



Carbonización hidrotérmica de agua gris para obtener biocarbón libre de gérmenes

Hydrothermal carbonization of gray water to obtain free germ biocarbon

Brecio Daniel Lazo Baltazar¹, Danea Jesse Lazo Castro²

E-mail: blazo@uncp.edu.pe

Cómo citar

Lazo Baltazar, B. D. & Lazo Castro, D. J. (2020). Carbonización hidrotérmica de agua gris para obtener biocarbón libre de gérmenes. *Prospectiva Universitaria, Revista de la UNCP*. 17(1), 61-68. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2020.17.1382>

Resumen

El resultado del procedimiento de carbonización de los residuos orgánicos es aplicable en la conversión una amplia variedad de residuos de biomasa para transformarlos en carbón y otros. La carbonización húmeda conocida como carbonización hidrotérmica es utilizable en todos los residuos producidos en la agricultura y ahora en los residuos de la cocina familiar y lo más resaltante es que tiene influencia en la calidad del carbón producido. El objetivo de la investigación fue producir biocarbón libre de gérmenes a partir de agua gris, los mismos deberán ser utilizados en la agricultura para la recuperación de suelos degradados. Mediante la metodología de diseño por combinación se obtuvo la configuración del prototipo de reactor de carbonización que integra un procedimiento continuo de la obtención del carbón, es decir, ingresa biomasa húmeda y entrega biocarbón molido.

El proceso de obtención de biocarbón fue realizado en los Laboratorios de Energías Renovables de la Facultad de Ingeniería Mecánica siguiendo un diseño factorial 23 como se muestran en la tabla No. 5. Las muestras obtenidas de carbón mediante el diseño factorial 23 fueron analizadas en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la UNCP. La combinación de los factores ADC entrega una calidad de carbón 0,99 % libre de bacterias utilizando el método de análisis por foto luz. Mediante la comparación de los fundamentos teóricos y aplicabilidad se concluye que, la combinación ADC es un resultado favorable en la producción del carbón y su posterior aplicación en la recuperación de suelo ya que el carbón tiene una calidad favorable.

Palabras clave: carbonización hidrotérmica, agua gris, biocarbón, suelos degradados, gérmenes

Abstract

The result of the carbonization process of organic waste is applicable in the conversion of a wide variety of biomass wastes to transform into coal and others. Wet carbonization known as hydrothermal carbonization is usable for all agricultural wastes and now in family kitchen waste and most importantly aspect is it has an influence on the quality of the coal produced. The aim of the research was to produce free germ biocarbon from grey water, which should be used in agriculture for the recovery of degraded soils. Using the combination design methodology, the configuration of the prototype carbonization reactor was obtained, which integrates a continuous process for obtaining coal, in other words, humid biomass enters and ground biocarbon delivers.

The biocarbon process was carried out in the renewable energy laboratories of mechanical engineering faculty following a 23 factorial design as shown in table No. 5. The coal samples obtained by means of 23 factorial design were analysed in the laboratory of chemical engineering faculty of the UNCP. The ADC combination delivers a free- bacteria carbon 0.99 % quality by using the photo light analysis method. By comparing the theoretical background and applicability, it is concluded that the ADC combination is a favourable result in coal production and subsequent application in soil recovery since coal has a favourable quality.

Keywords: hydrothermal carbonization, gray water, biocarbon, degraded soils, germs

¹Docente de la Facultad de Ingeniería Mecánica - UNCP / ²Ingeniero de Sistemas - UNCP

Introducción

Es momento de reflexión sobre nuestra actuación descontrolada en la generación de residuos que vienen dañando al planeta. Estas actuaciones negativas influirán en la salud de nuestros descendientes, más, el futuro será desesperante porque contaminado el agua, aire y suelo el planeta Tierra no podrá entregarnos lo que se necesita para sobrevivir.

El biocarbono libre de gérmenes fue obtenido mediante la experimentación del diseño factorial 23, utilizando, como medio de carbonización la energía solar. El biocarbono será utilizado en la recuperación de suelos agrícolas degradados.

La HTC fue utilizada y descrita por primera vez por el químico alemán y premio Nobel Friedrich Bergius en el año 1913, como un medio para simular la carbonización natural de la materia orgánica en el laboratorio (Libra, Ro, Kammann & Funke, 2011).

En los últimos años, se han realizado amplios estudios para mejorar el conocimiento sobre el funcionamiento del reactor y el rendimiento del sistema en pirólisis térmica de residuos sólidos urbanos (RSU); sin embargo, los fundamentos de la pirólisis de MSW y sus aplicaciones de ingeniería siguen siendo explorados de manera insatisfactoria (Lu, Chang, Poon, & Lee, 2020)

El proceso de pirólisis es un método termoquímico, la biomasa se convierte de manera eficiente en biocombustibles, biocarros y briquetas BBQ, y; el procesamiento adicional produce productos de valor agregado adicionales, como carbón activado, negro de carbón y tinta de impresión (Elkhalifa, Al-ansari, Mackey & Mckay, 2019)

La carbonización hidrotérmica (HTC), es una técnica de conversión termoquímica eficiente de transformación de la biomasa húmeda en energía y productos químicos sin pre secar. El producto sólido, conocido como hidrocarburo, ha recibido atención debido a su capacidad para preparar briquetas de carbón activado en la remediación de la contaminación de aguas residuales, aplicaciones de remediación de suelos, combustibles sólidos y otros materiales carbonosos (Fiori, Basso, Castello & Baratieri, 2014)

En esta investigación se experimentó la carbonización hidrotérmica para la producción de biocarbono libre de bacterias a partir de agua gris.

La investigación contribuye en la disminución de la contaminación de los ríos; así mismo, disminuirá los gases de efecto invernadero debido a que se utilizó como medio de la carbonización hidrotermica la energía solar mediante concentradores solares.

La importancia de la investigación fue generar biocarbono o hidrocarburo a partir del agua gris de manera que se disminuya la contaminación del agua y el biocarbono aprovechada en la recuperación de la fertilidad de las tierras de la agricultura.

Métodos y materiales

Diseño del prototipo reactor de carbonización

El diseño del prototipo se realizó considerando 3 kg de residuo orgánico producida en una vivienda familiar de cuatro personas.

Se ha utilizado el método sistemático de diseño de la asociación alemana de ingenieros VDI (Verein Deutscher Ingenieure) VDI 2221/2222 (Pahl & Beitz, 2007).

Materiales para la obtención del biocarbono

Agua gris

En la Tabla 1, se muestra los residuos orgánicos que contiene el efluente de los lavaderos de la cocina familiar, cuantificada por observación y pesaje directa del lavadero.

Los residuos de materias orgánicas se generan desde el inicio de la preparación de los alimentos, quemado de los aderezos, quemado de los alimentos, sobras múltiples, al momento de ingerir los alimentos y principalmente al momento del lavado de los utensilios de cocina y los utensilios de nuestros alimentos. En la Tabla 1, se muestra los residuos orgánicos producidos por día.

Tabla 1

Materia orgánica generada en la cocina familiar

Item	Descripción	Kg
1	Cascaras varios	0,430
2	Alimentos	0,374
3	Lodo de alimentos	0,325
4	Verduras	0,300
5	Cereales	0,260
6	Hueso triturado	0,220
7	Frutas	0,200
8	Grasa	0,170
9	Aceite	0,160
10	Orgánicos quemados	0,150
11	Trozos de carne	0,140
12	Tierra	0,120
13	Papel higiénico	0,100
14	Detergente	0,050
15	Cabello humano	0,001

También, se utilizó las propiedades que se muestran en Tabla 2.

Tabla 2

Propiedades relevantes de la materia prima para los procesos de conversión térmica

Residuos orgánicos	Orgánico [§]
Carbón	47-52
Hidrógeno	0.63
Oxígeno	40-42
Análisis elemental (% daf)	Nitrógeno 0.16-0.25
	Azufre 0.002-0.003
Contenido de energía (MJ/kg _{db})	8.9-11.15

[§]Valores estimados sobre la base de los valores de composición porcentual proporcionados por [303] y los valores de composición elemental, contenido de humedad y contenido de energía proporcionados por [43].

daf: Dry ash-free weight

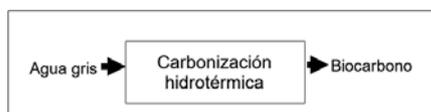
db: Dry weight

Fuente: (Libra et al., 2011)

Durante el proceso de carbonización ingresa agua gris la que sufre una transformación de separación obteniéndose a la salida carbón orgánico, vapor de agua y gases varios (G. Pahl & Beitz, 2007).

Figura 1

Caja negra de obtención de biocarbón



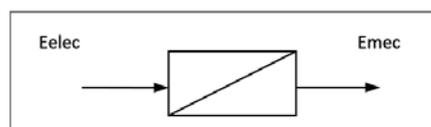
La transformación de las dimensiones del agua gris se realizó utilizando los siguientes conceptos.

Energía eléctrica

La energía eléctrica de ingreso es transformada en energía mecánica: Fuerza, presión, longitud, efecto piezoeléctrico.

Figura 2

Concepto



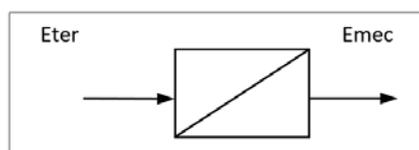
Energía térmica

La energía térmica es transformada en energía de fusión.

Temperatura, calor, expansión térmica, presión de vapor, ley de gases, presión osmótica.

Figura 3

Concepto

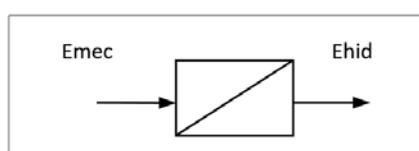


Señales

Fuerza, longitud, velocidad, presión, viscosidad (Newton), Boyle-Mariote.

Figura 4

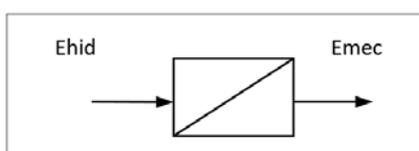
Concepto



Velocidad, fuerza longitud, resistencia de fluido, presión de retorno, principio de reacción.

Figura 5

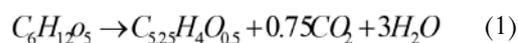
Concepto



Producción del carbón

Ingresa la materia orgánica (colada del agua gris) al reactor de carbonización hidrotérmica, se alimenta energía térmica mediante el concentrador solar por reflexión hacia la chaqueta térmica del reactor a una temperatura de 300 °C a 400 °C.

Se producen reacciones exotérmicas o entalpía de reacción, mediante la siguiente ecuación (Libra et al., 2011).



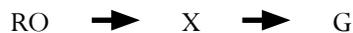
Para determinar la mejor producción se utilizó la siguiente metodología:

Método experimental: Se empleó para contrastar el marco teórico de generación de biocarbón libre de gérmenes, se preparó la unidad de experimentación (prototipo) y mediante el diseño experimental 23, se observó el efecto de la materia prima, las chaquetas térmica y la longitud del reactor (Gutiérrez & De La Vara, 2012).

Método explicativo: Se empleó para explicar la producción de biocarbón desde los residuos de materia orgánica producida en viviendas familiares. Tiene como propósito producir biocarbón libre de gérmenes, en base a de las reacciones exotérmicas de la materia prima (Hernández, 2010).

Diseño

Para la explicación de la producción de bicarbono, se experimentó en el prototipo del reactor. La experimentación se realizó siguiendo la siguiente secuencia (Hernández y Fernández, 2012).



RO Residuo orgánico, X Biocarbono, G Gérmenes

El diseño empleado fue para verificar la producción de biocarbono en distintas condiciones de materia orgánica y chaqueta térmica y longitud del reactor, entonces se produjo biocarbono libre de gérmenes.

Instrumentos de las unidades de análisis

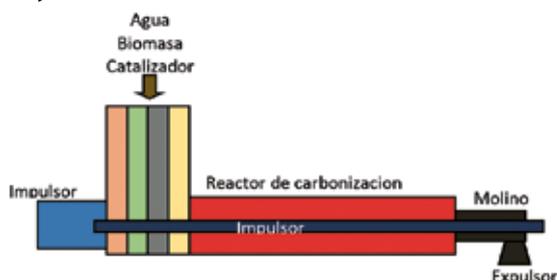
La unidad que sirvió para comprobar la producción de biocarbono fue el prototipo reactor, medida mediante una balanza electrónica y codificada en una ficha de biocarbono libre de gérmenes.

Unidad de análisis

Se ha utilizado el prototipo reactor de carbonización (Figura 6), la que soportó la forma del tratamiento cualitativo o cuantitativo de los factores.

Figura 6

Concepto de solución del reactor de carbonización



Diseño del tratamiento

De acuerdo a Gutiérrez y De La Vara (2012), el diseño de investigación fue un plan estructurado de actividades (Tabla 3) que de manera anticipada guiaron el proceso de investigación. Su fin fue aclarar el camino a recorrer para contestar la pregunta de la investigación.

Tabla 3

Diseño factorial – Configuración de Yates

Nº	Combinación Tratamientos	Niveles Tratamiento Factores			Réplicas Producción masa/kg				Totales
		A	B	C	I	II	III	IV	
1	-1	-	-	-					
2	a	+	-	-					
3	b	-	+	-					
4	ab	+	+	-					

5	c	-	-	+
6	ac	+	-	+
7	bc	-	+	+
8	abc	+	+	+

Fuente: Gutiérrez y De La Vara (2012)

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se asignó los factores para la experimentación mediante la siguiente denominación:

A = Materia prima : 2; 3 kilogramos

B = Chaquetas térmicas : 2; 6 unidades

C = Longitud del reactor : 250; 500 mm

Se utilizó un diseño factorial completo 23, porque consta de dos niveles y tres factores, tal como se muestra el Tabla 4.

Tabla 4

Niveles de tratamiento de los factores de investigación

Factores	Nivel Bajo	Nivel Alto	
Materia Orgánico	A	2	3
Chaquetas Térmicas	B	2	6
Longitud de reactor	C	250	500

Calidad del biocarbono

Según Novak et al. (2009), su degradación térmica entre 250 y 350 °C da lugar a muchos compuestos volátiles (vapores de agua y alquitrán, hidrocarburos, ácidos (H₂, CH₄, CO y CO₂), quedando una matriz de carbono amorfa y rígida.

Además, a más de 70 °C, los microorganismos patógenos se destruyen, aunque algunos no soportan temperaturas superiores a los 55 °C.

Entonces, si la temperatura de carbonización fue entre 300 a 400, °C el biocarbón se encuentra libre de gérmenes.

Se concluyó que no es necesario pasar por laboratorio para visualizar la existencia de gérmenes.

Resultados

Características de la configuración del prototipo reactor

En la Figura 7, se visualiza las partes del prototipo reactor de carbonización de la materia orgánica, constituido por: impulsor, alimentador, tornillo sinfín, reactor térmico, soporte estructural, mecanismo de molido, chaqueta térmica solar.

Figura 7

Concepto del reactor de carbonización.



Experimentación del proceso de carbonización de la materia orgánica.

Producción de biocarbón

La producción de biocarbón se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Resultado de producción de biocarbón

Combinación de tratamientos	Niveles de tratamiento			Réplicas producción masa/kg				Total kg
	A	B	C	I	II	III	IV	
-1	-	-	-	1,55	1,79	1,83	2,81	2,00
a	+	-	-	2,89	2,87	2,65	2,85	2,82
b	-	+	-	1,69	1,80	1,58	1,45	1,63
ab	+	+	-	2,80	2,95	2,89	2,85	2,87
c	-	-	+	1,79	1,75	1,87	1,79	1,80
ac	+	-	+	2,89	2,82	2,85	2,79	2,84
bc	-	+	+	1,76	1,60	1,80	1,63	1,70
abc	+	+	+	2,87	2,98	2,76	2,91	2,88

* Diseño factorial 23

Análisis de la varianza

El análisis de la varianza desarrollado de la Tabla 6 para los tres factores y cuatro replicas, sirvió para evaluar la toma de decisión del análisis factorial y para validar la hipótesis planteada.

Tabla 6

Efectos y coeficientes estimados para biocarbón

Término	Efecto	Coef	SE Coef	T	P
		2,31556	0,03807	60,82	0,000
A	1,07125	0,53563	0,03807	14,07	0,000
B	-0,09250	-0,04625	0,03807	-1,21	0,236
C	-0,02450	-0,01225	0,03807	-0,32	0,750
A*B	0,14263	0,07131	0,03807	1,87	0,073
A*C	0,03937	0,01969	0,03807	0,52	0,610
B*C	0,06187	0,03094	0,03807	0,81	0,424
A*B*C	-0,06925	-0,03463	0,03807	-0,91	0,372

$$S = 0,215355$$

$$\text{PRESS} = 1,97879$$

$$\text{R-cuad.} = 89,51\%$$

$$\text{R-cuad. (pred.)} = 81,35\%$$

$$\text{R-cuad. (ajustado)} = 86,45\%$$

Tabla 7

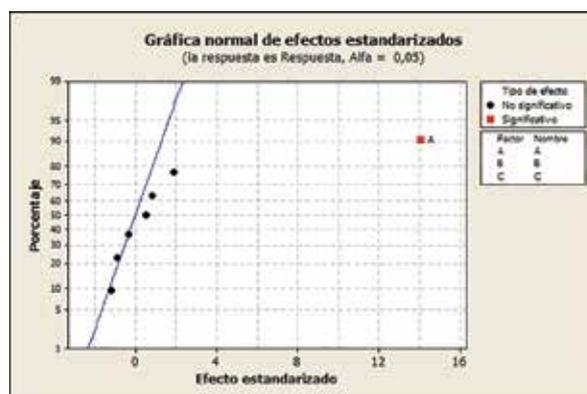
Análisis de varianza para biocarbón producido

Análisis de varianza para respuesta (unidades codificadas)					
Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F
Efectos principales	3	9,2539	9,25386	3,08462	66,51
A	1	9,1806	9,18061	9,18061	197,95
B	1	0,0684	0,06845	0,06845	1,48
C	1	0,0048	0,00480	0,00480	0,10
2- Interacciones de (No.) factores	3	0,2058	0,20577	0,06859	1,48
A*B	1	0,1627	0,16274	0,16274	3,51
A*C	1	0,0124	0,01240	0,01240	0,27
B*C	1	0,0306	0,03063	0,03063	0,66
3- Interacciones de (No.) factores	1	0,0384	0,03836	0,03836	0,83
A*B*C	1	0,0384	0,03836	0,03836	0,83
Error residual	24	1,1131	1,11307	0,04638	
Error puro	24	1,1131	1,11307	0,04638	
Total	31	10,6111			

La Figura 8, indica que los puntos que no se ubican cerca de la línea por lo general señalan efectos significativos. Tales efectos son más grandes y generalmente están más lejos de la línea ajustada que los efectos no importantes. Los efectos no significativos tienden a ser más pequeños y cercanos a cero.

Figura 8

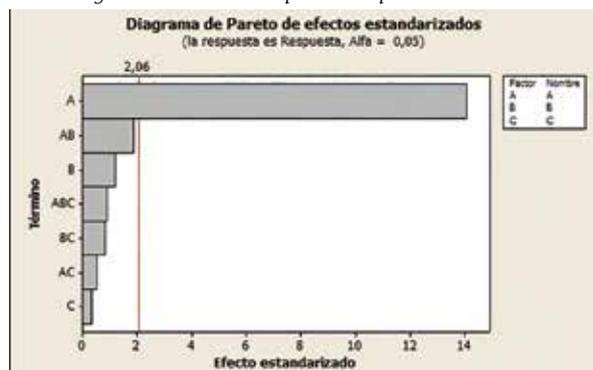
Normal de efectos estandarizados para energía producida



La gráfica de Pareto de efectos estandarizados (Figura 9) evalúa la magnitud y la importancia de un efecto. El diagrama muestra el valor absoluto de los efectos y traza una línea de referencia en la gráfica. Cualquier efecto que se extienda más allá de esta línea de referencia es potencialmente importante.

Figura 9

Pareto de efectos estandarizados para masa producida

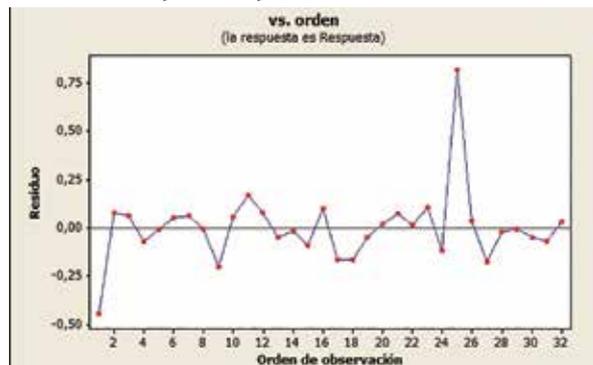


Análisis de residuos

Los residuos según orden de observación presentado en la Figura 10, es una gráfica donde se representan todos los residuos en el orden en el que se colectaron los datos y se utilizan para hallar errores no aleatorios, especialmente de efectos relacionados con el tiempo, ayuda también a revisar el supuesto que establece que los residuos no se correlacionan unos a otros.

Figura 10

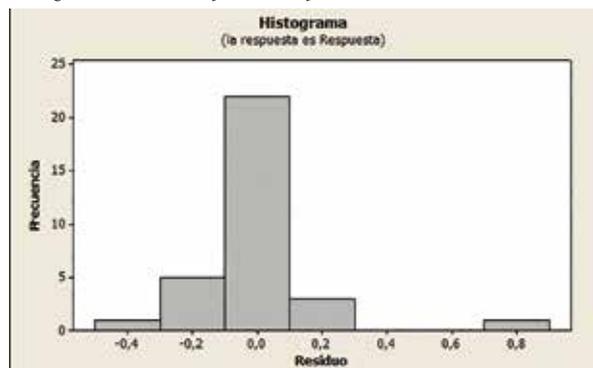
Residuos vs orden para masa producida



En la gráfica de la Figura 11, se aplica como una herramienta exploratoria para mostrar las características generales de los residuos, incluyendo valores típicos, dispersión y forma. Una larga cola lateral puede indicar una distribución sesgada. Si uno o dos barras están lejos de las demás, esos puntos pueden ser valores atípicos.

Figura 11

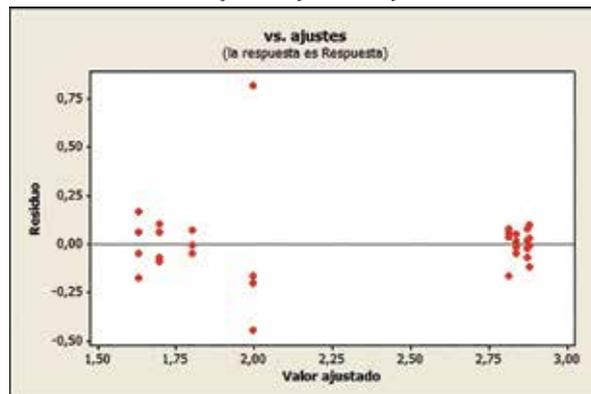
Histograma de residuos para masa producida



La Figura 12, representa un patrón aleatorio a ambos lados de cero. Si un punto se encuentra lejos de la mayoría de los puntos, puede ser un valor atípico. No deberá haber algún patrón reconocible en la gráfica de residuos; por ejemplo, si la dispersión de valores de residuos tiende a incrementarse a medida que se incrementan los valores ajustados, entonces esto puede violar el supuesto de varianza constante.

Figura 12

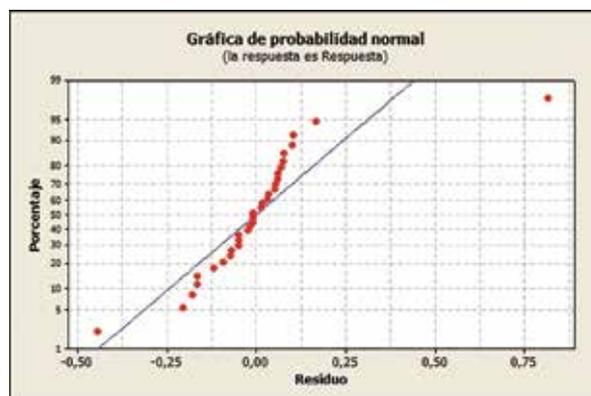
Residuos contra valores ajustados para masa producida



La Figura 13, muestra que los puntos tienden a formar una línea recta esto indica que los residuos están normalmente distribuidos. Si los puntos en la gráfica salen de una línea recta, el supuesto de normalidad puede ser inválido.

Figura 13

Probabilidad normal para masa producida.



La calidad del Biocarbón

Los valores caloríficos más alto de la ecuación 1 se resumen en la Tabla 8. Estas aproximaciones deben ser tratadas con cuidado, al ser completamente entendida, la química de proceso.

La ecuación no considera ningún subproducto orgánico líquido de reacción que represente una fracción importante [91.114.115]. Además, la biomasa no puede considerarse un reactivo bien definido debido a su alto grado de complejidad química y heterogeneidad; sin embargo, estas consideraciones teóricas ofrecen una visión de lo que puede esperarse.

Tabla 8*Matriz del carácter calórico de la carbonización hidrotérmica de la celulosa*

	Carbonización hidrotérmica⁺⁺ Ecuación 2[§]
Rango de temperatura (°C)	350-450
VCA de los alimentos (MJ/kg)	-17.6
Calor de reacción (MJ/kg de celulosa)	-1.6
VCA del producto sólido (MJ/kg de celulosa)	-16
VCA de subproductos gaseosos (MJ/kg de celulosa)	0
VCA de subproductos líquidos (MJ/kg de celulosa)	0

⁺⁺Datos de [85].

[§]Esta ecuación no está completa, porque no se han considerado los productos líquidos, que representan un importante grupo de productos.

- Los valores están de acuerdo con la ecuación 2. Los resultados experimentales publicados de la carbonización de diferentes artículos oscilan entre 1-2 MJ/kg_{alimen} para los gaseosos y 0,5-4,1 MJ/kg_{alimen} para los subproductos líquidos [Fuente, Datos no publicados].

VCA: Valor de calentamiento más alto.

Fuente: (Libra et al., 2011)

Discusión

Producción de biocarbón

De los tratamientos realizados, se puede asegurar la producción de biocarbón porque los factores tratados producen efectos. Los mayores efectos significativos están en los factores A, AB, AC y la interacción ABC. Entonces, la masa de la materia orgánica de 3,0 kg produce 2,88 kg de biocarbón, tal como manifiesta la patente (Felix, Larry, 2014).

La interacción adecuada de las chaquetas térmicas en su nivel alto captura mejor la energía calorífica. Esto mejora la calidad del biocarbón debido a que la superficie de carbonización es mayor en comparación a los niveles bajos. Tal como indica Cheng, Bayat, Jena & Brewer (2020), la pirolisis es una posible opción de extracción económica para estos compuestos con la gravedad de reacción necesaria, fácil operación y alta compatibilidad con diversas materias primas.

Libra et al. (2011) indica que mediante la adición de calor a temperatura por encima de 300 °C el micro organismo deja de existir. El resultado del tratamiento ABC en su nivel alto arroja una mejor calidad de biocarbón libre de gérmenes.

Impacto ambiental

La no generación de gases contaminantes en la producción de energía sostenible confirma lo que indica (Ottmar & Pichs-Madruga, 2011), que el reemplazo de combustibles fósiles con las energías sostenibles limpias, reducirán los gases de efecto invernadero.

Evaluación de resultados del biocarbón

La producción de masa del biocarbón han sido evaluados con el análisis de los residuos. Los residuos obtenidos se encuentran entre 1,0 y -0,5 demostrando claramente que el procedimiento de experimentación fue correcto, no encontrando valores que contradigan al teorema de Chevshev (García, López & Calvo, 2011)

El principal factor A es significativo en el sistema, al encontrarse en el lado derecho de la gráfica de Pareto de efectos estandarizados.

Del mismo modo, esto se puede comprobar en la validación de la hipótesis con la comparación de los valores de la Tabla F de Fisher (García et al., 2011).

Consecuencias teóricas

En la investigación se pudo conocer que el reactor logra calidad del biocarbón cuando se experimenta con el tratamiento (8), factor A (nivel alto), factor B (nivel alto), factor C (nivel alto).

Se puede ver (Tabla 7) que la hipótesis alterna es verdadera en B, C, AB, AC, BC y ABC existe significatividad en todos los tratamientos, por tanto, juegan un papel importante en la mejora de la producción de biocarbón.

Aplicaciones prácticas

Gutiérrez & De La Vara (2012) definen que el objetivo de los diseños factoriales es estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas, cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores; buscando, por supuesto, una combinación de niveles de los factores en la que el desempeño del proceso sea el mejor.

Conclusiones

- El resultado del tratamiento ABC en su nivel alto arroja una mejor calidad de biocarbón libre de gérmenes.
- La producción de biocarbón mediante este método demostró que la emisión de gases contaminantes fue mínima; así mismo, al usar energía solar es menos impactante al ambiente.
- En función a los resultados se ha concluido que el trabajo experimental no encuentra factores atípicos, por lo se puede afirmar que los resultados tienen una gran consistencia.
- Se afirma que, si se configura los componentes con la aplicación del análisis factorial, entonces mejora la producción de biocarbón, mediante la prueba de Fisher F (3, 28); 0.05=2,95.
- Se mejora el diseño y fabricación del biorreactor, porque se conoce con precisión cuáles son los factores de mayor relevancia y cuáles de las interacciones, logran producir mayor materia orgánica.

Referencias bibliográficas

- Cheng, F., Bayat, H., Jena, U. & Brewer, C. E. (2020). *Journal of analytical and applied pyrolysis impact of feedstock composition on pyrolysis of low-cost , protein- and lignin-rich biomass: A review*. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 147(August 2019), 104780. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2020.104780>
- Elkhalifa, S., Al-ansari, T., Mackey, H. R. & Mckay, G. (2019). *Resources, conservation & recycling food waste to biochars through pyrolysis: A review*. *Resources, Conservation & Recycling*, 144(September 2018), 310–320. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.024>
- Felix, Larry, G. (2014). Bureau, International.
- Fiori, L., Basso, D., Castello, D. & Baratieri, M. (2014). *Hydrothermal Carbonization of Biomass: Design of a batch reactor and preliminary experimental results*. *Iconbm: International Conference on Biomass*, Pts 1 and 2, 37, 55-+. <https://doi.org/10.3303/CET1437010>
- G. Pahl, W. Beitz, J. F. & K. H. G. (2007). *Engineering design: a systematic approach*. Springer-Verlag London Limited (3rd editio).
- García, J. G., López, N. C. & Calvo, J. Z. (2011). *Estadística básica para estudiantes de ciencias*.
- Gutiérrez Pulido, H. & De La Vara Salazar, R. (2012). *Analisis y diseño de experimentos*.
- Hernández Sampiere, R. (2010). *Metodología de la investigación*.
- Libra, J., Ro, K. S., Kammann, C. & Funke, A. (2011). *Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis*. (May 2014). <https://doi.org/10.4155/bfs.10.81>
- Lu, J., Chang, Y., Poon, C. & Lee, D. (2020). *Biore-source Technology Slow pyrolysis of municipal solid waste (MSW): A review*. *Bioresource Technology*, 312(May), 123615. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123615>
- Novak, J., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J., Steiner, C., Das, K., ... Busscher, W. (2009). *Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand*. *Annals of Environmental Science*, 3(1), 195–206.
- Ottmar Edenhofer & Ramón Pichs-Madruga, Y. S. (2011). *Fuentes de energía renovables e informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático*.