

Obtención de un Material Carbonáceo a Partir de Residuos de Semilla de Aguacate (*Persea americana*)

E. F. Haro Cisneros[#], J. P. Mojica Sánchez^{#1}

[#]Tecnológico Nacional de México: Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez

Unidad Académica Tamazula, Jalisco, México

¹juan.mojica@tamazula.tecmm.edu.mx

Resumen— En los últimos años se ha presentado un desarrollo vertiginoso en la producción agrícola de México y de Jalisco, muchos de estos cambios se favorecieron por el aumento de la demanda internacional. Uno de los cultivos referentes destinado para venta local, nacional y en el extranjero es el de aguacate (*Persea americana*).

El aguacate es un fruto en el que pueden desencadenarse problemas por presencia de plagas o enfermedades. Esto hace que no se consuma y finalmente cierta cantidad de fruto se convierte en un residuo. Afortunadamente existen esfuerzos para poder aprovechar los residuos agroalimentarios, y poder generar un esquema en donde se obtengan beneficios por la obtención de posibles compuestos de interés. Se han reportado diferentes métodos para poder obtener materiales de carbono a partir de diferentes matrices, como la concha del coco.

Existen reportes del empleo de semilla de aguacate para generar materiales carbonáceos, pero los procesos no están completamente estudiados o utilizan activantes químicos que pueden contaminar. En el presente proyecto se generó la optimización de un proceso para la obtención de un material carbonáceo a partir de semilla de aguacate de desperdicios, las variables a evaluar fueron concentración de activador químico (KOH), tiempo y temperatura de calcinación, se encontró capacidad de 450 mg de I₂/g carbonizado por parte del tratamiento de 400 °C y radio de impregnación de 1:2, además se evaluó su capacidad de adsorción en agua de hidroponía, en donde tuvo una gran afinidad por Ca²⁺.

Palabras clave—Semilla de aguacate, material carbonáceo, activador químico, adsorción, materiales funcionalizados

I. INTRODUCCIÓN

El carbón activado (CA), es un material multiporoso (Figura 1), empleado en diferentes campos, como en la separación y concentración de componentes útiles o nocivos. Es un producto que se genera a partir de carbón amorfo, en el cual el proceso de activación permite el incremento de hasta 300 veces su área superficial [1].

El carbón activado presenta tres tipos de poros según su radio, los cuales pueden ser macro, meso y microporosos. En el caso de los primeros, el radio del poro generalmente es mayor a 50 nm, para los segundos se encuentran radios menores de 50 nm, pero con radios mayores a 2 nm, finalmente para el caso micro los tamaños de radio del poro son menores de 2 nm. La distribución del tamaño de poro depende del origen de la materia prima, el tipo de activación química o física, y el tiempo de activación [2-5].

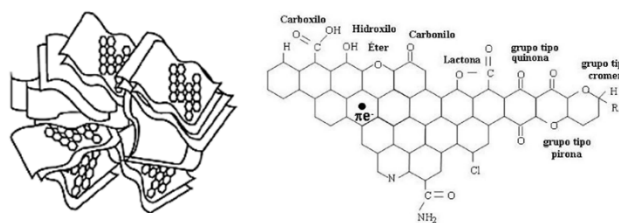


Fig. 1. De lado izquierdo. Estructura propuesta para un carbón activado. De lado derecho. Posibles grupos funcionales que se puede localizar en un carbón activado.

El interés de grupos de investigación radica en desarrollar metodologías para producir CA a partir de materiales más baratos, renovables y fácilmente disponibles. Recientemente, algunos residuos agrícolas como la cáscara de rambután, la fibra de palmera, los residuos de bambú, cáscaras de mango, hojas de alcachofa y semillas de aguacate se utilizaron para preparar CA [2].

En la literatura, la activación física y la activación química son los dos métodos utilizados para producir carbón activado. Basándose en trabajos anteriores sobre estos métodos de preparación, la activación química ha sido método predilecto para preparar carbón activado. Sus ventajas son la simplicidad, el menor tiempo de producción menor temperatura de activación, buen desarrollo de la estructura porosa y un mayor rendimiento [4]. En el proceso de activación química, tanto la carbonización como la activación se llevan a cabo simultáneamente mediante la descomposición de la materia prima impregnada con un agente activador químico apropiado, como el ácido fosfórico en una atmósfera inerte. Estos materiales de impregnación se utilizan como agentes deshidratantes y oxidantes que influyen en la descomposición pirolítica e inhiben la

formación de alquitrán, mejorando así el rendimiento del carbón activado. La calidad del carbón activado obtenido depende principalmente del material precursor utilizado y de las condiciones de preparación. La evaluación de las interacciones entre estos factores es esencial para determinar las características de los carbones activados preparados [3-5].

El CA se utiliza con diferentes propósitos y aplicaciones. Para tal motivo es importante la activación, este proceso puede darse por fenómenos físicos o químicos. En la activación física se emplean gases oxidantes tales como CO_2 , vapor de agua o una mezcla. El proceso de activación física consta de una primera carbonización (pirólisis) a temperaturas de entre 400 y 600 °C, una vez alcanzada la temperatura y el tiempo de esta etapa, inmediatamente se eleva la temperatura hasta valores por encima de los 800 °C, posterior a ello se emplea un gas con la función oxidante [6]. En el caso de la activación por la vía química se utilizan temperaturas entre 400 y 900 °C, además es importante utilizar agentes químicos que se impregnan, como H_3PO_4 , el ZnCl_2 y el KOH para poder generar poros en el material. Generalmente el tipo de poros que se obtienen por este tipo de activación está dado por el agente activador y el grado de impregnación que se dé en la superficie del material [5, 6].

El empleo de los carbones activados ha resultado eficaz para la remediación de contaminantes como nitratos y pesticidas en aguas residuales. Se ha demostrado la capacidad de fibras de carbono para atrapar al compuesto atrazina que es muy utilizado en agricultura. El origen de esta selectividad puede deberse a la presencia de sitios activos en la superficie del carbono. Esta es una propiedad que podría explotarse en la limpieza de muestras para el aislamiento de compuestos como los hidrocarburos poliaromáticos (HAP) y los bifenilos policlorados (PCB) de matrices complejas como suelos y sedimentos. En la Tabla 2 se presenta una lista de algunas moléculas con muy alta, alta y baja probabilidad de ser retenidas por carbón activado [7].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El diagrama general de trabajo se esquematiza en la Figura 2.

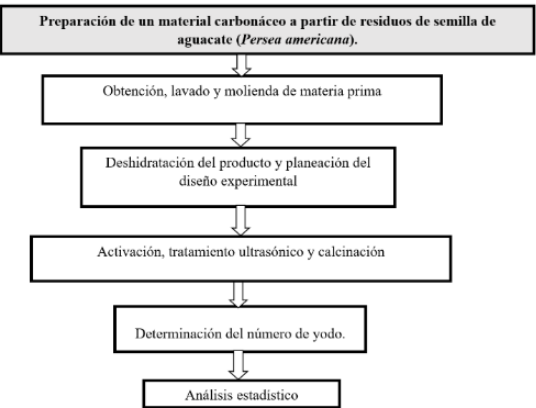


Fig. 2. Diagrama de flujo general de trabajo

2.1. Obtención, lavado y molienda de materia prima

La materia prima se obtuvo a partir de residuos de la producción de aguacate Hass de huertos del rancho la providencia (19.797478288745047, -103.43444461787848) localizado en el municipio de Gómez Farías, Jalisco. El aguacate recolectado representa un producto sin destino para el consumo en mercado nacional o internacional. Se efectuó el lavado de la semilla de aguacate con agua destilada, se secó el remanente de humedad a temperatura ambiente, posteriormente se disminuyó el tamaño de la semilla utilizando un rallador convencional de cocina (Figura 3) hasta un tamaño de partícula aproximadamente de 2 mm.

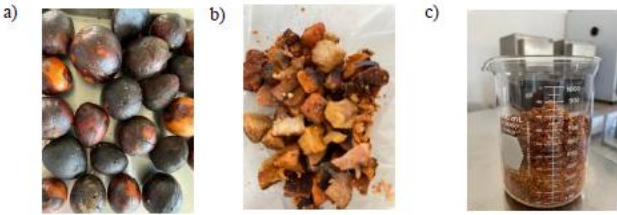


Fig. 3. Semilla de aguacate lavada (a), triturada (b) y molida (c).

2.2. Deshidratación del producto y planeación del diseño experimental

El producto obtenido de la semilla de aguacate del paso anterior se sometió a un proceso de deshidratación en una estufa a una temperatura de 100 °C por un tiempo de 12 horas. Una vez realizado esto, se procedió a generar un diseño de experimentos, para el proceso activación y carbonización para la formación de carbón activado. El diseño elegido fue un diseño factorial de dos factores (Radio de impregnación y Temperatura), para el primer factor se consideraron dos niveles y para el segundo factor tres niveles (Tabla I).

TABLA I
DESCRIPCIÓN DE LOS FACTORES Y SUS NIVELES EN EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

Factor	Niveles
Radio de impregnación	1:2 (10 g KOH)
	1:4 (20 g KOH)
Temperatura	400 °C
	500 °C
	600 °C

2.3. Deshidratación del producto y planeación del diseño experimental

Se procedió a realizar la mezcla de la harina de semilla de aguacate con hidróxido de potasio (KOH), se mezclaron y depositaron en tres bolsas Ziploc® la cantidad de 5 g de semilla de harina de semilla de aguacate y 10 g de KOH

(radio de impregnación) por bolsa, además se realizó otra mezcla con un radio de impregnación 1:4 en donde en tres bolsas de la misma marca se depositaron 5 g de la harina de semilla de aguacate con 40 g de KOH. Las seis bolsas se depositaron en equipo para tratamiento ultrasónico marca Witeg a 40 kHz por un tiempo de 40 minutos, posterior a ello las muestras se depositaron en crisoles y se calcinaron en mufla a temperaturas comprendidas de 400, 500 y 600 °C.

2.4. Purificación del producto calcinado y optimización del proceso de calcinación

Se efectuaron lavados para realizar la purificación del carbón activado, para ello se lavó el producto final con HCl 0.1 M, posterior a ello el producto se filtró y se relavó con agua destilada, se dejó secar en estufa por 24 horas a 110 °C. Se encontró que a $T = 400$ °C se favorece la carbonización, por lo que se empleó una rampa de calentamiento. Se empleó una temperatura inicial de 150 °C durante 20 minutos, después 10 minutos a 200 °C, 10 minutos a 250 °C, 10 minutos a 350 °C y por último 10 minutos a 400 °C (Figura 4).

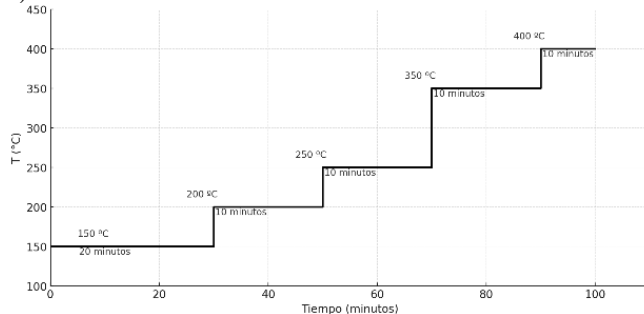


Fig. 4. Rampa de temperatura para proceso de carbonización. El agente activador fue KOH.

2.5. Deshidratación del producto y planeación del diseño experimental y análisis estadístico.

Se pesaron 1.5 g de la muestra, y se colocaron en un matraz Erlenmeyer con tapa esmerilada de 250 mL, luego se adicionaron 5 mL de HCl al 5% al matraz. Se agitó vigorosamente y se calentó hasta ebullición durante 30 segundos y se enfrió a temperatura ambiente. Posteriormente se adicionaron 50 mL de una solución de yodo 0.1 N, se tapó y se agitó vigorosamente durante 30 segundos, después se filtró la solución y en un vaso de precipitados se recolectó el filtrado descartando los primeros 15 mL. Una alícuota de 25 mL del filtrado se llevó a un matraz Erlenmeyer de 125 mL y se tituló con una solución estandarizada de tiosulfato de sodio 0.1 N hasta coloración amarilla pálida, en ese momento se adicionaron unas gotas de indicador de almidón, se continuó la titulación hasta decolorar la solución con el tiosulfato de sodio. El volumen de tiosulfato gastado fue registrado. El análisis estadístico se realizó utilizando el programa Minitab, para ello se efectuó un ANOVA factorial, teniendo como variable de respuesta el número de yodo, además se consideró un nivel de significancia del 5% ($p < 0.05$).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Evaluación de peso, altura y anchura de la materia prima

Se determinaron los pesos de las semillas de aguacate de la materia prima, en total se emplearon diez semillas como sustrato para elaborar carbón activado, todas las semillas fueron obtenidas de aguacate de la variedad Hass. En la Figura 5 se presentan los pesos de las semillas, en general el peso de las semillas es menor al peso de otras semillas de aguacate Hass reportadas. Bressani et al., 2009 reportó un peso promedio de 76 g, una de las posibles explicaciones del menor peso encontrado en la materia prima pudiera ser que el producto corresponde a un residuo, en donde generalmente este tipo de producción no se destina a consumo, usualmente el tamaño de este tipo de aguacate de características pequeñas se dice que tiene un calibre de 70 y en donde si pudiera ser comercializado en mercado nacional [8].

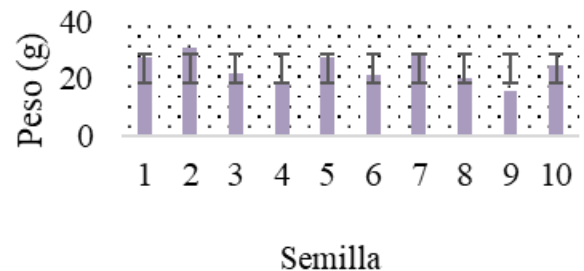


Fig. 5. Variación del peso de la semilla de aguacate con desviación estándar.

Otro de los factores analizados fue determinar la distribución de la semilla empleada, el 30% de la semilla se encontró en un rango de 15 a 20 g, otro 30 % correspondió a semilla de un peso entre 21 y 25 gramos, el último 40 % se concentró en semillas con pesos superiores a 26 gramos (Tabla II). El peso total de la materia prima fue de 236.07 g. Otro de los parámetros que se cuantificaron corresponden a la altura y anchura de la semilla, para ello utilizando un vernier, se midieron las semillas; todos los valores de altura se encontraron entre 3.0 a 4.1 cm, mientras que la anchura mínima fue de 2.8 cm y la anchura máxima de 3.6 cm.

TABLA II
DISTRIBUCIÓN DE PESO Y PORCENTUAL DE LA MATERIA PRIMA.

Distribución de peso (g)	Número de semillas	Distribución porcentual del peso de la semilla
15-20	3	30
21-25	3	30
26-30	3	30
31-35	1	10

3.2. Obtención de producto carbonizado y evaluación de los productos

Se evaluó la naturaleza física de los tratamientos bajo estudio, en el caso particular del tratamiento a 600 °C y con

un radio de impregnación de 1:4 se observó la formación de carbonato, probablemente por el hecho de que se trabajó con una mayor concentración de activador que en su estructura posee oxígeno. En los demás casos se observó la formación de un material con apariencia carbonácea, se determinó el porcentaje de rendimiento, el mejor porcentaje fue de 12.74 % para el tratamiento de 600 °C y con un radio de impregnación de 1:4, mientras que el mayor rendimiento se obtuvo en esta misma concentración de activador pero a una T=400 °C.

Los resultados obtenidos para el índice de yodo permiten inferir la capacidad adsorbente de los materiales carbonizados sintetizados a diferentes temperaturas y radios de impregnación. El tratamiento que combinó una temperatura de 400 °C con un radio de impregnación de 1:2 (10 g de KOH) fue el que mostró el valor más alto de índice de yodo (450 mg de I₂/g), lo cual indica una mayor generación de poros, probablemente de tipo microporoso, adecuados para la adsorción de moléculas pequeñas. Este resultado sugiere que una temperatura moderada permite la formación eficiente de estructuras porosas sin llegar a colapsarlas, como podría ocurrir a temperaturas mayores.

En contraste, los tratamientos realizados a 500 °C y 600 °C mostraron una marcada disminución en el índice de yodo, especialmente con mayores cantidades de KOH, lo cual sugiere que la sobreimpregnación y la alta temperatura pueden favorecer la formación de cenizas o compuestos inorgánicos como carbonatos, que bloquean o reducen la porosidad del material. Esta hipótesis es consistente con la observación visual de productos con aspecto carbonáceo más denso o incluso con formación de estructuras cristalinas a altas temperaturas (Tabla III).

TABLA III
DISTRIBUCIÓN DE PESO Y PORCENTUAL DE LA MATERIA PRIMA.

Temperatura (°C)	Radio de impregnación en g de KOH	Índice de Yodo (mg de I ₂ /g carbonizado)
400	10	450
400	20	269
500	10	90
500	20	62
600	10	0
600	20	38

El análisis ANOVA confirmó que la temperatura tiene un efecto estadísticamente significativo ($p = 0.040$) sobre el índice de yodo, reafirmando su papel como factor crítico en el proceso de activación y carbonización. Por otro lado, aunque se evaluaron dos niveles de radio de impregnación, los resultados no mostraron una diferencia estadísticamente significativa, lo cual sugiere que, en este rango, la temperatura tiene un efecto más dominante sobre la formación de poros activos (Tabla IV).

TABLA IV
ANOVA DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE LOS TRATAMIENTOS CON RESPECTO A LA ADSORCIÓN DE YODO.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	133041	66521	11.41	0.040
Error	3	17495	5832		
Total	5	150536			

En cuanto a la adsorción de calcio (Ca^{2+}) en agua de hidroponía, el carbón activado obtenido a 400 °C también mostró una alta afinidad por este ion, superando a los tratamientos sin carbón. Esto sugiere que el material sintetizado no solo es eficaz para adsorber moléculas pequeñas, sino también cationes metálicos, lo que lo hace útil en aplicaciones ambientales y agrícolas (Figura 6).

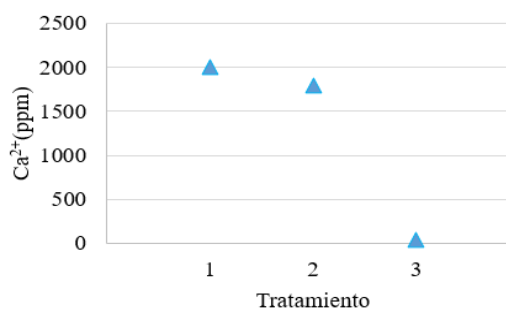


Fig. 6. Gráficos de los análisis de Ca^{2+} del agua de hidroponía. Tratamiento 1 = Agua de hidroponía sin filtrar, tratamiento 2 = Agua de hidroponía filtrada sin CA, tratamiento 3 = Agua de hidroponía filtrada con CA.

IV. CONCLUSIÓN

Se realizó el proceso de optimización para la obtención de carbón activado, se encontró que a una Temperatura de 400 °C y a una cantidad de 10 g de KOH se favoreció la formación de CA, mayores temperaturas parecen favorecer la formación de cenizas y carbonatos, el radio de impregnación no parece influir al menos estadísticamente, se encontró capacidad de adsorción cuando se evaluó al carbón activado en un filtro, encontrándose una mejor respuesta de adsorción de Ca^{2+} .

REFERENCIAS

- [1] M. Fombuena, A. Valentín, Manual del carbón activo, Universidad de Sevilla, 2010.
- [2] M. V. Mejía Vidal, "Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión," *Scientia et technica*, vol. 23, no 3, pp. 411-419, 2018. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6760221>
- [3] J. U. K. Oubagaranadin, Z. V. P. Murthy, Activated carbons: Classifications, properties and applications, Nova Science Publishers Inc, USA, pp. 239-266, 2011.
- [4] R. I. Kosheleva, A. C. Mitropoulos, and G. Z. Kyzas, "Synthesis of activated carbon from food waste," *Environmental Chemistry Letters*, vol. 17, pp.429-438, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0817-5>

- [5] T. T. R. Fregue, I. O. A. N. A. Ionel, A. S. Gabche, and A. C. Mihaiuti, "Optimization of the activated carbon preparation from avocado seeds, using the response surface methodology," *Rev. Chim*, vol. 70, no.2, pp. 410-416, 2019. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/def2/cee9d735784bb3f17699ce33b0e8ce5048b8.pdf>
- [6] A. Valencia, R. Muñiz Valencia, S. G. Ceballos Magaña, C. K. Rojas Mayorga, A. Bonilla Petriciolet, J. González, and I. A. Aguayo Villarreal, "Cyclohexane and benzene separation by fixed-bed adsorption on activated carbons prepared from coconut shell," *Environmental Technology & Innovation*, vol. 25, pp. 102076, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102076>
- [7] J. B. Leyva Morales, P. J. Bastidas Bastidas, R. Muñiz Valencia, S. G. Ceballos Magaña, G. Ponce Vélez, D. Aguilera Márquez, P. Grajeda Cota, M. S. Navidad Murrieta, M. E. Flores Munguía, J. A. Ramírez Castillo, and C.A. Romero Bañuelos, "Measurement of organochlorine pesticides in drinking water: laboratory technical proficiency testing in Mexico," *Accreditation and Quality Assurance*, vol. 24, pp. 451-461, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00769-019-01403-w>
- [8] R. Bressani, B. Rodas y A. S. Ruiz, La composición química, capacidad antioxidativa y valor nutritivo de la semilla de variedades de aguacate, Tegucigalpa (Guatemala), Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología-FONACYT, Universidad del Valle de Guatemala-UVG, 2009. Disponible en: https://www.academia.edu/download/51486590/composicion_quimica_d_la_semilla_de_aguacate.pdf