

Obtención de un Bioenergético a Partir de un Residuo Orgánico Complejo mediante Carbonización Hidrotérmica

I.Q. Nadia Polet Amaro-Arcos¹, Dra. Dulce Rocío Mota-López², M.C. María Elena García-Reyes³, M.I.Q. Norma Alejandra Vallejo-Cantú³, Dr. Alejandro Alvarado-Lassman³, Dr. Erik Samuel Rosas-Mendoza⁴

Resumen— En la actualidad el cambio climático, el incremento exponencial de la población y las necesidades energéticas obligan a la sociedad a utilizar energías más limpias y optar por recursos renovables, siendo necesario encontrar alternativas para la valorización de residuos. El objetivo de este trabajo fue obtener hidrochar a partir de un residuo orgánico complejo (ROC) por medio de carbonización hidrotérmica (CHT). El ROC fue obtenido de una planta de separación municipal de Orizaba, Ver., presentado: pH = 5.81, humedad = 76.01%, sólidos totales = 23.98%, sólidos volátiles = 53.59% y cenizas = 49.40%. El ROC fue acondicionado y sometido a CHT en un reactor de teflón a 240 °C y 3, 5 horas. El hidrochar tuvo: pH = 6.09, humedad = 6.20 %, sólidos totales = 93.66 %, sólidos volátiles = 48.97 % y cenizas = 51.02 %. El proceso de CHT permitió obtener un bioenergético similar al carbón llamado hidrochar el cual por sus características podría sustituir a los combustibles fósiles.

Palabras clave—Proceso de carbonización hidrotérmica, residuo orgánico complejo, hidrochar, bioenergético.

Introducción

El incremento de la población mundial, la rápida industrialización y la urbanización están provocando un aumento en la cantidad de residuos sólidos urbanos (RSU) (Czerwinska et al. 2022). En México se generan 43.84 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU) al año; el estado de Veracruz genera el 6.5 % de los residuos sólidos urbanos del país con 2.86 millones de toneladas por año y el municipio de Orizaba produce 30 mil toneladas anuales, de los cuales se recolectan 83.93 % y se disponen en sitios de disposición final 78.54 %, reciclando únicamente el 9.63 % de los residuos generados (SEMARNAT, 2017). Los RSU se separan en residuos inorgánicos (papel, periódico, PET, cartón, plástico, vidrio también llamados valorizables) y orgánicos (desechos alimentarios, de jardinería, de poda, frutas y verduras), a partir de estos se generan los residuos orgánicos complejos (ROC), que se componen de la fracción orgánica de los RSU además de contener pequeñas trazas de material inorgánico que dificultan su disposición final. La gestión y tratamiento de estos residuos en el país, sigue siendo de manejo básico de los RSU que consiste en recolectar y disponer los residuos en rellenos sanitarios, dejando de lado aquellos residuos que pueden ser susceptibles a aprovechamiento.

Por otra parte, el consumo de energía mundial creció un 5.5 % en el 2021 (Enerdata, 2022). Durante el año 2020 la producción de energía primaria en México aumentó un 7.14 % y totalizó en 6,784.710 PJ, los hidrocarburos representan el 84.06 % de toda la producción nacional. Las fuentes de energía históricas como petróleo, gas natural y carbón, son finitas y por lo tanto no son adecuadas para las necesidades de consumo de energía global (Bardham et al. 2021). En México el consumo de energía per cápita fue 61.58 GJ durante el año 2020 (SENER, 2020). En la actualidad, existe una tendencia al reciclaje de residuos como el método más respetuoso con el medio ambiente no sólo para convertir residuos sino también para generar energía.

Asimismo, los ROC al ser un recurso renovable y que se produce de forma sostenible, puede sustituir a los combustibles fósiles para producir un bioenergético (Ischia et al. 2022). Los bioenergéticos pueden clasificarse en tres categorías según los tipos de materias primas que se ocupen para su elaboración: de primera generación; provienen de cultivos agrícolas, de segunda generación; están hechos de biomasa lignocelulósica o cultivos leñosos, residuos agrícolas o material vegetal de desecho y residuos sólidos urbanos, y de tercera generación; aprovecha las plantas acuáticas como por ejemplo las algas. Los ROC pueden ser transformados para la obtención de un bioenergético mediante procesos termoquímicos como es la carbonización hidrotérmica (CHT).

¹ La I.Q. Nadia Polet Amaro Arcos es estudiante de la maestría en Ciencia en Ingeniería Química del Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9, 852. Col. Emiliano Zapata Orizaba, Veracruz C.P. 94320, México. amaro.96@outlook.com

² La Dra Dulce Rocío Mota López es Profesora de la Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería, Campus Ixtaczoquitlán, Universidad Veracruzana, Km 1.0 Carretera Sumidero Dos Ríos Ixtaczoquitlán, Veracruz, México dumota@uv.mx

³ La M.C. María Elena García Reyes, M.I.Q. Norma Alejandra Vallejo Cantú¹, Dr. Alejandro Alvarado Lassman son Profesores de la División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9, 852. Col. Emiliano Zapata Orizaba, Veracruz C.P. 94320, México. maria_gr2@orizaba.tecnm.mx, norma_vc@orizaba.tecnm.mx y alejandrola@orizaba.tecnm.mx

⁴ El Dr Erik Samuel Rosas Mendoza es Profesor de CONACYT-Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9, 852. Col., Emiliano Zapata, Orizaba C.P. 94320, México

Los procesos de conversión termoquímicos son un método para la obtención de energía a partir de diferentes biomazas (Zhang, 2019), se puede clasificar como pirólisis, gasificación, combustión directa, CHT y licuefacción en función de su temperatura, presión y duración tiempo de proceso (Halder, 2019). La CHT es un proceso que ocurre a temperaturas relativamente bajas que van de 180 a 250 °C en comparación con los demás procesos termoquímicos, la CHT ocurre en presencia de agua (Krysanovaa, 2018). Durante este proceso termoquímico, el ROC se somete a hidrólisis, deshidratación, descarboxilación, condensación, polimerización y aromatización (Yang y Li, 2022). El material resultante de una de este proceso es un hidrocarburo sólido, como subproductos, un bioaceite y por último una pequeña cantidad de gas llamado gases de síntesis, que contiene principalmente CO₂ con trazas de CO y CH₄ (Ischia et al. 2022).

El objetivo de esta investigación fue obtener un bioenergético (hidrochar) a partir de un residuo orgánico complejo (ROC) mediante el proceso de CHT.

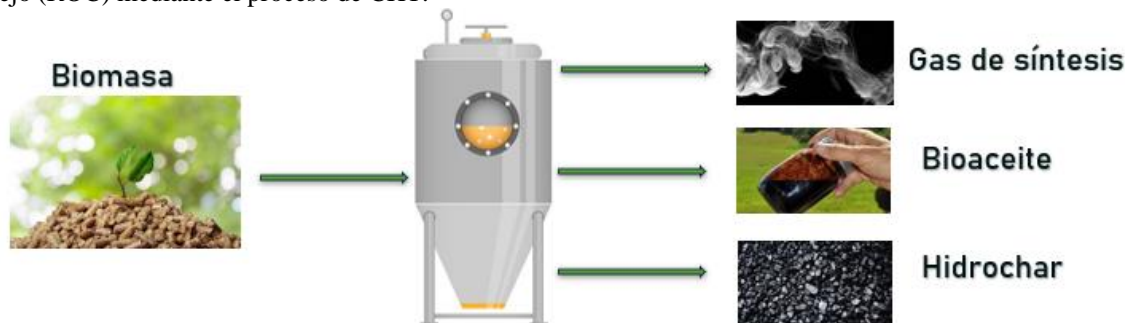


Figura 1. Proceso de carbonización hidrotérmica y sus productos.

Descripción del Método

La metodología que se llevó a cabo para esta investigación se observa en la Figura 2.

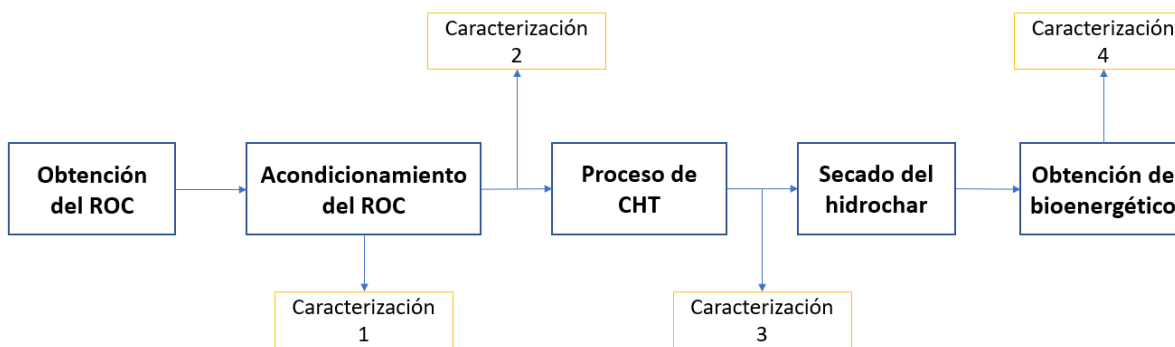


Figura 2. Metodología del proceso de CHT.

Obtención y acondicionamiento de la materia prima

El ROC se obtuvo de la Planta de Separación de Residuos Sólidos "ECORI", ubicada en la colonia Donato Guerra, municipio de Orizaba, Veracruz. Esta actividad se realizó en los días de mayor recolección de residuos orgánicos, que fueron los días martes. Para esta actividad se utilizaron recipientes con capacidad de 20 litros para el transporte de los ROC al Instituto Tecnológico de Orizaba. Para la obtención de la muestra representativa de los ROC se llevó a cabo la metodología descrita en la NORMA MEXICANA NMX-AA-15-1985.

Para el acondicionamiento los ROC se separaron manualmente para eliminar la mayor cantidad posible de fracción inorgánica, posteriormente se adicionó una cantidad de agua 1:1 esto con la finalidad de sedimentar los residuos plásticos, finalmente se centrifugaron los ROC por un tiempo de 15 minutos.

Caracterización del ROC e hidrochar

La caracterización del ROC y del bioenergético se realizó por triplicado mediante las determinaciones analíticas que se mencionan en la Cuadro 1.

Parámetro	Método	Equipo
pH	Potenciómetro 4500-H+ B Standard Methods	Potenciómetro OAKTON
Humedad	Método gravimétrico 2540 B SM Standard Methods	Estufa Riossa
Cenizas	Método gravimétrico 2540 E SM	Mufla 1300 Furnace
Sólidos Totales	Método gravimétrico 2540 B SM Standard Methods	Estufa Riossa
Sólidos Volátiles	Método gravimétrico 2540 E SM	Mufla 1300 Furnace

Cuadro 1. Determinaciones analíticas.

Proceso de CHT

El proceso de CHT se llevó a cabo en un reactor de teflón con una capacidad de 250 mL que se puede observar en la Figura 3, el calor al proceso fue suministrado por un sistema de calentamiento externo. Se utilizó una temperatura de 240 °C y dos tiempos de 3 y 5 horas, el proceso CHT se realizó por duplicado para cada uno de los tiempos.



Figura 3. Reactor de teflón.

Comentarios Finales

Resultados

Con relación a la caracterización fisicoquímica, el pH del ROC se puede observar en la Figura 4, de acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, se obtuvo un pH de 5.77 para el ROC acondicionado, por debajo del valor encontrado por Soobhany (2018) que fue de 7.1, quien utilizó la parte orgánica de residuos sólidos municipales. Una vez terminado el proceso de CHT, el pH aumentó para ambos tiempos.

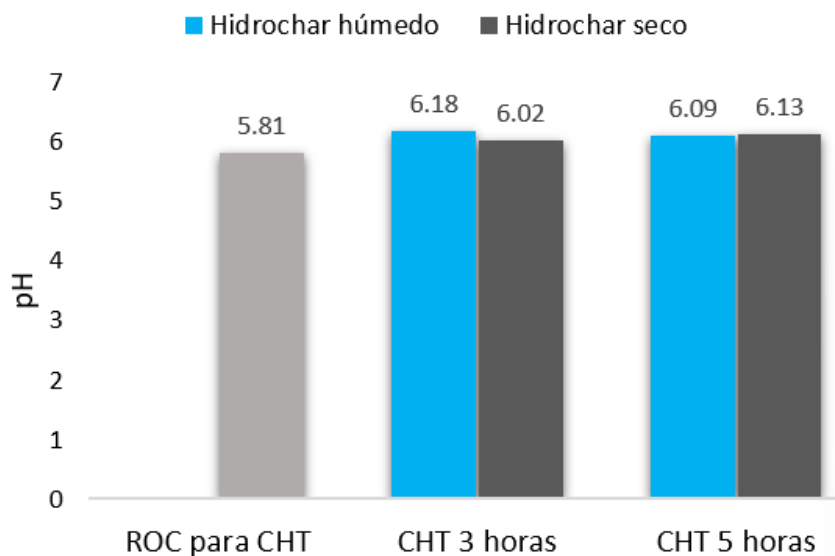


Figura 4. Resultados de pH.

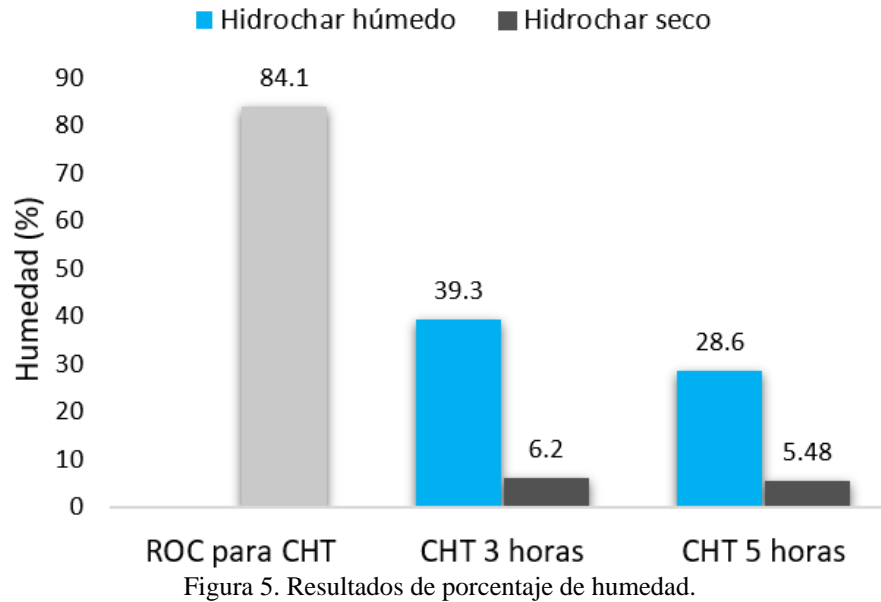


Figura 5. Resultados de porcentaje de humedad.

La humedad es un parametro de suma importancia para el proceso de CHT debido a que una humedad menor de 80 % no permite llevar a cabo este proceso de manera adecuada (Wilk et al. 2021), por esta razón al encontrar una humedad de 76.01 % fue necesario la adición de agua, en relación 1:1 para alcanzar una humedad del ROC humedecido de 84.10 %. Una vez terminado el proceso el cambio en el porcentaje de humedad se observa en la Figura 5, para el hidrochar húmedo fue de 39.3-28.6 % y para el hidrochar seco fue de 6.2-5.37 %.

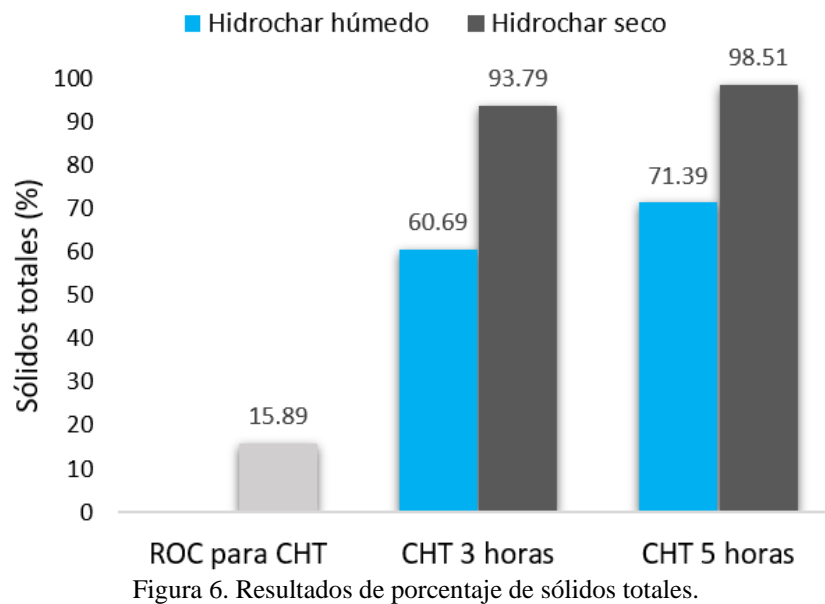


Figura 6. Resultados de porcentaje de sólidos totales.

De igual manera, en la Figura 6 se observa el porcentaje de ST para el ROC que fue de 23.98 menor al reportado por Tapia-Gómez (2017) de 59.23 %, quien ocupó residuos sólidos orgánicos municipales, el % ST para el ROC humedecido fue 15.89 este disminuyó por la cantidad de agua que se adicionó. Los valores de ST para el hidrochar húmedo fue de 60.69 y 71.39 %, para el hidrochar seco fue de 93.79 y 98.51 %. Esto se atribuye a la cantidad de agua que el residuo perdió durante el proceso de CHT.

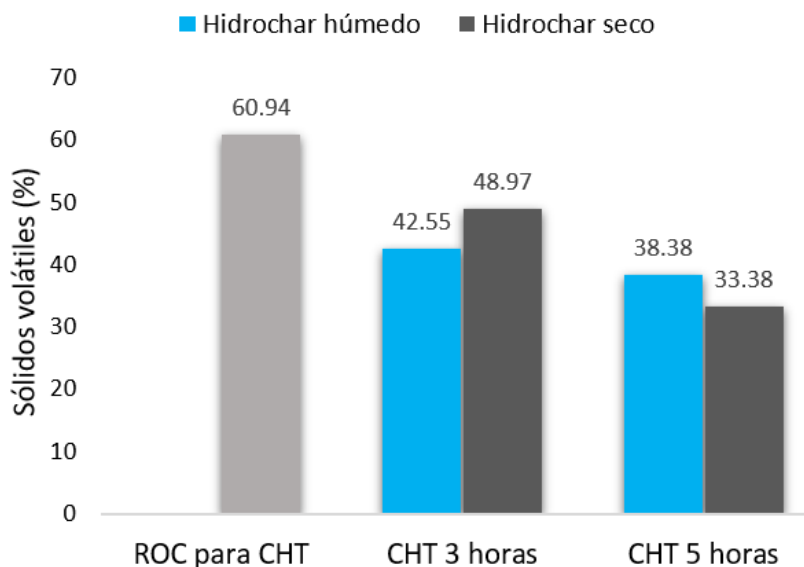


Figura 7. Resultados de porcentaje de sólidos volátiles.

Hernández-Nazario (2018) empleó la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos el valor de sólidos volátiles fue de 79.1 que es mayor al encontrado en esta investigación que para el ROC de 53.59 %, que se muestra en la Figura 7, esto se atribuye a las fracciones indeseables de materia inorgánica que tiene este ROC. Para el hidrochar húmedo los valores de sólidos volátiles son de 42.55 y 38.38 %, para el hidrochar seco se obtuvieron valores de 48.97 y 33.38 %.

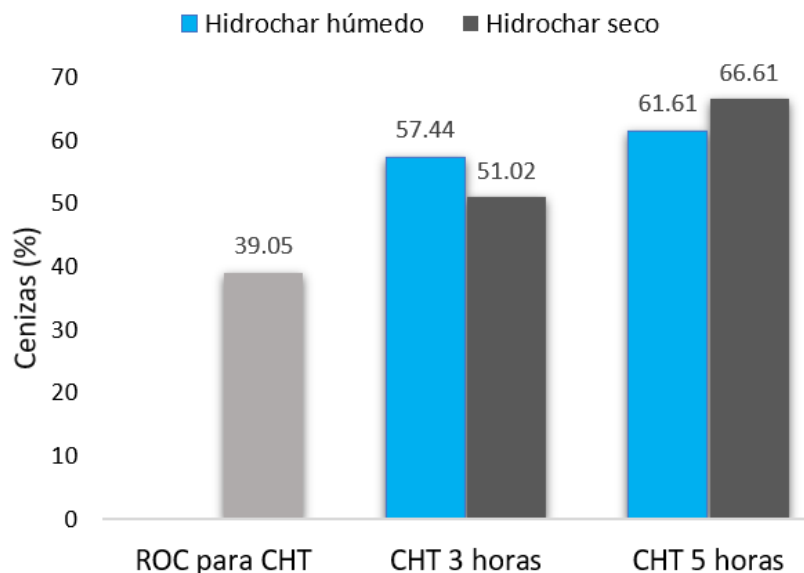


Figura 8. Resultados de porcentaje de cenizas.

Por otro lado, se obtuvieron los porcentajes de cenizas que se observan en la Figura 8, el ROC acondicionado tuvo un 46.4 % de cenizas. A su vez, el hidrochar húmedo alcanzó un 61.61 % y para el hidrochar seco de 66.61 % para el tiempo de 5 hrs los cuales fueron los valores más altos.

Proceso de CHT

Se obtuvo un bioenergético similar al carbono que se puede observar en la Figura 9 y 10, el cual en apariencia, textura y color es parecido al carbono mineral una vez que se seco a 105 °C por tiempo de 1 hora.



Figura 9. ROC para CHT.

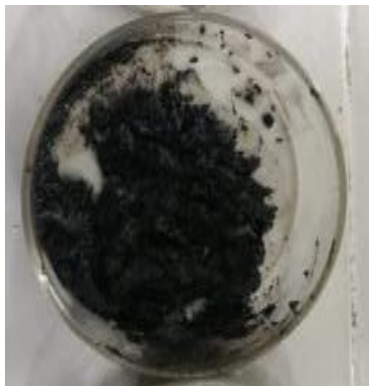


Figura 10. Hidrochar húmedo.



Figura 11. Hidrochar seco.

Conclusiones

El ROC mostró ser una biomasa útil para el proceso de CHT, el uso de estos residuos permite valorizar residuos orgánicos complejos sin necesidad de un secado previo, disminuyendo los costos energéticos en comparación con otros procesos termoquímicos. Convertir estos ROC en un bioenergético ayuda a disminuir los costos por disposición en rellenos sanitarios de estos residuos, y tener una economía circular debido a que el hidrochar puede ser utilizado como un combustible y reemplazar al carbón en la producción de acero y la fabricación de cemento. Las ventajas de este proceso son que puede utilizar biomasa un alto contenido de humedad, utiliza temperaturas bajas en comparación con otros métodos de conversión. A su vez el proceso permitió alcanzar niveles de humedad en el hidrochar de hasta 5.48 % y un porcentaje de sólidos totales de hasta 98.51 %, para el porcentaje de cenizas se llegó a valores de 66.61 % haciendo viable el producto para su utilización.

Recomendaciones

Evaluar el poder calorífico del hidrochar obtenido, a futuros trabajos se recomendaría realizar un balance de materia y energía para obtener más datos que permitan simular el proceso.

Referencias

Bardham, M. N., Tabassum, M., & Islam, M. A. (2021). Co-hydrothermal carbonization of different feedstocks to hydrochar as potential energy for the future world. *Journal of Cleaner Production*, 1-20.

Czerwinska, K., Sliz, M., & Wilk, M. (Febrero de 2022). Hydrothermal carbonization process: Fundamentals, main parameter characteristics and possible applications including an effective method of SARS-CoV-2 mitigation in sewage sludge. A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 154.

Enerdata. (01 de Noviembre de 2022). Energía y clima mundial-Anuario estadístico 2022. Obtenido de <http://www.datos.enerdata.net/datos-consumo-electricidad-hogar.html>

Halder, «Recent trends and challenges of algal biofuel conversion technologies,» *Applications, Technologies and Environmental Sustainability*, p. 167, 2019.

Hernández-Nazario, «Caracterización físico-química de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos del vertedero controlado en el Centro Urbano Abel Santamaría de Santiago de Cuba,» *SciELO*, vol. 38, n° 2, 2018.

Ischia, G. Guella y N. Bazzanella, «Hydrothermal carbonization of glucose: Secondary char properties, reaction pathways, and kinetics,» *Chemical Engineering Journal*, vol. 449, 2022

Krysanovaa, V. M. Zaichenko y G. A. Sychev, «Effect of temperature on the hydrothermal carbonization of organic fertilizers with the production of carbon fuel,» *Solid Fuel Chemistry*, vol. 53, n° 2, pp. 105-107, 2018.

SEMARNAT. (10 de Enero de 2017). Gobierno de México. Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-rsu>

SEMARNAT. (2020). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. Ciudad de México.

SENER. (2020). Balance Nacional de Energía.

Soobhany, «Assessing the physicochemical properties and quality parameters during composting of different organic constituents of Municipal Solid Waste,» Elsevier, vol. 6, n° 2, p. 1979, 2018.

Tapia-Gómez, «CODIGESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LAS,» JEEOS, vol. 1, n° 1, p. 71, 2017.

Wilk, M., Sliz, M., & Gajek, M. (2021). The effects of hydrothermal carbonization operating parameters on high-value hydrochar derived from beet pulp. *Renewable Energy*, 177, 2016-228.

Yang, H. Liu y Y. Li, «Kinetics of hydrothermal carbonization of kitchen waste based on multi-component reaction mechanism,» Full, vol. 324, n° 15, 2022.

Zhang, «The thermochemical conversion of biomass into biofuels,» Construction, Biomedical, and other Industrial Applications, p. 327, 2019.