil. *Journal of Combustion*, 9.
- Kato, Y., Enomoto, R., Akazawa, M., Kojima, Y. 2016. Characterization of Japanese cedar bio-oil produced using a bench-scale auger pyrolyzer. *Springerplus*, **5**, 11.
- Papari, S., Hawboldt, K., Helleur, R. 2017. Production and Characterization of Pyrolysis Oil from Sawmill Residues in an Auger Reactor. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **56**(8), 1920-1925.
- Pittman, C.U., Mohan, D., Eseyin, A., Li, Q., Ingram, L., Hassan, E.B.M., Mitchell, B., Guo, H., Steele, P.H. 2012. Characterization of Bio-oils Produced from Fast Pyrolysis of Corn Stalks in an Auger Reactor. *Energy & Fuels*, **26**(6), 3816-3825.
- Thangalazhy-Gopakumar, S., Adhikari, S., Ravindran, H., Gupta, R.B., Fasina, O., Tu, M., Fernando, S.D. 2010. Physiochemical properties of bio-oil produced at various temperatures from pine wood using an auger reactor. *Bioresource Technology*, **101**(21), 8389-8395.

Tabla Anexo 1. Comparación de las características fisicoquímicas de la fase oleosa del estudio actual y datos de la literatura disponible – Límites establecidos en la norma D7544-12 (2017) de la ASTM.

	ASTM Norma D 7544-12		Fase oleosa (este estudio)	Madera (Papari et al., 2017)	Madera de pino (Ingram et al., 2008)	Madera de algodón (Hassan et al., 2009)	Tallos de maíz (Pittman et al., 2012)	Madera de pino (Thangalazhy -Gopakumar et al., 2010)	Cedro japonés (Kato et al., 2016)
	Grade G	Grade D							
Tamaño de partícula, mm			1.0-2.4	<2.0	2.0-4.0	1.0-3.0	0.5-5.0	0.6-0.8	0.7
Contenido de humedad % wt.			4.3	<1	0	8-10	18-20	5.8	15.5
Temperatura de pirolisis, °C			555	450	450	450	450	475	450
Tiempo de residencia de sólidos, s			129	-	30	-	30-50	-	-
Sistema de condensación (Temperatura), °C			2: 120-4°C	2: 50-4°C	-	-	-	2: 0°C	-
Flujo de nitrógeno, L.min ⁻¹			6.9	-	-	-	-	-	2
Flujo de alimentación, kg.h ⁻¹			0.5	4.0	1.0	3.0	1.0	-	0.3-0.4
Poder calorífico MJ.kg ⁻¹	15.0	15.0	18.11	16.7	21.9	21.3	22.3	18.4	-
Contenido de humedad, % wt.	30.0	30.0	16.86	26.0	16.0	24.3	27.3	20.3	50.0
Contenido de sólidos, % wt.	2.5	0.25	0.18	2.4	0.2	-	2.2	0.5	-
Viscosidad, mm ² .s ⁻¹ (40 °C),	125	125	-	-	60.9 (50 °C)	77.0	41.4	-	-
Densidad a 20 °C, kg.L	1.1-1.3	1.1-1.13	1.17	1.16	1.19	-	1.17	1.14	1.13
Contenido de azufre, % wt.	0.05	0.05	-	-	-	-	0.12	-	-
Contenido de cenizas, % wt.	0.25	0.15	-	-	-	-	0.26	0.12	-
pH	Reportar	Reportar	2.6	2.9	3.1	3.2	3.2	2.3	2.1
Punto de inflamación, °C	45	45	-	-	-	-	-	-	-
Punto de fluidez, °C	-9	-9	-	-	-	-	-	-	-