

APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DEL AGUACATE (*Laurus persea*) PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS DE VALOR AGREGADO EN LOS MONTES DE MARÍA EN EL DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR-COLOMBIA

*Sustainable use of avocado (*Laurus persea*) to obtain value-added products in Montes de María in the Department of Bolívar-Colombia*

Liset P. Mallarino-Miranda ^{1*}; Leanny M. Tejada-Benítez ²;
Margarita Jiménez-Escalante ²; Ángel D. González-Delgado ¹; Lesly P. Tejada Benítez ¹.

Resumen

En el departamento de Bolívar, la siembra de aguacate se centra en la región "Montes de María", y es la principal despensa de aguacate Criollo- Antillano (*Laurus persea* L) en el país. El consumo de aguacate en Colombia alcanza unos 5,2 kg/persona-año, ubicándose entre los 10 países consumidores más importantes a nivel mundial. Sin embargo, un alto porcentaje de producción de los Montes de María se daña debido a la vulnerabilidad de la especie a los efectos del clima, falta de infraestructura de producción que provoca retrasos y deterioro del fruto y falta de alternativas de valorización, por otro lado, el consumo de su fruto genera cerca de 30% de subproductos no comestibles, correspondientes a cáscaras y semillas descartados como residuos y son potencialmente aprovechables. El presente proyecto buscó obtener Aceites, clorofila y biocarbón a partir del aprovechamiento sostenible del aguacate Criollo-Antillano que se cultiva en la región de los Montes de María, mediante la transformación de su pulpa, cáscara y semilla respectivamente. Los resultados muestran que los aceites que se obtuvieron altos valores de omega 9. En el biocarbón, el porcentaje de carbono fue moderado teniendo en cuenta la literatura. La caracterización del biocarbón por medio del análisis infrarrojo mostró la presencia de aminos, alcoholes, alcanos, alquenos y compuestos aromáticos. Para la clorofila, se obtuvieron bandas relacionadas con los carotenos y la clorofila A. Los residuos de esta variedad de aguacate se considera un recurso prometedor en un futuro teniendo en cuenta su transformación y posible aplicación en la vida cotidiana.

Palabras clave: Residuos, transformación, productos de valor agregado, clorofila, aceites, biocarbón.

© 2020 Mallarino-Miranda et al. Este es un artículo Open Access distribuido bajo la licencia CC BY-NC-SA (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>). No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, su distribución se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original.

Abstract

In the department of Bolívar, avocado planting is centered in the "Montes de María" region, and it is the main larder for Criollo-Antillano avocado (*Laurus persea* L) in the country. Avocado consumption in Colombia reaches about 5.2 kg / person-year, ranking among the 10 most important consuming countries worldwide. However, a high percentage of production in the Montes de María is damaged due to the vulnerability of the species to the effects of the weather, lack of production infrastructure that causes delays and deterioration of the fruit and lack of alternatives for recovery, on the other hand, the consumption of its fruit generates about 30% of inedible by-products, corresponding to shells and seeds discarded as waste and are potentially usable. This project sought to obtain oils, chlorophyll, and biochar from the sustainable use of the Criollo-Antillano avocado that is grown in the Montes de María region, by transforming its pulp, peel, and seed, respectively. The results show that the oils that obtained high omega 9 values. In the biochar, the percentage of carbon was moderate considering the literature. The characterization of the biochar by means of infrared analysis showed the presence of amines, alcohols, alkanes, alkenes, and aromatic compounds. For chlorophyll, bands related to carotenes and chlorophyll A were obtained. The residues of this variety of avocado are considered a promising resource in the future, considering its transformation and possible application in daily life.

Keywords: health, work, hazard.

© 2020 Mallarino-Miranda et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License CC BY-NC-SA (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>). Commercial use of the original work of the possible derivative works is not allowed, its distribution must be done with a license equal to that which regulates the original work.

Recibido para publicación: 19 de Octubre de 2020 - Aceptado para publicación: 01 de Diciembre de 2020

¹ Grupo de Investigación de Ciencias Biomédicas Toxicológicas y Ambientales, Universidad de Cartagena, Facultad de Medicina, Campus de Zaragocilla, Cartagena, Colombia. *Estudiante de Doctorado en Ingeniería. Correo de Correspondencia: lmallarinom@unicartagena.edu.co

² Ingeniera Grupo de Investigación GIBIOMAS, SENA - Centro Agroempresarial y Minero.



1. Introducción

El departamento de Bolívar, específicamente la región de Montes de María se caracteriza por la alta actividad agrícola, y entre los productos que se cultivan se destaca el aguacate, con una producción cercana a las 35.000 toneladas anuales (Barros, Grimaldi, & Cabral, 2017; Flores-Sánchez et al., 2017; Krumreich, Borges, Mendonça, Jansen-Alves, & Zambiasi, 2018; Muñoz & Rojas, 2016). Sin embargo, un gran porcentaje de esta producción se daña continuamente debido a que esta especie es muy vulnerable a los efectos del clima, no hay infraestructura de producción, las vías de comunicación entre las zonas de cultivo y los comercializadores no son adecuadas para transportar la cantidad que se produce antes de que el producto se deteriore, o porque la cadena de valor es muy informal (Del Toro-Equihua, Velasco-Rodríguez, López-Ascencio, & Vásquez, 2016; Flores-Sánchez et al., 2017; Márquez-Ramírez et al., 2018). Debido a esto, los agricultores del aguacate en esta región disminuyen su competitividad poniendo en riesgo el desarrollo de su actividad económica.

Investigaciones en la región han encontrado que los productores de aguacate realizan pocas prácticas agronómicas y de manejo tecnológico, los árboles son muy altos y poco productivos, limitando la cosecha, debido a que se deben realizar grandes esfuerzos para alcanzar los frutos, ocasionando el desperdicio de material y que muchas frutas se maduren en la copa de los árboles sin ningún tipo de aprovechamiento para la industria (Muñoz & Rojas, 2016). Por otro lado, el desperdicio de frutos genera una gran cantidad de residuos agrícolas que al deteriorarse se convierten en un problema ambiental por la presencia de vectores, roedores y lixiviados que pueden deteriorar la calidad del aire, agua y suelo. Se estima que la cáscara y la semilla de fruta, que representan 12 a 15% y 20 a 27% del peso del fruto, respectivamente, son descartadas actualmente (Arancibia, Riquelme, Zúñiga, Matiacevich, & Technologies, 2017; Del Toro-Equihua et al., 2016; Flores-Sánchez et al., 2017; Johnson, 2020; Knothe, 2013). Lo anterior es considerado una problemática ambiental, ya que, causa estragos al ecosistema en general.

Por lo anterior, se hace necesario estudiar la viabilidad de una biorrefinería a partir del aguacate que permita aprovechar integralmente esta materia prima y obtener productos con valor agregado que mejoren la competitividad y con esto el desarrollo de esta actividad en la región de los Montes de María, y adicionalmente no se produzcan desperdicios de producción que se conviertan en un pasivo ambiental.

2. Metodología

2.1 Protocolo para la obtención de ácidos grasos por medio de extracción sólido líquido

- a) Secar 100gr biomasa a 60°C por dos horas con el fin de retirar la humedad presente en la biomasa.
- b) Se pesa con una balanza luego de secarla.
- c) La biomasa seca se coloca dentro de filtros de papel y se cierran con el fin de que pueda entrar en contacto con el solvente. No se puede salir la biomasa del papel filtro.
- d) Ahora bien, el balón que se utiliza en el soxhlet se debe llenar $\frac{3}{4}$ de su volumen a utilizar.
- e) Dentro del Soxhlet se coloca en papel filtro 100gr de pulpa repartidos equitativamente y cerrados completamente.
- f) La estufa o en su caso, la manta térmica que calienta el balón tiene que estar a la temperatura de ebullición del solvente (hexano, acetato de etilo y metanol) (metanol 77°C, acetato de etilo 65°C y hexano 67°C) a utilizar para que el proceso pueda ser más rápido el cual consiste en evaporar el solvente, el vapor asciende al Soxhlet donde entra en contacto con el condensador cambia de fase a líquida al condensarse y entra en contacto con la pulpa.
- g) Cabe resaltar que el indicador de extracción se irá llenando al mismo que se llene el soxhlet del solvente condensado así que cuando este se llene a

su tope máximo, y todo el solvente se devuelva al balón se dice que se ha cumplido el primer ciclo de extracción.

- h) El proceso debe cumplir por lo menos 4 ciclos continuos.
- i) Para eficiencia del proceso es recomendable que el agua que se recircula en el condensador esté fría, este con el fin de que la condensación (cambio de fase del solvente) se dé más rápido.
- j) Adicional: Para la recuperación de solvente se puede realizar un ciclo más y para el proceso antes del indicador de extracción llegue a su punto máximo, faltando pocos minutos para que se devuelva el solvente al balón. El solvente recuperado se puede volver a utilizar, pero es posible que la eficiencia de la extracción disminuya.
- k) Si no se desea recuperar el solvente se puede evaporar luego del último ciclo de extracción con una estufa a la temperatura de ebullición del solvente hasta el punto de que solo quede el aceite extraído, que se vea un líquido viscoso.
- l) Luego, ese líquido se pesa con el fin de conocer cuánto se extrajo por cada uno de los solventes.
- m) Como análisis de su composición se debe hacer un análisis de perfil de ácidos grasos.

2.2 Protocolo para la obtención de ácidos grasos por medio un sistema discontinuo.

- a) Secar 100gr biomasa a 60°C por dos horas con el fin de retirar la humedad presente en la biomasa.
- b) Se pesa con una balanza luego de secarla.
- c) Se coloca la biomasa seca en contacto con 200 mL de solventes a utilizar (metanol, acetato de etilo y hexano).

- d) Con el fin de lograr un contacto eficiente entre la biomasa y el solvente se coloca por 5 min en un equipo de agitación por ultrasonido.
- e) Luego, se filtra la biomasa del solvente con el aceite extraído de la biomasa.
- f) La muestra resultante, la cual contiene solvente con aceite de la pulpa de aguacate se llama al horno a la temperatura de ebullición del solvente por 1 hora con el fin de evaporarlo y que solo quede el aceite extraído.

2.3 Protocolo para la obtención de clorofila

- a) Macerar en un mortero 30 gr de cáscara de aguacate con 10 mL de un compuesto alcohólico, que puede ser metanol o etanol por un tiempo de 5 min.
- b) Filtrar la solución obtenida con papel filtro, donde se encuentran los pigmentos de los cloroplastos, las cuales son la clorofila de color verde, los carotenoides naranjas y las xantofilas amarillas.
- c) Tomar una fracción (la mitad aproximadamente), del extracto alcohólico de pigmentos, y añadirle, dentro de un embudo de decantación, unos 25 mL de éter de petróleo. Agitar suavemente durante un tiempo y dejar que se separen las dos capas líquidas.
- d) Eliminar la capa inferior de agua y alcohol. En la capa superior de éter, de color verde oscuro, se encuentran los pigmentos.
- e) Realizar sucesivos lavados añadiendo 50 mL de agua; agitando suavemente y separando de la misma forma.
- f) Verter la capa verde por la parte superior del embudo, a un matraz y se evapora el resto de los compuestos indeseados a menos de 40°C.
- g) Almacenar el extracto evaporado en la oscuridad.

2.4 Protocolo para la obtención de biocarbón

Para la preparación del biocarbón se utilizó la semilla de aguacate, previamente cortadas hasta obtener un tamaño que facilitara el secado inicial de la muestra con un peso total de 40 g. La biomasa fue ingresada en un horno a una temperatura de 100°C durante 2 h. Posteriormente se tomó la muestra seca y se ingresó a una mufla alcanzando una temperatura de 200, 300 y 400 °C en tiempos de pirolisis de 2 h, 1 h y 40 min respectivamente. A continuación, se retiró, se molió y se tamizó diferenciando dos tamaños de partícula (2,37 mm y 0,85 mm) La humedad y el rendimiento se calcularon a partir de las siguientes ecuaciones:

$$H = \frac{\text{Muestra húmeda} - \text{Muestra seca}}{\text{Muestra seca}} \times 100$$

Ecuación 1. Humedad de la muestra

$$Rn = \frac{\text{Cantidad de biocarbón obtenido}}{\text{Cantidad de biomasa usada}} \times 100$$

Ecuación 1. Rendimiento del biocarbón

3. Resultados

3.1 Perfil de Ácidos grasos

Esta variedad se caracteriza por un alto porcentaje de ácido oleico, el cual es un ácido graso monoinsaturado de la serie omega 9. Ejerce una acción beneficiosa en los vasos sanguíneos reduciendo el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares. bajo porcentaje de ácidos linolénicos, ácido graso polinsaturado, representante principal de la familia de la omega 3 y es absolutamente necesario para el crecimiento y la reparación de las células (Figueroa, Borrás-Linares, Lozano-Sánchez, & Segura-Carretero, 2018).

Componente (% ácido graso)	Método de extracción de aceite (g/100g de aceite)					
	Soxhlet			Ultrasonido		
	Hexano	Ace. Etilo	Metanol	Hexano	Ace. Etilo	Metanol
Estearico	0,49	0,26	0,98	0,56	0,30	1,66
Palmítico	15,71	14,96	10,42	13,35	11,22	9,34
Láurico	-	0,009	-	-	-	-
Oleico	46,04	40,56	42,71	60,28	60,05	54,29
Linoleico	10,22	14,66	5,67	15,89	14,24	7,31
Linolénico	1,22	2,07	1,44	1,29	2,37	1,69
Gadoleico	0,11	0,7	0,92	0,13	0,43	0,52

Tabla 1. Comparación del perfil de ácidos grasos obtenidos por dos métodos de extracción: Soxhlet vs Ultrasonido.

3.2 Caracterización del biocarbón

3.2.1 FTIR

Para hallar los grupos funcionales existentes en el biocarbón, se utilizó la técnica de Espectrometría Infrarroja con Transformada de Fourier, conocida como FTIR. Esta consiste en analizar la radiación infrarroja que es absorbida al atravesar esta un compuesto dado, de tal manera que el espectro infrarrojo registra la radiación transmitida frente a la frecuencia de la radiación incidente. Para ello, se estudiaron ambos carbones y los resultados se muestran a continuación para cada uno de ellos. Para la interpretación de resultados se tienen en cuenta los picos o bandas registradas y la intensidad. Para el biocarbón de 2,37 mm se obtuvieron los siguientes resultados:

En imagen 5a se presenta una banda con intensidad de 95,69 y ligera por tanto se determina que las especies de alcohol y fenol se encuentran libres y no asociados como polímeros. Adicionalmente, tampoco se da la presencia de enlaces por puentes de hidrogeno moderados que produzcan ensanchamientos en la banda. El tipo de alcohol presente es terciario saturado y muy simétrico. En el pico de 3348,54 [cm] ⁻¹ con intensidad de 74,217 también existe la presencia de alcoholes y fenoles como se muestra en la figura 1f.

En la banda de 1375,29 de la figura 1c encontramos la presencia de haluros de alquilo, también conocidos como halogenoalcanos o haloalcanos. Los cuales se caracterizan por ser compuestos químicos en los que uno o más de los átomos de hidrógeno de un alcano han sido reemplazados por átomos de halógeno, generalmente, uno o más de flúor, cloro, bromo o yodo.

Como también se aplica a los alcanos, los haloalcanos son compuestos orgánicos saturados, lo que significa que todos los enlaces químicos que unen los átomos dentro de la molécula son enlaces simples (Figuroa, Borrás-Linares, Lozano-Sánchez, & Segura-Carretero, 2018).

Por el pico se muestra que es un halogenuro de alquilo secundario, esto es, el carbono de la cadena principal está unido directamente a dos grupos alquilo, iguales o diferentes. Este grupo funcional dentro del biocarbón se considera importante debido a que tiene afinidad con otros compuestos halógenos debido a que tiene un átomo de hidrógeno, que posiblemente puede ser reemplazado.

En la figura 1b la banda de $1456,30 \text{ [cm]}^{-1}$ con una intensidad de 68,608 encontramos la presencia de ácidos carboxílicos y alcanos. Los ácidos carboxílicos generalmente se encuentran en forma de dímeros, adicionalmente, presentan varios tipos de picos en el espectro que facilitan su caracterización. En este caso la banda es de $1456,30 \text{ [cm]}^{-1}$; en un rango de 1460 [cm]^{-1} a 1395 [cm]^{-1} se presentan fuertes vibraciones y anchura por los hidrógenos presentes.

En la figura 1 el pico de $1589,4 \text{ [cm]}^{-1}$ posee intensidad de 85,14 por tanto el grupo funcional presente es un compuesto aromático insaturado debido a que la banda no es aguda, sino, suave y con dos sustituyentes con orientación para. Los aromáticos tienen gran afinidad con las grasas por tanto el biocarbón es una buena opción para remover éstas. Por ser derivados del benceno presentan gran estabilidad debido a sus dobles enlaces.

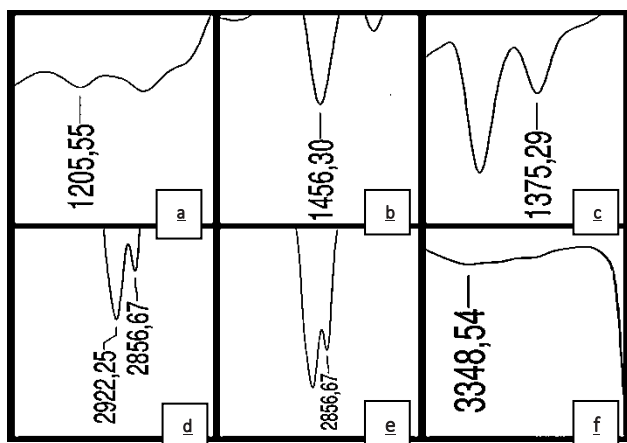


Figura 1. a-f. Bandas significativas para biocarbon de 2,37 mm. Fuente: Autores.

En el pico de $2856,67 \text{ [cm]}^{-1}$ con una intensidad de 38,02 y en el pico de $2922,25 \text{ [cm]}^{-1}$ con intensidad de 27,135 se encontró la presencia de alcanos, tal como se muestra en la figura 1d. Los enlaces asociados a la cadena carbonada C-C presentan vibraciones de baja energía, débiles, fuertemente acopladas y con baja polaridad. Las vibraciones más interesantes son las correspondientes a las vibraciones de estiramiento C-H las cuales se presentan en los alcanos en la zona de 3000-2800, su posición es muy estable y corresponden a los movimientos localmente acoplados de los hidrógenos unidos a un mismo carbono. Para el biocarbón de 0,85 mm se obtuvieron los siguientes resultados (Salomón-Negrete, Reynel-Ávila, Mendoza-Castillo, Bonilla-Petriciolet, & Duran-Valle, 2018):

Entre el intervalo de 430 [cm]^{-1} y 500 [cm]^{-1} se presentó un pico representativo con una frecuencia de $480,29 \text{ [cm]}^{-1}$ con una intensidad de 1,868 el cual indicó la presencia de disulfuros de arilo. Con vibraciones de estiramientos en el enlace S-S. El radical arilo representa versatilidad en el sustituyente derivado de un hidrocarburo aromático al extraérsele un átomo de hidrógeno del anillo aromático.

La figura 2h muestra el pico con frecuencia de $798,56 \text{ [cm]}^{-1}$ la cual representa el grupo de haluro de alquilo también llamada halogenoalcanos o haloalcanos con una intensidad de 85,586. La presencia de este grupo funcional indica el estiramiento en el enlace de C-Cl. En este grupo se produce la formación de compuestos de sustitución que pueden representar afinidad con el contaminante.

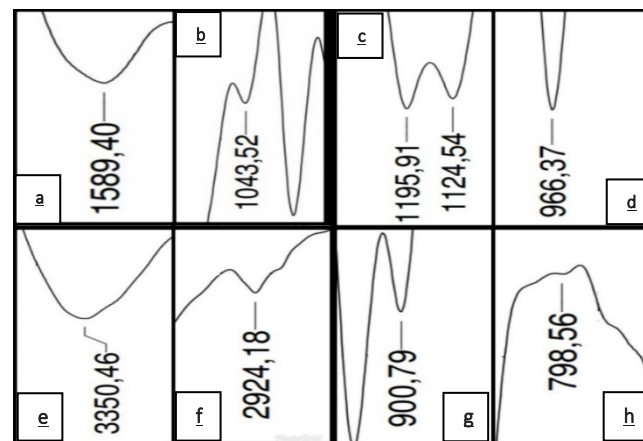


Figura 2. a-h. Bandas significativas para biocarbon de 0,85 mm. Fuente: Autores

En la figura 2g se observa una banda de absorción poco fuerte, situada en el rango de 900 [cm]^{-1} a 920 [cm]^{-1} , esto manifiesta la presencia del grupo funcional alqueno monosustituido, que da lugar a un radical propenso a presentar afinidad con el contaminante. Al poseer doble enlace los alquenos resultan más reactivos que los alcanos, sin embargo, son débilmente polares. Así mismo en la figura 2d se presenta otro alqueno, trans-disustituido y presenta una banda de absorción fuerte que permite identificarlo, la cual es de $966,37 \text{ [cm]}^{-1}$ e intensidad de 55,606.

La banda de la figura 1b, posee una frecuencia de $1043,52 \text{ [cm]}^{-1}$ e intensidad de 55,606, la cual representa el grupo funcional alcohol, de tipo alkoxy de enlace simple C-O, dicha banda de tensión se presenta a número de ondas bajo por ser un alcohol sin sustituyentes. El alcohol seleccionado es primario, debido a que posee frecuencia inferior a 1050 [cm]^{-1} . En el pico $1124,54 \text{ [cm]}^{-1}$ mostrado en la figura 1c también se observa la presencia de alcoholes, representada como una banda similar a la anterior con porcentaje de transmitancia menor, sin embargo debido al aumento en la frecuencia este alcohol se considera secundario, Así mismo la banda de 1195 [cm]^{-1} con intensidad de 30,061 refleja la presencia de alcoholes terciarios ya que tienen la banda C-O desplazada a frecuencias mayores que los alcoholes primarios y secundarios.

La figura 1a refleja compuestos aromáticos en la banda $1589,4 \text{ [cm]}^{-1}$ e intensidad de 71,357. Posee enlaces con tensión en un rango entre 1550 [cm]^{-1} y 1610 [cm]^{-1} , cuya banda es relativamente suave. Debido a la agudeza de la banda se considera un aromático insaturado y posee dos sustituyentes.

En la figura 1f se muestra el grupo funcional alcanos que varía en un rango de 2850 [cm]^{-1} a 3000 [cm]^{-1} . La banda representativa en este tramo marcó una vibración de $2924,18 \text{ [cm]}^{-1}$, poco ancha con formación de tensiones C-H capaces de formar puentes de hidrogeno. Los alcanos se caracterizan por ser no polares debido a que solo contienen carbono e hidrogeno, además son disolventes de grasas lo cual explicaría su presencia en este tipo de biocarbón obtenido de la palma de aceite. Sin embargo, son insolubles en agua, dicha característica

favorece en el proceso de adsorción de azul de metileno en solución acuosa.

En la figura 1e se observa la vibración de $3350,46 \text{ [cm]}^{-1}$ e intensidad de $60,125 \text{ [cm]}^{-1}$ que corresponde al grupo amina que se encuentra en el rango de 3300 [cm]^{-1} a 3500 [cm]^{-1} con tensión en el enlace N-H. Debido a que solo se encuentra una banda la amina es considerada secundaria, siendo ésta más débil que las del grupo amida.

En los espectros de los carbonos de 0,85 mm y 2,37 mm se pudo observar el estiramiento y la intensidad del pico centrado entre 430 [cm]^{-1} y 500 [cm]^{-1} , que era visible en todos los espectros, podría atribuirse al estiramiento en el enlace s-s del grupo funcional disulfuros de arilo. El enlace s-s resultó en la ampliación del pico y condujo a la superposición de vibraciones producidas por otros grupos funcionales importantes así mismo la presencia de enlaces de hidrogeno en los alcoholes en los próximos picos y los dobles enlaces de los alquenos, resulto en el estiramiento o la poca pronunciación de los siguientes picos que se resaltaron en el carbón de 0,85 mm y no en el carbón de 2,37 mm, por lo cual en este último no se consideraron grupos funcionales importantes que si fueron reconocidos en el carbón de 0.85mm, sin embargo el pico $1589,4 \text{ [cm]}^{-1}$ fue identificado en los dos espectros. Este pico se incluyó en la región entre 1585 [cm]^{-1} y 1600 [cm]^{-1} , que se asignó a la vibración de estiramiento de los enlaces anillos aromáticos. El pico a $2924,18 \text{ [cm]}^{-1}$ y $2922,25 \text{ [cm]}^{-1}$ centrados en el rango entre 2850 [cm]^{-1} y 3000 [cm]^{-1} , que se observó más claramente en el espectro 2,37 mm, correspondió a la vibración de estiramiento del enlace C-C de los alcanos. Por último, el espectro de 2,37 mm mostro una banda en $3348,54 \text{ [cm]}^{-1}$, la cual se presentó como un suave hombro, lo que indica un menor contenido de aminas, por tal razón no se consideró una banda importante, sin embargo, para el espectro de 0,85 mm se presentó debido a su gran pronunciación e intensidad. Los grupos funcionales presentados en cada biocarbón son similares a los presentados en (Johnson, 2020). Sin embargo, dichos espectros muestran un número superior de grupos funcionales esto se debe a la variedad de materias primas investigadas en el estudio.

3.2.2 Porcentaje de carbono

No todos los carbones son iguales, sus características varían dependiendo de la biomasa que se utilice. Sin embargo, hay algunas propiedades agroquímicas que pueden ser comunes a este tipo de materiales. Su contenido en nitrógeno es generalmente bajo debido a que se produce una combustión de la biomasa. A su vez, el contenido en carbono orgánico es bastante alto, muy resistente a la degradación, y que, además, le confiere al material una gran porosidad. Esta propiedad también afecta a su capacidad de retención hídrica, que es mayor que otros materiales orgánicos como el compost. Los resultados se muestran en la figura 3.

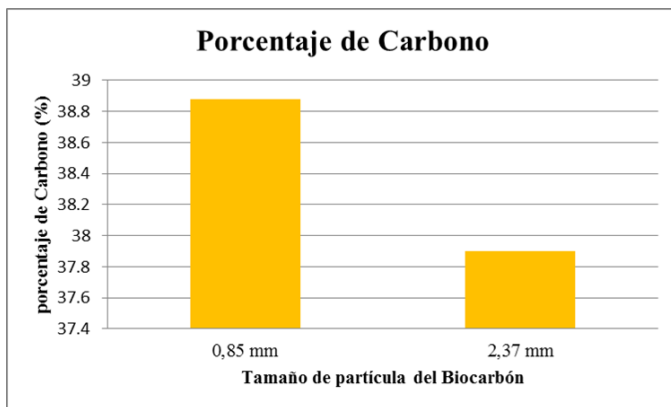


Figura 3. Resultados porcentaje de Carbono. Fuente: Autores

Comparando con la literatura registrada, observamos que el porcentaje de carbono varía de acuerdo con la biomasa a tratar de la siguiente manera:

Tabla 2. Porcentaje de carbono de otras biomásas

Biomasa	Porcentaje de Carbono (%)
Madera de olivo	48,2
sorgo	34
Bagazo de caña de azúcar	48,7
Estiércol de aves	38,7
Lodo de aguas residuales	52
Desechos de papel	31
Cascara de arroz	30,3

Fuente: (Tripathi, Sahu, & Ganesan, 2016)

3.3 Separación cromatográfica clorofila

Para la caracterización de la clorofila se realizó una cromatografía de papel del extracto bruto de pigmentos y del extracto purificado, a efectos comparativos. Cuando los distintos componentes del extracto estuvieron perfectamente separados, se da por terminado el recorrido o frente del disolvente a través del papel cromatográfico a unos 5 cm del final de este. Se vieron, entonces, dos bandas bien diferenciadas, una de color amarilla perteneciente a los carotenos y otra de color verde de la clorofila.

4. Conclusiones

La utilización de biomásas residuales para la obtención de productos de valor agregada cada vez es más frecuente. En esta investigación se encontraron resultados prometedores en torno a la utilización de los residuos del Aguacate para producir aceites, biocarbón y clorofila con altas propiedades. Se halló porcentajes de omega 9 en los aceites extraídos, altos porcentajes de carbono en el biocarbón obtenido y una clorofila con bandas relacionadas con carotenos y clorofila A. Siendo lo anterior, la base para continuar con los estudios relacionados con la utilización de la cascara, semilla y pulpa del aguacate en la variedad antillana para obtener productos transformados.

5. Bibliografía

Arancibia, C., Riquelme, N., Zúñiga, R., & Matiacevich, S. (2017). Comparing the effectiveness of natural and synthetic emulsifiers on oxidative and physical stability of avocado oil-based nanoemulsions. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 44, 159-166. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.06.009>

Barros, H. D., Grimaldi, R., & Cabral, F. A. (2017). Lycopene-rich avocado oil obtained by simultaneous supercritical extraction from avocado pulp and tomato pomace. *The journal of supercritical fluids*, 120, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.09.021>

Del Toro-Equihua, M., Velasco-Rodríguez, R., López-Ascencio, R., & Vásquez, C. (2016). Effect of an avocado oil-enhanced diet (Persea americana) on sucrose-induced

insulin resistance in Wistar rats. *Journal of food and drug analysis*, 24(2), 350-357.
<https://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.11.005>

Figueroa, J. G., Borrás-Linares, I., Lozano-Sánchez, J., & Segura-Carretero, A. (2018). Comprehensive identification of bioactive compounds of avocado peel by liquid chromatography coupled to ultra-high-definition accurate-mass Q-TOF. *Food chemistry*, 245, 707-716.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.011>

Flores-Sánchez, A., López-Cuellar, M., Pérez-Guevara, F., Figueroa López, U., Martín-Bufájer, J. M., & Vergara-Porras, B. (2017). Synthesis of poly-(R-hydroxyalkanoates) by *Cupriavidus necator* ATCC 17699 using mexican avocado (*Persea americana*) oil as a carbon source. *International Journal of Polymer Science*.
<https://doi.org/10.1155/2017/6942950>

Johnson, B. R. (2020). Extracción y caracterización de aceite de aguacate y desarrollo de cremas cosméticas humectante. 12(19), 44-64.

Knothe, G. (2013). Avocado and olive oil methyl esters. *Biomass and bioenergy*, 58, 143-148.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.09.003>

Krumreich, F. D., Borges, C. D., Mendonça, C. R. B., Jansen-Alves, C., & Zambiasi, R. C. (2018). Bioactive compounds and quality parameters of avocado oil obtained by different processes. *Food Chemistry*, 257, 376-381.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.048>

Márquez-Ramírez, C. A., de la Paz, J. L. H., Ortiz-Avila, O., Raya-Farias, A., González-Hernández, J. C., Rodríguez-Orozco, A. R., ... & Cortés-Rojo, C. (2018). Comparative effects of avocado oil and losartan on blood pressure, renal vascular function, and mitochondrial oxidative stress in hypertensive rats. *Nutrition*, 54, 60-67.
<https://doi.org/10.1016/j.nut.2018.02.024>

Muñoz, L., & Rojas, L. (2016). Investigación, Ciencia, Innovación y Competitividad. In *Avocado by-products, potential raw material for various industries* (pp. 130).

Salomón-Negrete, M. Á., Reynel-Ávila, H. E., Mendoza-Castillo, D. I., Bonilla-Petriciolet, A., & Duran-Valle, C. J. (2018). Water defluoridation with avocado-based adsorbents: synthesis, physicochemical characterization and thermodynamic studies. *Journal of Molecular Liquids*, 254, 188-197.
<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.01.084>

Tripathi, M., Sahu, J. N., & Ganesan, P. (2016). Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 467-481.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.122>

Züge, L. C. B., Maieves, H. A., Silveira, J. L. M., da Silva, V. R., & de Paula Scheer, A. (2017). Use of avocado phospholipids as emulsifier. *LWT - Food Science and Technology*, 79, 42-51.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.013>