Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Guía de informe final

Guatemala, 12 de febrero, 2021

Señor Director
Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Adjunto a la presente el informe final "**Caracterización del residuo obtenido en proceso de descolado de cardamomo (Elettaria cardamomum) y aprovechamiento para su transformación como carbón activado"** con partida presupuestal DES3CU-2020, coordinado por la Máster Karen Elizabeth Vásquez Villeda y avalado por el Centro Universitario del Norte de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Este informe final fue elaborado con base en la guía de presentación de la Dirección General de Investigación, el cual fue revisado su contenido en función del protocolo aprobado, por lo que esta unidad de investigación da la aprobación y aval correspondiente.

Así mismo, el coordinador(a) del proyecto, se compromete a dar seguimiento y cumplir con el proceso de revisión y edición establecido por Digi del **informe final y del manuscrito científico.** El manuscrito científico debe enviarse, por el coordinador(a) del proyecto, para publicación al menos en una revista de acceso abierto (*Open Access*) indexada y arbitrada por expertos en el tema investigado.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

"Id y enseñad a todos"

Área de Investigaciones de Ingeniería

Ing. Qco. Karen Elizabeth Vásquez Villeda
Coordinador(a) del proyecto de investigación

Firma y sello
Director del Centro Universitario del Norte
USAC-CUNOR

Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación Interdisciplinaria en Salud

Informe final

Caracterización del residuo obtenido en proceso de descolado de cardamomo (*Elettaria cardamomum*) y aprovechamiento para su transformación como carbón activado

Equipo de investigación

Karen Elizabeth Vásquez Villeda

Walter Armando Herrera Cifuentes
Edgar Arnoldo Sierra Dubón

Guatemala, 12 de febrero de 2021

Centro Universitario del Norte

Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería -CUNOR-

Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Dra. Hilda Elena Valencia M. de Abril
Coordinadora del Programa Universitario
de Investigación Interdisciplinaria en Salud

Ing. Qco. Karen Elizabeth Vásquez Villeda
Coordinadora de Proyecto de Investigación

Ing. Walter Armando Herrera Cifuentes
Investigador

Bachiller Edgar Arnoldo Sierra Dubón

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2020. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través del proyecto Código DES3CU durante el año 2020 en el Programa Universitario de Investigación Interdisciplinaria en Salud.

Índice de contenido general

1. Resumen 6
2. Palabras clave 6
3. Abstract and keyword 6
4. Introducción 7
5. Planteamiento del problema 8
6. Preguntas de investigación 8
7. Delimitación en tiempo y espacio 9
8. Marco teórico 9
9. Estado del arte 10
10. Objetivo general 11
11. Objetivos específicos 11
12. Hipótesis 12
13. Materiales y métodos 12
    13.1 Enfoque y tipo de investigación 12
    13.2 Recolección de información 12
    13.3 Para investigación cuantitativa 12
    13.4 Técnicas e instrumentos 12
    13.5 Operacionalización de las variables o unidades de análisis 14
    13.6 Procesamiento y análisis de la información 15
14. Vinculación, difusión y divulgación 16
15. Productos, hallazgos, conocimientos o resultado 17
16. Análisis y discusión de resultados 20
17. Conclusiones 21
18. Impacto esperado 22
19. Referencias 23

Índice de ilustraciones

Figura 1: Estructura de carbón activado 10
Figura 2: Estructura de carbón activado 10
Figura 3: Clasificación de las variables y forma de medición 14
Figura 4: Anova de los tratamientos realizados en obtención de carbón activado 15
Figura 5: Prueba de Tukey para variable de concentración 15
Figura 6: Prueba de Tukey para la variable temperatura 16
Figura 7: Prueba de Tukey para la variable tiempo de activación 16

Índice de tablas

Tabla 1: Tratamientos realizados con 3 factores 13
Tabla 2: Técnicas e instrumentos utilizados en obtención de carbón activado 14
Tabla 3: Promedios de área superficial y poros de carbón activado 17
Tabla 4: Combinación óptima de las variables 17
Tabla 5: Cantidad de cáscara de cardamomo 18

Índice de figuras

Figura 9: Isoterma lineal para determinación de volumen total de poros 19
Figura 10: Estimación de área superficiales y poros en carbón activado 19
Figura 11: Cáscara de cardamomo y cardamomo en oro 18
Figura 12: Fases de cáscara de cardamomo hasta obtener carbón activado 19

Apéndice 24

Caracterización del residuo obtenido en proceso de descolado de cardamomo (*Elettaria cardamomum*) y aprovechamiento para su transformación como carbón activado

1. Resumen

La cáscara de cardamomo no tiene reutilización a favor del medio ambiente en Cobán, Alta Verapaz. Se determinó que se produce 46.15% de peso de cáscara en seco, se evaluaron características fisicoquímicas de cáscara y carbón activado, ver tabla 1. Se optó por método de activación química mediante impregnación con soluciones de ácido fosfórico, tres temperaturas de activación y tres tiempos de residencia. La caracterización fisicoquímica se realizó mediante digestión ácida por microondas y lectura por medio de espectrometría de emisión de plasma ICP/OES y método de Dumas, para el análisis de muestras se empleó el método de adsorción de nitrógeno a su temperatura de condensación de 77.35 K y la determinación del área superficial con método Brunauer-Emmett-Teller (BET), se tomaron 11 puntos de 0.05 a 0.3 de presión relativa (p/p0); el equipo usado fue el caracterizador superficial Nova 4200e marca Quantachrome, las muestras se trataron a 350°C por un mínimo de 3 horas con vacío para el tratamiento de desgasificación. El volumen total de poros se obtuvo del último punto de la isoterma y estimación de área superficial con el asistente para microporos del software del equipo. Los resultados sugieren que el mejor tratamiento para obtención de carbón activado es aplicando 1 hora de activación química, concentración de ácido fosfórico al 70% v/v y temperatura de 450°C; ya que se obtuvo área superficial de 440.7 m^2/g y se utilizó una significancia $\alpha = 0.05$ donde se concluyó que existió diferencia significativa por lo que se aplicó prueba de Tukey.

2. Palabras clave

BET, poros, adsorción, saneamiento.

3. Abstract and keyword

Cardamom peel is not reused in favor of the environment in Cobán, Alta Verapaz. It was determined that 46.15% of dry shell weight is produced, physicochemical characteristics of shell and activated carbon were evaluated, see table 1. The chemical activation method was chosen by impregnation with phosphoric acid solutions, three activation temperatures and three times of residence. The physicochemical characterization was carried out by means of acid digestion by microwave and reading by means of ICP / OES plasma emission spectrometry and Dumas method, for the analysis of samples the nitrogen adsorption method was used at its condensation temperature of 77.35 K and the determination of the surface area with the Brunauer-Emmett-Teller (BET) method, 11 points were taken from 0.05 to 0.3 relative pressure (p / p0); The equipment used was the Nova 4200e Quantachrome brand surface characterizer, the samples were treated at 350 ° C for a minimum of 3 hours with vacuum for the degassing treatment. The total pore volume was obtained from the last point of the isotherm and estimation of the surface

area with the assistant for micropores of the equipment software. The results suggest that the best treatment to obtain activated carbon is applying 1 hour of chemical activation, a phosphoric acid concentration of 70% v / v and a temperature of 450 ° C; since a surface area of 440.7 m2 / g was obtained and a significance α = 0.05 was used, where it was concluded that there was a significant difference, so Tukey's test was applied.

Keywords

BET, pores, adsorption, sanitation.

4. Introducción

"La producción de cardamomo se encuentra distribuida en Guatemala de la siguiente forma: Alta Verapaz (68%), Quiché (14%), Huehuetenango (8%, Izabal (4%), Baja Verapaz (2%) y los demás departamentos suman el (4%) restante" (Cámara del Agro Guatemala, 2015, p. 50). El proceso para la obtención del pergamino y oro de cardamomo consiste en pesado, lavado, secado, descolado, clasificación/empaque y destino final.

Actualmente en el departamento de Alta Verapaz no se da un manejo al desecho obtenido en el proceso de descolado; que consiste en la cáscara de cardamomo. Los encargados de los beneficios al no encontrarle una aplicación lo que hacen es quemarlo, produciendo así contaminación hacia el ambiente ($CO_{2(g))}$ o tirarlo sobre sus fincas hasta que llegue a su punto de putrefacción.

Según Cámara del Agro de Guatemala:

> "Guatemala es el principal exportador y segundo productor a nivel mundial. La producción ha marcado un incremento en los últimos 5 años agrícolas, pasando de producir 19,330,542 toneladas para el período 2009/2010 a 38,515,178 toneladas, lo que representa un incremento del 50% y período 2016/2017 29,700 toneladas" (2015, p. 50).

En la actualidad no se cuenta con información de la cantidad de cáscara de cardamomo que se obtiene en el proceso de descolado para obtención de cardamomo en oro ni de las características fisicoquímicas que posee; es de gran importancia poder reutilizar el desecho y transformarlo en un producto amigable para el ambiente.

La presente investigación determinó la relación desecho/producto cardamomo en oro; así mismo evaluó características fisicoquímicas que posee para reusar dicho subproducto en beneficio del ambiente y convertirla en carbón activado; el carbón activado es una materia prima utilizada en tratamiento de aguas residuales y sus costos se encuentran muy elevados para adquirir en grandes cantidades. Los valores que indicaron que es un carbón activado adecuado fue el área superficial y volumen de poro; los cuales se determinaron por adsorción física de nitrógeno gaseoso a una temperatura de condensación de 77.35 K. "El volumen de los poros en carbones activados es típicamente determinado como mayor que 0.2 mL/g y el área superficial interna es generalmente entre 400 y 1,500 m^2/g" (García-Guel, Múzquiz-Ramos & Ríos-Hurtado, 2019, p. 2).

"Las propiedades finales de un carbón activado están determinadas en gran medida por el material precursor, debido a que es éste quien establece en forma esencial las características estructurales del carbón resultante" (Vargas, Giraldo & Moreno, 2008).

Hasta la fecha no se ha utilizado la cáscara de cardamomo como carbón activado, pero existen estudios con otro tipo de cáscara tales como: cascarilla de arroz, bagazo de caña, residuos de palmas aceiteras y bagazo de maíz (Vidal y colaboradores, 2018, p. 414). Así también carbón activado a partir de hueso de aceituna (Filippín, Luna, Pozzi & Pérez, 2017, p.66)., también se a explotado la producción de carbón activado a partir de cáscara de yuca (Castellar-Ortega y colabores, 2019, p. 7233). Se utilizó el método químico para obtención de carbón activado el cual "es un proceso térmico donde se emplean como activante reactivos químicos como ácido fosfórico, hidróxido de potasio, cloruro de zinc, entro otros" (Filippín, Luna, Pozzi & Pérez, 2017, p.66). La cantidad de tratamientos realizados se observa en tabla 1 y los resultados fueron analizados en programa de Infostat para determinar Anova y prueba de Tukey.

5. Planteamiento del problema

Guatemala tiene el segundo lugar en exportación de cardamomo a nivel mundial, las diferentes formas en exportar el producto son en pergamino y en oro. Cuando el producto exportado es en oro, los beneficios de cardamomo desechan el residuo obtenido en proceso de descolado y tiene ningún aprovechamiento o reutilización.

Si se toma de referencia la cantidad de "cardamomo exportado en los períodos de 2016/2017 de 29,700 toneladas" (Cámara del Agro de Guatemala, 2015, p.50), se puede estimar que el residuo de cáscara debió ser en grandes cantidades; la cual no fue aprovechada en transformarla en un producto sustentable con mayor valor agregado, simplemente lo quemaron o depositaron sobre fincas.

Una de las problemáticas de Guatemala es la contaminación de aguas de ríos. En el 2015 los autores Chán y Peña (2015) manifestaron que: "en Guatemala los principales ríos se encuentran contaminados por microbios, elementos tóxicos y sedimentos cuyo origen principal son las descargas de los centros poblados" (p. 19).

Se pretende determinar si las características que posee la cáscara de cardamomo son adecuadas para transformarla en carbón activado; ya que es un material poroso con gran área superficial y es capaz de adsorber una gran diversidad de sustancias tanto gaseosas como líquidas. "Los poros se clasifican en tres grupos principales: microporos, con dimensiones inferiores a 2 nm; mesoporos con dimensiones entre 2 nm y 50 nm; y macroporos con dimensiones superiores a los 50 nm" (Peña, Giraldo & Moreno, 2012).

6. Preguntas de investigación

1. ¿Qué cantidad de desecho se obtiene en el proceso de descolado para obtención de cardamomo en oro?
2. ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos que posee la cáscara de cardamomo?
3. ¿Cuáles son los elementos químicos presentes en cenizas de cáscara de cardamomo?
4. ¿Qué características tendrá la cáscara de cardamomo al transformarla a carbón activo?

7. Delimitación en tiempo y espacio

Delimitación en tiempo: La investigación inició a partir del mes de febrero del año 2020 y culminó hasta el mes de enero del año 2021.
Delimitación espacial: La cáscara de cardamomo se recolectó en beneficios de cardamomo ubicados en el casco urbano de Cobán, Alta Verapaz. Los procedimientos para la activación química se realizaron en el Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería Cunor y las caracterizaciones fisicoquímicas se hicieron en laboratorio de Analab. Para la determinación del área BET y poros se enviaron muestras al laboratorio del Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. en México.

8. Marco teórico

Propiedades físicas: "son aquellas características que pueden observarse o medirse sin afectar la identidad de una sustancia" (Timberlake, 2013, p. 60).
Propiedades químicas: "son aquellas que describen la capacidad de una sustancia para transformase en una sustancia nueva" (Timberlake, 2013, p. 62).
Residuos lignocelulósicos: es "la materia orgánica renovable causada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, aprovechable como fuente de energía" (Martínez, 2012, p. 34). "El material lignocelulósico está compuesto por tres polímeros: celulosa, hemicelulosa y lignina" (Martínez, 2012, p. 34). Actualmente en Guatemala no se está impulsando el uso de éstos materiales para beneficio del ambiente; por lo que se propone determinar si la cáscara de cardamomo posee características que permita transformarlo en carbón activado; el cual podría ser utilizado para adsorber sustancias en aguas de los ríos.
Carbón activado: "material carbonoso, microcristalino y no grafítico, preparado por carbonización de materiales orgánicos, especialmente de origen vegetal" (Martínez, 2012, p. 36).

En figura 1 se observa la estructura del carbón activado.

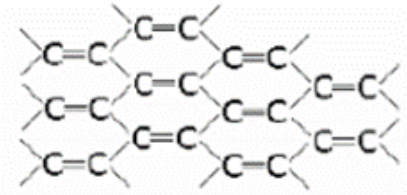

Figura 1. Estructura de carbón activado. *Nota*: la estructura se encuentra altamente desordenada por lo que se le denomina carbones no grafíticos.

Propiedades fisicoquímicas de carbones activados: "la estructura porosa interna de los carbones activados es tan desarrollada y accesible a los procesos de adsorción, que le otorga su principal característica de gran capacidad adsorbente" (Burgos & Jaramillo, 2015, p. 27). El tamaño de los poros puede ser controlado mediante la elección del agente activante y control de condiciones de preparación.

Según Martínez:

> De acuerdo a la clasificación de IUPAC los poros se clasifican en función de su tamaño de diámetro en tres grupos principales como se muestra en figura 2, microporos con diámetro de poro menor de 2nm, mesoporos con diámetro de poro entre 2 nm y 50 nm, macroporos con diámetro de poro mayor de 50 nm (2012, p. 38).

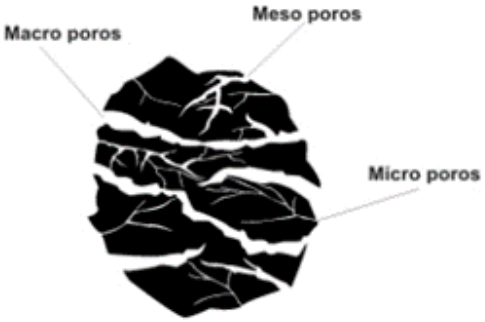

Figura 2. Estructura del carbón activado. *Nota.* Distribución de los gránulos de carbón activado.

Según Martínez:

> La química superficial del carbón activado tiene una naturaleza anfótera debido a coexistencia de grupos superficiales ácidos y básicos. Que un carbón sea globalmente ácido o básico dependerá de la concentración de estos grupos y de la fuerza como ácido o base de los mismos. El contenido de heteroátomos también

puede modificar las propiedades ácido-base de las disoluciones que se ponen en contacto con el carbón, o puede aumentar la acidez superficial, posibilitando su actuación como catalizador (2012, p. 40).

Adsorción: "es un fenómeno de superficie que involucra la transferencia de masa del adsorbato (gas o líquido) a la superficie de un sólido (adsorbente)" (Obregón, 2012, p. 18).
"Para moléculas altamente volátiles la cantidad adsorbida aumenta con la disminución del tamaño de poro mientras que para moléculas con altos puntos de ebullición la cantidad adsorbida aumenta con el desarrollo de la porosidad y el área específica" (Silvestre, Sepulveda, Rodríguez & Reinoso, 2009, p. 62).

9. Estado del arte

Existen diferentes investigaciones sobre cómo obtener carbón activado, entre ellas se encuentra "low-cost activated carbon production from organic waste and its utilization for wastewater treatment" (Shukla, Al Mushaiqri & Al Subhi, 2020, p.5), también "obtención y caracterización de carbón activado obtenido de lodos de plantas de tratamiento de agua residual de una industria avícola"(Rojas, Gutiérrez & Colina, 2016, pp. 453-462). Otro estudio importante fue "identificación de las variables óptimas para la obtención de carbón activado a partir del precursor Guadua Angustifolia Kunth"(Prías, Rojas, Echeverry, Fonthal & Ariza, 2011, pp. 2-5). También se realizó estudio sobre "obtención y caracterización de carbones activados a partir de semillas de Mucuna sp"(Vargas, Giraldo & Moreno, 2008, pp. 67-77).

10. Objetivo general

Caracterización del residuo obtenido en proceso de descolado de cardamomo (*Elettaria cardamomum*) y aprovechamiento para su transformación como carbón activado

11. Objetivos específicos

1. Establecer la cantidad de los desechos producidos en proceso de descolado para obtención de pergamino de cardamomo.

2. Caracterizar fisicoquímicamente la cáscara de cardamomo

3. Caracterizar fisicoquímicamente cenizas de cáscara de cardamomo

4. Determinar parámetros de transformación de cáscara de cardamomo a carbón activo

12. Hipótesis

Ho: cáscara de cardamomo no es apta para ser transformada en carbón activado.
Hi: La cáscara de cardamomo subproducto del procesamiento para obtención de cardamomo en oro tiene propiedades químicas y físicas adecuadas para transformarla y utilizarla como carbón activado.

13. Materiales y métodos

Redactar en tiempo pasado, detallando el proceso que se utilizó para llegar a los resultados que presenta.

13.1 Enfoque y tipo de investigación: la investigación que se desarrolló tuvo enfoque cuantitativo y fue experimental porque se controlaron las variables independientes.

13.2 Recolección de información: la materia prima para realizar investigación se obtuvo de beneficios de cardamomo ubicados en casco urbano de Cobán, A. V. Los criterios de inclusión fueron utilizar cáscara de cardamomo obtenido en proceso de descolado y criterio de exclusión fue que la cáscara no debía estar húmeda.

13.3 Para investigación cuantitativa: Se utilizó un modelo factorial de 3 factores en diseño completamente al azar con tres repeticiones. El modelo estadístico es el siguiente:

$$\begin{aligned} y_{ijkl} &= \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + u_{ijkl} \\ i &= 1, 2, \cdots, a \;\; ; \;\; j = 1, 2, \cdots, b \;\; ; \;\; k = 1, 2, \cdots, c \;\; ; \;\; l = 1, 2, \cdots, r \end{aligned}$$

Donde:
r = número de replicaciones
n = abcr (número de observaciones)

Tabla 1
Tratamientos a realizar con los 3 factores

	T1			T2			T3		
	C1	**C2**	**C3**	**C1**	**C2**	**C3**	**C1**	**C2**	**C3**
t1	t1C1T1	t1C2T1	t1C3T1	t1C1T2	t1C2T2	t1C3T2	t1C1T3	t1C2T3	t1C3T3
	t1C1T1	t1C2T1	t1C3T1	t1C1T2	t1C2T2	t1C3T2	t1C1T3	t1C2T3	t1C3T3
	t1C1T1	t1C2T1	t1C3T1	t1C1T2	t1C2T2	t1C3T2	t1C1T3	t1C2T3	t1C3T3
t2	t2C1T1	t2C2T1	t2C3T1	t2C1T2	t2C2T2	t2C3T2	t2C1T3	t2C2T3	t2C3T3
	t2C1T1	t2C2T1	t2C3T1	t2C1T2	t2C2T2	t2C3T2	t2C1T3	t2C2T3	t2C3T3

	t2C1T1	t2C2T1	t2C3T1	t2C1T2	t2C2T2	t2C3T2	t2C1T3	t2C2T3	t2C3T3
t3	t3C1T1	t3C2T1	t3C3T1	t3C1T2	t3C2T2	t3C3T3	t3C1T3	t3C2T3	t3C3T3
	t3C1T1	t3C2T1	t3C3T1	t3C1T2	t3C2T2	t3C3T3	t3C1T3	t3C2T3	t3C3T3
	t3C1T1	t3C2T1	t3C3T1	t3C1T2	t3C2T2	t3C3T3	t3C1T3	t3C2T3	t3C3T3

Nota. t = tiempo de activación, C = concentración de agente activador, T = variación de temperatura.

Para procesar la información obtenida en la transformación de carbón activado se utilizó el programa de Infostat 2020 con licencia de estudiante, la cual es gratis. Los resultados obtenidos se pueden observar en figura 5.
Se utilizó análisis de varianza para verificar si existía interacción entre las variables y se obtuvo que los valores obtenidos fueron menores a $\alpha = 0.05$; por lo tanto, se aplicó prueba de Tukey de comparación de medias, ver Figura 6, 7 y 8.

13.4 Técnicas e instrumentos: se utilizaron hojas de control que contenían los parámetros establecidos para cada tratamiento como masa, tiempo de secado, volumen de agente activador, tiempo de activación, tiempo de carbonización, volumen de líquido para lavado.

Tabla 2
Técnicas e instrumentos utilizados en obtención de carbón activado

Fase	Actividad	Procedimiento/técnica	Herramientas/instrumentos
Identificación de objeto de estudio	Conceptualización del problema, formulación de estado de arte y diseño de instrumentos	Revisión bibliográfica	Revistas indexadas
Recopilación de información	Identificación de datos y objeto	Revisión bibliográfica, trabajo de campo, recolección de datos	Revistas indexadas, hojas de recolección de datos
Interpretación	Procesamiento de datos	Medición de variables, análisis referentes teóricos	Tabulaciones y gráficas
Análisis de información	Relación de datos	Análisis de datos cuantitativos	Análisis gráficos y estadísticos, Infostat, excel
Síntesis y conclusiones	Producción de informe	Escritura, redacción, compilación	Documento teórico

Nota. El análisis estadístico se encuentra detallado en sección de investigación cuantitativa

13.5 Operacionalización de las variables o unidades de análisis: en figura 3 se puede observar clasificación de variables.

Variables independientes	Variables dependientes	Tipo de variable	Nivel de medición	Unidad de medida	Dimensionales	Indicadores	Instrumento
Tiempo de activación		Cuantitativa continua	Intervalo	Horas	h	Cantidad de tiempo en impregnarse el agente activador	Cronómetro
Concentración del activador		Cuantitativa continua	Intervalo	Porcentaje peso/peso	%p/p	Cantidad de reactivo	Balanza analítica
Temperatura de activación		Cuantitativa continua	Intervalo	Grados Celsius	°C	Variación de temperaturas	Termómetro
	Área BET	Cuantitativa continua	Intervalo	Área/masa	m2/g	Tamaño de poro	Nova 4200e, marca Quantachrome
	Volumen del poro	Cuantitativa continua	Intervalo	volumen/masa de poro	mL/g	Relación de volumen y masa de poro	Nova 4200e, marca Quantachrome
	Caracterización fisicoquímica	Cuantitativa continua	Intervalo	Partes por millón	ppm	Cantidad de traza presente	Espectrometría de emisión de plasma ICP/OES y método Dumas

Figura 3. Clasificación de las variables y forma de medición. *Nota.* Los procedimientos de activación química se realizaron en ITIC.

13.6 Procesamiento y análisis de la información: Se utilizó el programa Infostat 2020 con licencia para estudiantes, se realizó un Anova para determinar el mejor tratamiento para obtención de carbón activado y se manejó un nivel de significancia de α=0.05; de acuerdo a los resultados obtenidos se rechazó hipótesis nula ya que las medias fueron estadísticamente significativas (ver figura 4), se procedió a realizar prueba de Tukey para comparar las medias de los tratamientos (ver figura 5, 6 y 7).

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
area BET	81	0.87	0.83	37.25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	598248.52	20	29912.43	20.05	<0.0001
repetición	0.00	2	0.00	0.00	>0.9999
concentracion	128456.73	2	64228.36	43.05	<0.0001
temperatura	37462.43	2	18731.21	12.55	<0.0001
concentracion*temperatura	288522.27	4	72130.57	48.35	<0.0001
tiempo	67884.65	2	33942.32	22.75	<0.0001
concentracion*tiempo	55564.23	4	13891.06	9.31	<0.0001
temperatura*tiempo	20358.23	4	5089.56	3.41	0.0140
Error	89517.46	60	1491.96		
Total	687765.98	80			

Figura 4. Anova de los tratamientos realizados en obtención de carbón activado. *Nota.* Se utilizó el programa de Infostat y los valores obtenidos de p fueron menores a 0.05.

```
Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=25.26412
Error: 1491.9577 gl: 60
concentracion Medias n  E.E.
75            151.82 27 7.43 A
25            104.94 27 7.43    B
50             54.30 27 7.43       C
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)
```

Figura 5. Prueba de Tukey para la variable de concentración. *Nota*. Se utilizó programa de Infostat para obtener la comparación de medias.

```
Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=25.26412
Error: 1491.9577 gl: 60
temperatura Medias n  E.E.
450         129.47 27 7.43 A
350         104.78 27 7.43 A
400          76.82 27 7.43    B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)
```

Figura 6. Prueba de Tukey para la variable temperatura. *Nota.* Se utilizó programa de Infostat para obtener la comparación de medias

```
Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=25.26412
Error: 1491.9577 gl: 60
tiempo Medias n  E.E.
1.00   140.88 27 7.43 A
0.50    99.92 27 7.43    B
1.50    70.27 27 7.43       C
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)
```

Figura 7. Prueba de Tukey para la variable tiempo de activación. *Nota.* Se utilizó programa de Infostat para obtener la comparación de medias

14. Vinculación, difusión y divulgación

El Centro de Investigación de Materiales Avanzados, S.C., ubicado en Chihuahua, México fue el laboratorio en dónde se determinó las áreas BET de los carbones activados. La divulgación de la investigación se realizó por la página del Instituto de Investigación y Tecnología de Ingeniería Cunor.

15. Productos, hallazgos, conocimientos o resultados:

		%						ppm				
Muestra	Identificación	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Azufre	Boro	Cobre	Hierro	Manganeso	Cinc
1	Muestra seca	0.83	0.07	**7.03**	0.91	0.79	0.08	22.04	6.91	114.00	412.50	66.38
2	Muestra seca triturada	0.81	0.07	**7.11**	0.95	0.77	0.08	20.02	7.67	138.20	489.10	64.69
3	Carbón activado	2.10	**14.74**	2.44	0.67	0.46	0.04	24.00	19.17	**371.00**	263.40	52.73

Figura 8. Parámetros de caracterización fisicoquímica de cáscara de cardamomo. *Nota*. Los análisis fisicoquímicos se realizaron en laboratorios de Analab.

Tabla 3

Promedios de área superficiales y poros en carbón activado

Muestra	Área (m^2/g)	Volumen total de poros (cm^3/g)	Muestra	Área (m^2/g)	Volumen total de poros (cm^3/g)
1	129.10	0.12	15	17.20	0.03
2	82.50	0.08	16	37.90	0.05
3	77.60	0.08	17	104.10	0.11
4	136.90	0.12	18	100.40	0.13
5	154.40	0.14	19	41.00	0.05
6	96.70	0.10	20	137.00	0.14
7	59.30	0.06	21	104.30	0.11
8	176.20	0.15	22	14.30	0.03
9	30.30	0.05	23	**4.00**	0.01
10	159.90	0.17	24	6.40	0.01
11	134.60	0.15	25	296.50	0.20
12	78.50	0.11	26	**440.70**	0.33
13	24.40	0.04	27	121.00	0.14
14	34.40	0.05			

Nota. Se presentan los promedios de los 27 tratamientos ya que se realizaron 3 repeticiones.

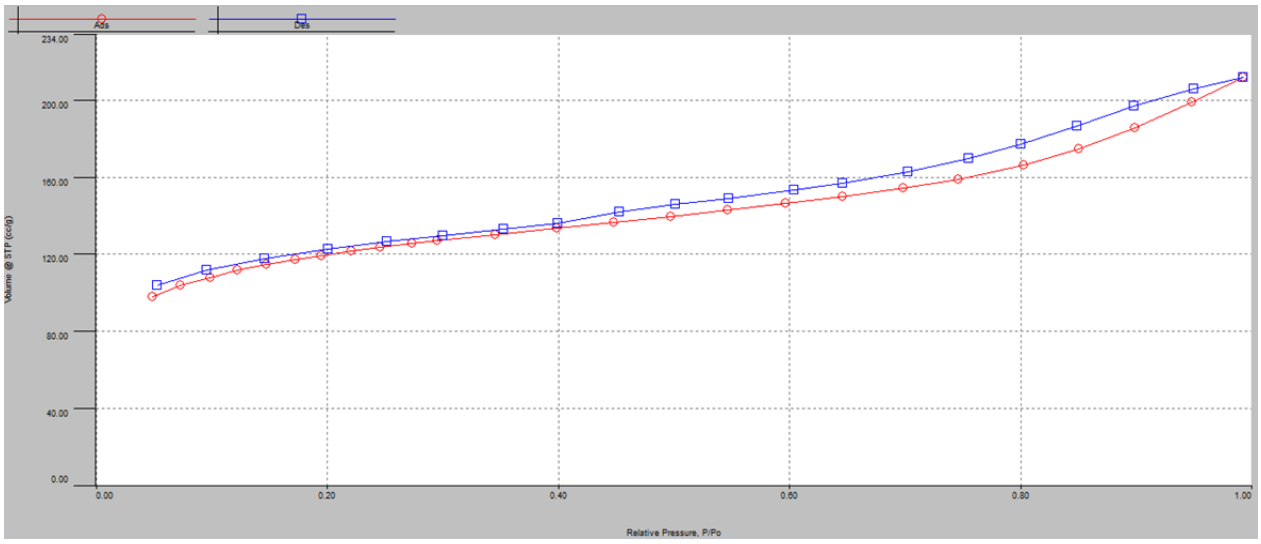

Figura 9. Isoterma lineal para determinación de volumen total de poros. *Nota.* La línea roja es de adsorción y línea azul es desorción. Gráfica se obtuvo de software del equipo Nova4200e, marca Quantachrome.

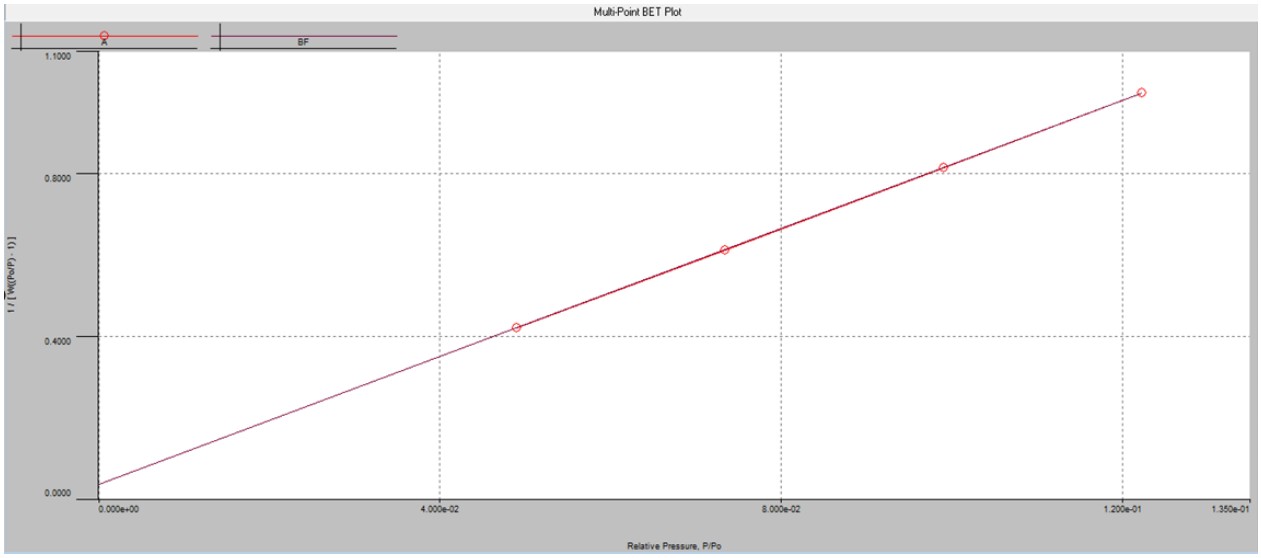

Figura 10. Estimación de área superficial del carbón activado. *Nota.* Línea roja es adsorción y línea púrpura es desgasificación de superficie. Gráfica se obtuvo de software del equipo Nova4200e, marca Quantachrome

Tabla 4

Combinación óptima de las variables

Factor A		Factor B		Factor C		Combinación óptima
A1	Concentración 25%	B1	Temperatura 350°C	C1	Tiempo 0.5 horas	
A2	Concentración 50%	B2	Temperatura 400 °C	C2	Tiempo 1 hora	A3-B3-C2
A3	Concentración 75%	B3	Temperatura 450°C	C3	Tiempo 1.5 horas	

Nota. La concentración está expresada en % v/v.

Tabla 5

Cantidad de cáscara de cardamomo

Masa de cardamomo (cáscara y oro) (g)	Masa de cáscara (g)	Masa de cardamomo en oro (g)	Cantidad de residuo (%)
20	9.23	10.77	46.15

Nota. Los valores presentados son promedios.

Figura 11. Cáscara de cardamomo y cardamomo en oro. *Nota.* Los valores de relación desecho/cardamomo en oro se encuentran en tabla 5.

Figura 12. Fases de cáscara de cardamomo hasta obtener carbón activado. *Nota.* El carbón activado que se obtuvo tiene un área superficial de 440.70 m^2/g.

16. Análisis y discusión de resultados:

Se determinó que el porcentaje de cáscara residual en obtención de cardamomo en oro fue de 46.15% en peso seco, siendo este valor 2/4 partes del producto secado (cáscara y oro); al realizar comparación con cáscara de café, Pacheco, Torres y Almanza (2018) especifican que: "La cáscara de café como tal equivale al 29% en peso seco" (p.118)., lo cual indica que es una cantidad significativa de desecho obtenido durante el proceso. En cuanto a caracterización, en Figura 9 se indican los valores que posee cada parámetro y sobresale la cantidad de potasio con 7.11% en 0.25 gramos de cáscara; así mismo se observan los parámetros del carbón activado, siendo el fósforo con 14.74% y hierro con 371 ppm los valores más altos. En 2020 se determinó que los elementos presentes en carbón activado a partir de cáscara de banana fueron fósforo 9.1%, Zinc 1.5%, Silicio 0.5% (Shukla, Al Mushaiqri & Al Subhi, 2020, p.5); por lo cual se considera que los valores obtenidos en esta investigación se encuentran dentro de los rangos de carbones activados obtenidos de distintos tipos de cáscaras. El valor más alto de área específica o área BET fue de 440.70 m^2/g según tabla 3; el cual indica un valor aceptable si se compara con área superficial de carbón activado obtenido de ciruela mombina que corresponde a 505 m^2/g (Vidal, Rodríguez, Martínez Ocampo & Barrios, 2018, p. 416)., área superficial de carbón activado obtenido de hueso de aceituna es de 609.5 m^2/g (Filippín, Luna, Pozzi & Pérez, 2017, p.66)., área superficial de carbón activado obtenido de cáscara de yuca es de 472 m^2/g (Castellar-Ortega y colaboradores, 2019, p.7233)., área superficial de carbón activado obtenido de cáscara de cacao es de 500 m^2/g (Vidal y colaboradores, 2018, p. 416). El volumen de poro obtenido en carbón activado fue de 0.33 cm^3/g, siendo el valor más alto; el cual se observa en tabla 3, al

compararlo con volumen de poro de carbón activado obtenido de cáscara de naranja 0.26 cm^3/g (Vidal y colaboradores, 2018, p. 415), volumen de poro de carbón activado obtenido de cáscara de yuca 0.34 cm^3/g (Castellar-Ortega y colabores, 2019, p. 7233)., se determinó que se encuentra dentro del rango de carbones activados obtenidos de diferentes residuos agroindustriales. La cáscara de cardamomo puede transformarse en carbón activado utilizando los valores indicados en tabla 4.

17. Conclusiones

Se determinó que se genera un 46.15% de residuo de cáscara de cardamomo al obtener cardamomo en pergamino. La caracterización de cáscara indica que posee parámetros adecuados para la transformación en carbón activado; de igual forma los valores obtenidos en caracterización de carbón activado son similares a los obtenidos en otros procesos con distintos tipos de cáscaras o residuos agroindustriales. De acuerdo a los resultados obtenidos en tabla 3, el mejor tratamiento para transformar cáscara de cardamomo en carbón activado es utilizando 1 hora de activación química, concentración de ácido fosfórico al 75% v/v y temperatura de carbonización de 450°C, obteniendo un área superficial de 440.70 m^2/g y volumen de poro de 0.33 cm^3/g. La hipótesis nula se rechazó porque las variables sí interactuaron entre sí y se confirmó con prueba de Tukey.

18. Impacto esperado

El tema de reutilización de cáscara de cardamomo ha sido de poca importancia para la región de Alta Verapaz. Con esta investigación se conoció que posee características adecuadas para ser transformada en un producto que puede utilizarse para adsorber compuestos líquidos y gaseosos, de acuerdo a los valores de área superficial y volumen de poro determinados.

19. Referencias

Burgos, G., & Jaramillo, J. (2015). *Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el cantón Milagro, provincia del Guayas* (Tesis licenciatura). Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Químicas, Ecuador.

Cámara del Agro Guatemala (2015). El Agro es vital para la economía del país: Elementos de propuestas de política agrícola para Guatemala (p. 50). Recuperado de

https://agrequima.com.gt/site/wp-content/uploads/2017/05/Elementos-de-Propuesta-Politica-para-Guatemala.pdf

Carrillo, C. C. (2013). Producción de carbón activado y sílice a partir de cascarilla de arroz. *Scientia et Technica, 18*(2), 3.

Chán, M., & Peña, W. (2015). Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca de alta del Sis Icán, Guatemala. *UNED Research Jorunal/Cuadernos de Investigación UNED, 7*(1), 19-23.

Castellar-Ortega, G., Mendoza, E., Angulo, E., Zilena, P., Rosso, M., & Jaramillo, J. (2019). Equilibrio, cinética y termodinámica de la adsorción del colorante DB-86 sobre carbón activado de la cáscara de yuca. *Revista MVZ Córdoba, 24*(2), 7231-7238.

García-Guel, Y., Múzquiz-Ramos, E., & Ríos-Hurtado, J. (2019). Telas de carbón activado: generalidades y aplicaciones. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 22*(1), 1-16.

Filippín, A., Luna, N., Pozzi, M., & Pérez, J. (2017). Obtención y caracterización de carbón activado a partir de residuos olivícolas y oleícolas por activación física. *Avances en Ciencias e Ingeniería, 8*3), 59-71.

Información de mercados en Centro América. (2018). Buenos números para el cardamomo. Recuperado de https://www.centralamericadata.com/es/article/home/Buenos_nmeros_para_el_cardamomo

Klug, M. (2012). Pirólisis un proceso para derretir la masa. *Revista de Química*, *26*(1), 37.

Lozano, M.A., Lillo, D., Cazorla, & Linares, A. (2001). Preparation of actívate carbons form spanish anthracite. Activation by KOH. *Carbon, 39*(5), pp. 741-749. doi: 10.1016/S0008-6223(00)00185-8

Martínez, A. (2012). *Desarrollo de carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos para la adsorción y recuperación de tolueno y n-hexano* (Tesis doctoral). Universidad San Jorge, Instituto del Medio Ambiente, Zaragoza.

Pacheco, T., Torres, S., & Almanza, G. (2018). Cuantificación de compuestos bioactivos en cácara de Coffea Arábica en Bolivia. *Revista Boliviana de Química, 35*(5), 117-126.

Paz De, J. F. (2009). *Fortalecimiento de la cadena productiva de cardamomo (*Elettaria cardamomum L. Maton*) con énfasis en el asocio de la entomofauna, especies arvenses y fitopatógenos, en la Aldea Campur, San Pedro Carchá, Alta Verapaz* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Guatemala.

Peña, K., Giraldo, L., & Moreno, J. (2012). Preparación de carbón activado a partir de cáscara de naranja por activación química. Caracterización física y química. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, 41*(2), 1-14.

Prías, J., Rojas, C., Echeverry, A., Fonthal, G. & Calderón, H. (2011). Identificación de las variables óptimas para la obtención de carbón activado a partir del precursor Guadua Angustifolia Kunth. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 35*(135), 2-5.

Shukla, S., Al Mushaiqri, N., & Al Subhi, H. Low-cost activated carbon production from organic waste and its utilization for wastewater treatment. *Appl Water Sci, 10*(62), 5-9.

Silvestre, A., Silvestre, J., Sepulveda, A., & Rodríguez, F. (2009). Ethanol removal using activaed carbón: Effect of porous structure and Surface chemistry. *Microporous and Mesoporous Materials, 120*(1), 62-68.

Timberlake, K. (2013). *Química general, orgánica y biológica* (4ª. ed.). México: Pearson.

Vargas, J., Giraldo, L., & Moreno, J. (2008). Obtención y caracterización de carbones activados a partir de semillas de Mucuna sp. *Revista Colombiana de Química, 37*(1), 67-77.

Vidal, M., Rodríguez, A., Martínez, K., Ocampo, J., & Barrios, W. (2018). Potential of agroindstrial waste for the synthesis of activated carbon: a review. *Scientia et Technica, 23*(3), 412-419.

20. Apéndice

Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Guía de informe final

20. Apéndice

Listado de los integrantes del equipo de investigación (en una sola hoja)

Contratados por contraparte y colaboradores

Nombre	Firma
Edgar Arnoldo Sierra Dubón	
Walter Armando Herrera Cifuentes	

Contratados por la Dirección General de Investigación

Nombre	Categoría	Registro de Personal	Pago		Firma
			SI	NO	
Karen Elizabeth Vásquez Villeda	Coordinadora	20201413	X		

Guatemala 12 de febrero de 2021.

Karen Elizabeth Vásquez Villeda
Proyecto de Investigación DES3CU

Dra. Hilda Elena Valencia M. de Abril
Coordinadora
Programa Universitario de Investigación Interdisciplinaria en Salud

ng. MARN Julio Rufino Salazar Pérez
Coordinador General de Programas
Digi USAC

Ing. Agr. Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas