

ANALISIS DE FACTIBILIDAD EN SINTESIS DE UN COMPOSITE A PARTIR DE BIOCHAR
DERIVADO DE LA SEMILLA DEL AGUACATE CON ALUMINA EXTRAIDA DE ALUMINIO POST-
CONSUMO

JEFERSON ANDRES GONZALEZ MONTEALGRE

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, QUÍMICA Y CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
PAMPLONA
2020

ANALISIS DE FACTIBILIDAD EN SINTESIS DE UN COMPOSITE A PARTIR DE BIOCHAR
DERIVADO DE LA SEMILLA DEL AGUACATE CON ALUMINA EXTRAIDA DE ALUMINIO POST-
CONSUMO

JEFERSON ANDRES GONZALEZ MONTEALEGRE

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero químico

Directores: José Hernando Quintana Mendoza, Msc.

Diana Alexandra Torres Sánchez, Ph.D

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, QUÍMICA Y CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
PAMPLONA
2020

DEDICATORIA

El éxito de cualquier persona radica en el compromiso y esfuerzo que le imponga a su objetivo, siempre he trabajado por mis sueños, pero todo lo que hago tiene una fuente de inspiración. Es por ello que sin duda alguna dedico este trabajo a mis padres José Nolberto González y Blanca Mirian Montealegre, por amarme, guiarme y enseñarme en todas las fases mi vida, por brindarme su apoyo desde que tome por primera vez un lápiz hasta convertirme en un profesional. Ellos han sido la clave de que hoy se haga realidad esta meta.

AGRADECIMIENTOS

Primero, quiero agradecer a Dios, a quien siempre he puesto mi fe, y que con su amor y bondad me ha ayudado siempre a salir victorioso en todos mis objetivos, mil gracias por su fidelidad y por siempre mostrarme el camino cuando todo se pone gris.

Quiero agradecer inmensamente a mis directores de trabajo de grado José Quintana y Alexandra Torres, por su tiempo, su dedicación, y guiarme en el desarrollo de la investigación, sin ellos esto no hubiese sido posible.

A mis padres, les agradezco por el amor y confianza que me dieron para que terminara esta meta, por cada cuidado y enseñanza que siempre durante toda mi vida me han dado, Además, agradezco a Dios por mi hermana Jenny Fernanda González Montealegre, quien ha estado siempre a mi lado guiándome y enseñándome como hermana mayor

También quiero agradecer con el alma a mi compañera de vida, a mi novia Lisset Dajanna Vallejo Cubides, quien siempre ha estado cuando más la he necesitado, quien me ha apoyado moralmente en este proceso formativo, le agradezco por apoyarme en mis decisiones y mostrarme lo que es construir un futuro basado en el amor. Mil gracias por su amor incondicional, gracias por enseñarme que las cosas se pueden hacer posible.

Gracias a todos los docentes que aportaron su grano de arena en mi formación como profesional, por su conocimiento y entrega para ayudarme a construir en mí una persona con valores, Gracias también a las auxiliares de laboratorio por su apoyo y disposición en todo momento.

Finalmente, gracias a mis amigos, siempre se llega más lejos cuando se trabaja en equipo. Dios me los bendiga.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	9
1. OBJETIVOS	11
1.1 OBJETIVO GENERAL	11
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	11
2. HIPÓTESIS	11
3. MARCO TEÓRICO	12
3.1 COMPOSITOS	12
3.2 ALÚMINA	13
3.3 BIOCHAR	14
3.4 AGUACATE	15
4. METODOLOGÍA	17
4.1. Reactivos.	17
4.2. Materiales y equipos.	17
4.3. Procedimiento	18
4.3.1 Etapa 1: pretratamiento de la semilla de aguacate	18
4.3.2 Etapa 2 Síntesis de la Alúmina.	19
4.3.3 Etapa 3 Síntesis del biochar y composites.	19
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
5.1 Tratamiento y preparación de la semilla:	19
5.2 Síntesis de la alúmina	22
5.6 Síntesis del biochar	25
5.3 Síntesis de los materiales compuestos Alumina-biochar	28
6. CONCLUSIONES	34
7. PUBLICACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION.	35
8. BIBLIOGRAFÍA	36
ANEXO A	41
ANEXO B	42

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Diagrama general de la metodología experimental	18
Figura 2 tratamiento de la semilla de aguacate variedad “Lorena”	20
Figura 3 TGA de la semilla de aguacate sin deshidratar	21
Figura 4 Difractograma DRX del hidróxido de aluminio $\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	22
Figura 5 Difractograma DRX de la Alúmina $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	23
Figura 6 microscopia electrónica de barrido (SEM) de la Alúmina $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	24
Figura 7 Análisis termogavimétrico (TGA) de la Alúmina $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	25
Figura 8 Montaje propuesto para el proceso pirolítico	26
Figura 9 Difractograma DRX & imagen SEM del Biochar obtenido	26
Figura 10 Análisis termogavimétrico (TGA) del Biochar a partir de semilla de aguacate	27
Figura 11 Análisis infrarrojo (ATR-FTIR) del Biochar	28
Figura 12 Composites sintetizados Alúmina-Biochar	29
Figura 13. Análisis Termogavimétrico (TGA) de los composites Alúmina-Biochar	30
Figura 14. Difractograma (DRX) del composite 50% biochar-50% Alúmina	31
Figura 15. Espectroscopia de infrarrojo (ATR-FTIR) del composite 40% biochar-60% Alúmina	32
Figura 16. Espectroscopia de infrarrojo (ATR-FTIR) del composite 50% biochar-50% Alúmina	33

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición en % peso de los composites sintetizados

28

RESUMEN

En la presente investigación se sintetizó un composite a partir de biochar derivado de semillas de aguacate variedad (*lorena*) y alúmina (Al_2O_3) extraída de aluminio post-consumo por método hidrotérmico a 90°C y tratamiento a 700°C . Los perfiles de DRX y SEM para el biochar muestra una fase amorfa, con morfología esférica, mientras que para la alúmina se logra obtener una fase cristalina de alfa-alumina, con morfología laminar del tipo hexagonal, partiendo de estas características del materiales, se realizaron 5 mezclas de biochar-alumina que se sometieron a tratamiento térmico mediante proceso pirolítico con atmosfera reducida, las mezcla con 50% biochar y 50% alúmina permitieron obtener un composite, donde en difracción se demostró la coexistencia de las dos fases, la amorfa del biochar y la cristalina de la alumina, adicionalmente, se estableció que el material compuesto presenta una humedad y desorción de gases del 47,18804 % de acuerdo a los resultados de TGA.

Palabras claves: pirolisis, materiales orgánicos e inorgánicos, composite, estructura poli cristalina, Biochar

INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico y la globalización han originado evidentemente muchos beneficios a la evolución del mundo, pero al mismo tiempo han provocado la aparición de nuevas y notables problemáticas medio ambientales, esto es debido a que durante la última década, el consumo de materias primas ha alcanzado un ritmo que está comprometiendo la capacidad del planeta, pues el modelo lineal de producción y consumo con el que cuenta el mundo no es el correcto (Prieto Sandoval, Jaca García, & Ormazabal, 2017). La gestión de la contaminación en las ciudades y municipios del país presentan grandes retos, especialmente la relacionada con aire, agua y suelo, esto es debido a que el actual modelo de desarrollo económico de Colombia presenta insostenibilidad pues los desechos que se generan en las etapas de industrialización y también el generado en los hogares de Colombia no cuenta con solución notoria que satisfaga en un 100% la disposición final de los mismos, ya sea que permita una degradación controlada o en su defecto tratamientos que conlleven a su reutilización (Bird, 2014), En países como Colombia, se recicla solo el 17% de 12 millones de toneladas de basura que genera al año (Bedoya, 2018), los desechos que no se reciclan ocasionan el deterioro de los recursos naturales renovables.(Valencia, Castaño, Sánchez, & Bonilla, 2010)

Todos los desechos que se originan en el país presentan gran variedad de componentes, como lo son vidrios, plásticos, metales y desechos orgánicos, entre muchos más. En cuanto a la composición de residuos orgánicos estos presentan una gran prevalencia y es importante tenerlos en cuenta, puesto que al ser desechados en rellenos sanitarios se convierten en una importante fuente de gases de efecto invernadero. Dentro de la categoría de residuos orgánicos están presentes con una alta diferenciación los residuos orgánicos generados en sus etapas de producción, según lo informado por el (DNP, 2016) a una razón de 9,76 millones de toneladas de alimentos al año se pierden y desperdician en el Colombia, esto es equivalente 36% de la oferta disponible de alimentos destinada a consumo humano, el 62% corresponde a pérdidas que se ocasionan en las etapas de producción, post-cosecha, almacenamiento y procesamiento industrial, aquí encontramos desechos orgánicos como lo es la semillas del aguacate, pues este es un subproducto que no se reutiliza y simplemente se desecha, cuando este empieza su proceso de descomposición genera lixiviados que afectan el entorno de los ecosistemas. Un 38% corresponde a desperdicios que se generan en las etapas de distribución, comercialización y también el consumo de los hogares.

Con respecto a la composición de los residuos sólidos, y de acuerdo con (Ministerio del Medio Ambiente - Colombia, 2015) el 30% está compuesto por materiales con alto potencial de aprovechamiento como papel, cartón, metal, vidrio, textiles o plástico. El mal manejo que se está dando a los productos durante todo el ciclo de vida y a los desechos que estos generan, está causando presión sobre la capacidad de los rellenos sanitarios, y a su vez, desperdiciando materia prima y energía. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, esta

problemática se explica por la debilidad de las entidades para promover la aplicación de políticas, planes y programas que permitan la producción de bienes y servicios que ayuden en sostenibilidad al medio ambiente y también a la sociedad(CONPES 3874, 2016).

En cuanto al departamento del Guaviare, el material orgánico que llega al relleno sanitario es utilizado para camas de compostaje, los desechos sólidos que se recuperan directamente del sitio de disposición final, son comercializados en el interior del país directamente por E.A.T RECICLAG., entre los metales encontramos el aluminio con una recuperación mensual del 87,6 Kg; Para el desarrollo de esta actividad la empresa AMBIENTAR E.S.P. S.A. es la encargada del proceso.(San & Del, 2005). Es muy importante saber que la cantidad de material recuperado no cumple con la sostenibilidad que se busca, pues es mucho lo que se desecha y poco lo que se recupera.

Partiendo de la ampliación de residuos que tiene el país, asociadas con el aumento estadístico de la población y con el crecimiento económico del país, el sector de residuos sólidos presenta un papel significativo en el escenario de mitigación y adaptación al cambio climático. Se propone avanzar hacia una economía amigable con el medio ambiente, es decir, una economía circular que busca que el valor de los productos y materiales se mantengan durante el mayor tiempo posible en el ciclo productivo.(Kristoffersen, Blomsma, Mikalef, & Li, 2020)

Por lo anterior, la actual investigación promueve el desarrollo productivo a partir de la reutilización de subproductos como lo es la semilla del aguacate, y el aprovechamiento de metales que llegan a los rellenos sanitarios, tal es el caso del aluminio, esto implica una corresponsabilidad de los actores institucionales y de los ciudadanos.(Valencia et al., 2010). logrando una reutilización de los materiales anteriormente mencionando y así permitiéndonos sintetizar un material compuesto que podría ser útil como catalizador o para la remoción de colorantes, como en la investigación de (Kamran & Park, 2020) en donde utilizan las biomásas de cáscara de arroz y cáscara de coco para fabricar precursores de biochar y así mezclarlo con MnO_2 para la adsorción de litio en el agua

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Sintetizar y caracterizar composites de Alumina-Biochar derivado de la semilla de aguacate (*persea americana mil*)

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Sintetizar y caracterizar el biochar producido a partir de la semilla del aguacate, variedad Lorena (papelillo)
- Sintetizar y caracterizar la alúmina extraída de aluminio post consumo
- Obtención de un material compuesto Alumina-biochar y caracterizar por FTIR-ATR, TGA-DSC, SEM y DRX.

2. HIPÓTESIS

¿Es posible obtener un composite partir de alúmina extraída de aluminio post-consumo y biochar derivado de la semilla de aguacate recolectados en san José del Guaviare?

3. MARCO TEÓRICO

3.1 COMPOSITES

De acuerdo con Egbo los materiales compuestos son materiales de ingeniería que constan de dos o más materiales constituyentes con amplias discrepancias en sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. (Egbo, 2020) Las propiedades características de estos compuestos son el resultado de las propiedades individuales de sus partes constituyentes y sus respectivas fracciones de volumen y disposiciones en el sistema de materiales.

Los materiales compuestos son ahora uno de los temas de investigación más importantes de la tecnología moderna en este siglo XXI, el interés en estos materiales surgió a mediados del siglo XX, esto es porque estos presentan características prometedoras que los hacen adecuados para enormes aplicaciones en el campo industrial, como el aeroespacial y el automotriz (Udaya & Fernandes, 2020), construcción (Opoku, Obeng, Darkwa, & Kwofie, 2020) deportes (Sharma, Sudhakara, Misra, & Singh, 2020), biomedicina y muchos otros (Bieniek et al., 2020). El gran interés se debe a que es estos materiales revelan propiedades estructurales y mecánicas notables, tales como alta relación resistencia / peso, resistencia a productos químicos, fuego, corrosión y desgaste; y también porque son económicos de fabricar. (Rajak, Pagar, Kumar, & Pruncu, 2019)

Una de las aplicaciones que tienen los materiales compuestos son la remoción de los contaminantes en aguas residuales como el plomo, (Awual & Hasan, 2019) estudiaron la capacidad que tienen los materiales a base de ligando para la eliminación de diversos contaminantes. La investigación se llevó a cabo para la detección y la eliminación del ion plomo (Pb (II)) de la solución acuosa mediante un nuevo material compuesto funcionalizado, el cual demostró alta selectividad para la remoción del catión tóxico

Una de las grandes ventajas de los materiales compuestos es que se pueden fabricar partir de materias primas orgánicas, en la investigación de (Kumar & Venkatesh Babu, 2019) utilizaron fibras de coco, el lino y las fibras de vidrio localizadas en la India, las cuales fueron preparadas y mezcladas con resinas para obtener materiales compuestos con capacidades de resistencia mecánica para ser estudiados en la industria automotriz y área.

En la actualidad entre los materiales compuestos, el biochar está captando alto interés en las investigaciones, partiendo que el biochar es un carbón derivado de productos orgánicos. En la investigación de (Song, Zhang, Luo, Chen, & Liu, 2019) se diseñaron y prepararon compuestos entre Fe_3O_4 y biochar de vaina de cebolleta mediante un método hidrotérmico simple para la eliminación de As (III) en soluciones acuosas. Este estudio muestra que los compuestos de biochar tienen excelentes rendimientos como adsorbentes del arsénico en el agua contaminada.

No solo el biochar se utiliza para remoción de contaminantes sino para diferentes industrias, tal es el caso de la construcción, como en la investigación de (Praneeth, Guo, Wang, Dubey, & Sarmah, 2020) Que produjeron biochar a partir de la pirólisis de la biomasa de rastrojo de maíz, este se añadió como material de relleno en los bloques de cemento-cenizas volantes, para mejorar la absorción de CO₂ y secuestrar carbono. Los resultados mostraron que había un aumento en la resistencia a medida que la adición de biocarbón aumentaba hasta cierto punto, después empieza a disminuir.

3.2 ALÚMINA

la alúmina (Al₂O₃), es una sustancia cristalina sintética, que se caracteriza por su basicidad y alta capacidad de hidratación, esta es producida a partir de bauxita (CYM materiales 2020) un mineral natural, utilizando el Proceso Bayer (Y. Wang, Zhang, Zhang, Lyu, & Zhang, 2019), en tecnología actual es uno de los compuestos más utilizados. Es un material con múltiples aplicaciones en la industria; se utiliza como aditivo en la industria del papel, pinturas anticorrosivas (Abd El-Lateef & Khalaf, 2020), también es empleada en la industria del caucho y de polímeros (Krishnan P.P, Vijayan, Wilson, Arun Kumar, & Prabhakaran, 2019). La alúmina activada se utiliza como desecante y en procesos catalíticos. En la industria electrónica se aprovecha en equipos para acumulación y generación de potencia eléctrica y en la fabricación de porcelana aislante. Se utiliza, además, en la elaboración de recubrimientos y en la fabricación de biomateriales. (Rodríguez-Páez, Villaquirán, & Cobo, 2001)

La combinación de este material con otros por lo general da excelentes propiedades, y su disponibilidad ha hecho de la alúmina (Al₂O₃) un material atractivo para diversas investigaciones. En particular, la alúmina se usa en una gran variedad de aplicaciones como las anteriores mencionadas. La síntesis de alúmina y materiales relacionados se logra mediante métodos cerámicos tradicionales o mediante métodos químicos húmedos como sol-gel, hidrotermal, precipitación, secado por pulverización, pirolisis por pulverización., Etcétera. En la investigación de (Frikha et al., 2019) se propone como método la combustión de la solución pues se considera una ruta de síntesis eficiente y económica, debido a su simplicidad, bajo consumo de energía, tiempo de procesamiento corto y bajo costo de procesamiento.

(H. Henao, L. F., & López Gómez, M. E. (2017).) estudiaron la extracción de alúmina de residuos cerámicos de electro porcelana esto Con el fin de hacer aportes a los problemas generados por el agotamiento de los recursos naturales no renovables y al manejo y disposición final de los desechos producidos, en la investigación se trataron residuos ya que estos desechos contienen cantidades significativas de alúmina. El producto obtenido, después

de calcinar durante 6 h a 1100°C la muestra final extraída de los RCE, fue una α -alúmina del 97.9% de pureza.

posteriormente (Yadav & Bhattacharyya, 2019) estudio la síntesis de perlas de alúmina; tanto en la fase α (alfa) como en la fase γ (gamma); estas se prepararon usando el lixiviado ácido de caolinita como solución de partida mediante un método de gota de aceite. La naturaleza porosa de las cuentas fue confirmada por el estudio de distribución de tamaño de poro según el método de Barrett, Joyner y Halenda (BJH) e imágenes FESEM. Se descubrió que las perlas de alúmina tienen una posible aplicación en procesos de adsorción.

Otra aplicación de la alúmina son los compuestos a base de silicona para alta conductividad térmica y estabilidad térmica, en la investigación de (Liu et al., 2019) estos compuestos se fabricaron mediante polimerización in situ, en la que se formaron grupos silanol mediante una reacción de hidrólisis con metiltrietoxisilano (MTES), dimetildietoxisilano (DMDES) y feniltrimetoxisilano (PhTMS) los resultados mostraron una alta estabilidad térmica.

3.3 BIOCHAR

El biochar es un material rico en carbono que se puede preparar a partir de diversas materias primas de desechos orgánicos como residuos agrícolas, El biochar es el producto derivado de someter cualquier tipo de biomasa a calentamiento en ausencia o con aire limitado a más de 250°C, este proceso de calentamiento es llamado carbonización o pirolisis, se usa para hacer carbón. El material se distingue del carbón vegetal u otros productos de carbono (C) en el sentido de que está destinado a ser utilizado como una aplicación al suelo o más amplio para el manejo ambiental.(Lehmann & Joseph, 2012)). Sin embargo, el biochar presenta relaciones O/C más altas que el carbón mineral.(Escalante et al., 2016). Este material en los últimos años ha recibido una atención debido a su características únicas, que son su alto contenido de carbono, su capacidad de intercambio catiónico, su gran superficie específica y su estructura estable (J. Wang & Wang, 2019)

Una de las aplicaciones del biochar es como adsorbente de contaminantes, en el estudio de (Xiang et al., 2019) se tomó la madera de nogal como fuente de biomasa, esta se pirolizó a 300°C, 450°C y 600°C para producir biochars, que luego se trituraron mediante molienda de bolas. Los biochars originales y molidos a bolas se usaron para eliminar compuestos orgánicos volátiles (VOC). Cada biochar molido a bolas mostró características estructurales significativamente mejoradas, los experimentos de reutilización con cinco ciclos de adsorción-desorción mostraron que los biochars molidos pueden usarse como un adsorbente eficaz y regenerable para la eliminación de VOC.

En el mismo año (Vikrant, Kim, Peng, 2019) dieron su opinión sobre como los biochars se han propuesto como medios altamente eficientes y de bajo costo para la eliminación por adsorción de varios compuestos peligrosos. Por ende en este estudio se evaluaron, los rendimientos de adsorción de 12 biochars estándar hechos de seis materias primas diferentes (las materias que se investigaron fueron: gránulos de paja, gránulos de colza de semillas oleaginosas, cáscara de arroz, lodos de depuradora, gránulos de madera blanda y gránulos de paja de trigo) estas materias fueron pirolizadas a (550 ° C y 700 ° C). La adsorción de los contaminantes parecía estar influenciada principalmente por las características de la superficie y la composición de cada biochar específico

Actualmente la mayor parte de las investigaciones que hay frente al biochar, están enfocadas a la recuperación de suelos, por sus grandes beneficios. En el estudio de (Connor et al., 2018) se le da una posible solución a un problema mundial, que son las grandes extensiones de tierras contaminadas especialmente de los países en desarrollo. Se ha informado en esta investigación que la enmienda del suelo con biochar puede reducir la biodisponibilidad de una amplia gama de contaminantes; incluidos los metales pesados, se pueden recuperar suelos contaminados para uso agrícola, pero se debe tener en cuenta que para maximizar los beneficios de la adición de biochar, los agricultores deben aceptar que las tasas de dosificación de los fertilizantes minerales deben reducirse.

Esto muestra los grandes avances que se están dando en la aplicación de biochars para la recuperación y la disminución de la problemática ambiental que atraviesa actualmente el mundo, tanto para la adsorción de contaminantes como para la recuperación de suelos.

3.4 AGUACATE

El aguacate cuyo nombre científico es (*Persea americana* Mill), pertenece a la Familia Lauraceae, es la única fruta de esta familia que tiene una alta representación económica, ya presenta un gran índice de comercialización a nivel mundial. (Álvarez, Quezada, & Arbelo, 2015) Mundialmente se ha incrementado el consumo de aguacate, especialmente en países como Estados Unidos, Francia, Alemania y España, lo que ha traído como consecuencia un gran aumento en las superficies sembradas en los países que lo producen como son: México, Chile, España, Sudáfrica, Nueva Zelanda, Australia, Perú, Israel y Estados Unidos entre otros (Ceballos & Montoya, 2013). En Colombia la proyección del cultivo de aguacate se ha incrementado pasando de 17.084 hectáreas sembradas en el 2005 a tener una proyección para el 2026 de 33.525 hectáreas sembradas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006)

Esta fruta está formada por 52 géneros y cerca de 3500 especies; esta es una de las familias más primitivas de las dicotiledóneas (Quispe, 2014). El aguacate (*Persea americana*), es una baya con mesocarpio y endocarpio carnosos que contiene una sola semilla (15 al 16% del

peso del fruto). Las grasas son el principal componente después del agua, su valor calórico es elevado con respecto a otras frutas, se caracteriza por el contenido de ácidos grasos insaturados siendo mayoritariamente monoinsaturada (72% ácido oleico).(Ceballos & Montoya, 2013)

Es un fruto, muy variable en tamaño, forma y características de su corteza, pulpa y semilla. El fruto tiene muy poca riqueza en azúcares, mientras su contenido en proteínas es el más elevado de todas las frutas frescas. De igual manera, se destaca su riqueza de sales minerales, ácidos orgánicos y vitaminas liposolubles (Chunga Mejia, 2015)

El árbol de aguacate puede alcanzar una altura de hasta 20 metros; sin embargo, cuando se cultiva en plantaciones comerciales, no se deja crecer más de 5 m, para facilitar las prácticas de control fitosanitario, cosecha, poda y fertilización foliar. Esta especie vegetal es de tronco grueso y con hojas alargadas, con varias ramificaciones que generan un follaje denso. Se considera un cultivo perenne debido a que se cultiva durante todo el año. El fruto es una drupa, en forma de pera, de color verde claro a verde oscuro y de violeta a negro, cáscara rugosa con una pulpa verde amarillenta y un hueso central muy grande. Existen aproximadamente unas 400 variedades, por lo que podemos encontrar frutos de formas y pesos diferentes, que pueden llegar a pesar de 150 a 350 gr (Álvarez et al., 2015)

4. METODOLOGÍA

A continuación, se indican los materiales, equipos y reactivos principales usados en esta investigación.

4.1. Reactivos.

- Agua destilada.
- Hidróxido de sodio (NaOH) con pureza de 96,37%, marca comercial “Químicos de la frontera”

4.2. Materiales y equipos.

- Analizador termogravimétrico (TGA), marca SDT-Q-600, T.A. Instruments, bajo atmósfera de nitrógeno con flujo másico 50,0 mL/min, equilibrado a 25 ° C, en una rampa de 10 °C/min hasta 600 ° C.
- Balanza Analítica de precisión 0,0001g marca OHAUS Adventurer.
- Los sólidos sintetizados se caracterizaron por DRXP (Xpert PRO MRD PANalytical).
- Espectroscopio de Infrarrojo por Transformada de Fourier y Reflexión Total Atenuada (ATR-FTIR), marca Shimadzu Prestige-21, en el rango de 4000 - 400 cm-1 con 32 exploraciones por muestra en gránulos de KBr.
- Horno mufla marca Ney VULCAN D-550.
- Microscopio Electrónico de Barrido (SEM), marca FEI QUANTA 200, 260.000 optical gain.
- Papel aluminio, marca PAPEL ALUMINIO.
- Semillas de aguacate Persea Americana Mill “Lorena”

4.3. Procedimiento

Para el cumplimiento de los objetivos planteados en la presente investigación se aplicó el diagrama metodológico descrito en la siguiente en la figura.

A continuación, se realiza una explicación detallada del diagrama metodológico.

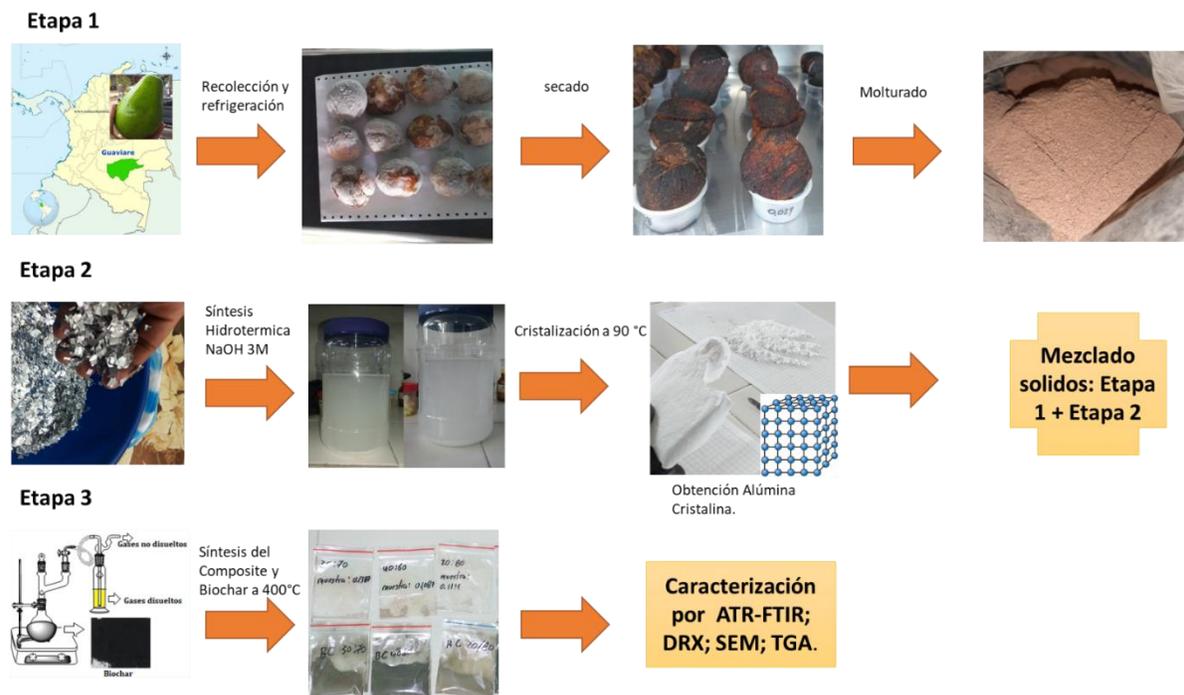


Figura 1. Diagrama general de la metodología experimental

4.3.1 Etapa 1: pretratamiento de la semilla de aguacate

Se recolectaron 29 frutos de aguacate (*Persea Americana Mil*) de la variedad Lorena (papelillo), posteriormente se le extrajeron las semillas. Estas semillas fueron recolectadas en el mercado de san José del Guaviare, las semillas se lavaron, secaron y refrigeraron a 9°C en una nevera marca CENTRALES, conservando la cadena de frio se trasladaron al laboratorio de biocalorimetria de la universidad de pamplona. Las semillas recolectadas fueron descongeladas a temperatura ambiente, lavadas y secadas. Cada una se pesó por triplicado en una balanza analítica marca Ohaus Adventure con una precisión de 0,0001g y posteriormente fueron llevadas al horno marca Ney vulcan a 50°C por un periodo de 144 horas, después de este tiempo se volvieron a pesar individualmente a temperatura ambiente, se pudo evidenciar la perdida de humedad. Se escogieron 15 semillas en las mejores condiciones y que no presentarán contaminantes biológicos, estas fueron molturadas y llevadas a grado polvo.

4.3.2 Etapa 2 Síntesis de la Alúmina.

Para la obtención de la alúmina se tomaron 3 rollos de papel aluminio de uso doméstico cada uno de 15 metros, este se picó en pequeños cuadros de un área promedio de 0,25 cm², luego se pusieron a reaccionar 4 gramos de papel aluminio con 50 mL de hidróxido de sodio NaOH al 3 M en un Erlenmeyer de 3 litros con agitación constante hasta la disolución completa del papel aluminio. Posteriormente, el filtrado se sometió a precipitación a 90°C por 72h, al terminó de este tiempo se filtró y lavo con agua destilada, el sólido se calcino a 700°C por 12h, después de enfriado se moluro y caracterizo. **DRX; SEM; TGA.**

4.3.3 Etapa 3 Síntesis del biochar y composites.

Síntesis del biochar de semilla de aguacate.

Se pesaron 15,6936g de semilla molturada, posteriormente fue llevada por un proceso pirolítico bajo atmosfera reducida a 400°C por un tiempo de 1 hora y 28 minutos utilizando el montaje propuesto en la Etapa 3. después del tiempo establecido se obtuvo un biochar, cuya característica física es un sólido negro granulado. las muestras de biochar se caracterizaron por **ATR-FTIR; DRX; SEM; TGA**

Síntesis de los composites.

Se prepararon 5 mezclas de diferentes proporciones en semilla y alúmina, inicialmente se empezó con una relación de 10% de biochar con 90% de alúmina, se aumentó y redujo en 10% el biochar y la alúmina respectivamente hasta finalizar con 50%biochar-50%alumina, (se mezclaron los sólidos de la etapa 1 y etapa 2) estas mezclas fueron sometidas a 400°C bajo atmosfera reducida por un tiempo de 1 hora y 28 minutos cada una. Los sólidos obtenidos se caracterizaron por **ATR-FTIR; DRX; TGA**

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al aplicar la metodología anteriormente descrita se obtuvieron los siguientes resultados

5.1 Tratamiento y preparación de la semilla:

Las 29 semillas de aguacate recolectadas de la variedad Lorena, raza antillana, el cual, es un tipo de aguacate representativo de San José del Guaviare, debido a que su clima cálido y altura de 200 a 1000 metros sobre el nivel del mar facilitan el cultivo de esta fruta (Álvarez et al., 2015).

El peso de las semillas, antes y después de los tratamientos se describe en la tabla del anexo A. A partir de estos datos se logró demostrar que el peso promedio de una semilla de aguacate de esta especie es de $81,0263 \pm 12,2409$ g, el alto valor de la desviación indica que las semillas no son uniformes, presentan pesos y tamaños diferentes, con una morfología elipsoide, alargada en los polos (Ver figura 2a), los anteriores resultados son consistentes con el reporte Rios et al. 2003 quien estableció que el tamaño puede variar hasta en un 15% (Rios Castaño & Tafur Reyes, 2003).

Después de deshidratar las semillas se estableció que las semillas presentan una pérdida de peso del $68,5091 \pm 5,2976$ %, (figura 2b), que se puede explicar por la pérdida de agua, aceites, ácidos grasos (Werman & Neeman, 1986) (Werman & Neeman, 1987), esteroles y compuestos polifénolicos (García-Fajardo, Ramos-Godínez, & Mora-Galindo, 1999),. Adicionalmente se observó una pérdida gradual del tamaño de las semillas en las tres dimensiones (Ver figura 2b y 2c). Por otro lado, 6 de las 29 semillas presentaron un agregado blanco que se cree que es un hongo (figura 2d), posiblemente se deba a alguna de las especies que con más frecuencia se asocian a daños en el aguacate estos hongos pertenecen a los géneros *Barriopsis* (*B. fusca*), *Botryosphaeria* (*B. dothidea*, *B. quercuum*), *Diplodia* (*D. seriata*, *D. mutila*), *Dothiorella* (*D. iberica*), *Lasiodiplodia* (*L. theobromae*) y *Neofusicoccum* (*N. australe*, *N. luteum*, *N. parvum*, *N. ribis*, *N. vitifusiforme*), Estos hongos se encuentran en todas las áreas geográficas y climáticas. (Garcia, Perera, Rodriguez, & Siverio de la Rosa, 2017)

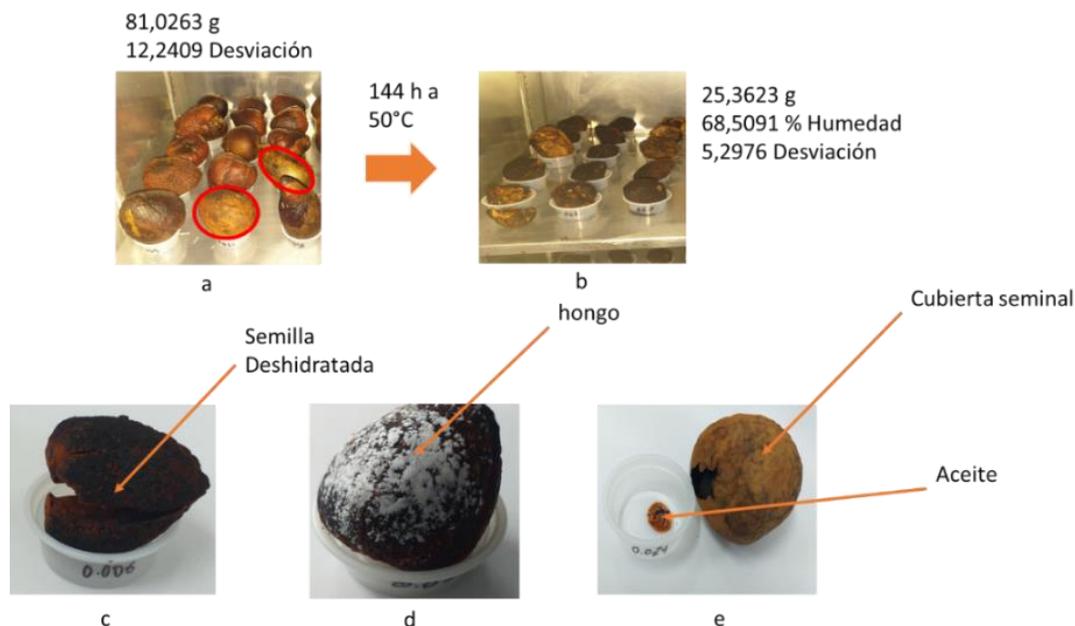


Figura 2. tratamiento de la semilla de aguacate variedad “Lorena”

Las semillas después de las 96 horas de deshidratación tienden a fragmentarse desde el lado superior más ancho al inferior más angosto. Al finalizar el periodo de las 144 horas se observó que 5 semillas de las 29 que se pusieron a prueba contenían una capa protectora orgánica llamada cubierta seminal (Baya, Priego, Villanueva, & García, 1996), estas presentaron menos disminución de tamaño (figura 2e) pero en el interior de esta cubierta la semilla sigue su proceso de deshidratación normal. La pérdida de agua en la semilla se corrobora con el análisis termogravimétrico en donde podemos ver que la semilla tiene alto contenido de agua, esto lo podemos observar con la pérdida de peso que es un 60,07% como esta reportado en la literatura y es comparable con los resultados de (Ceballos & Montoya, 2013), donde los autores confirman que el fruto en la etapa de maduración, contiene una humedad promedio total que varía entre un 60 y 70 %, también se puede observar que la semilla tiene una estabilidad térmica sobre los 225 °C y posteriormente se descompone (figura 3)

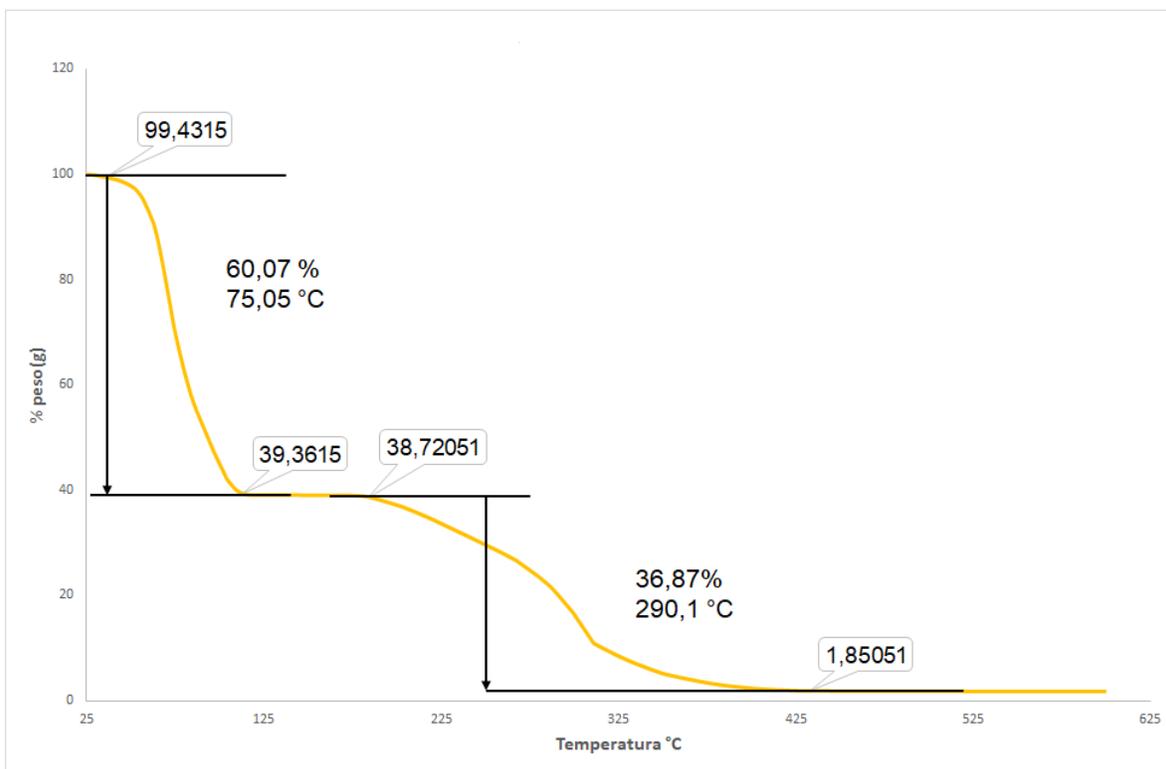
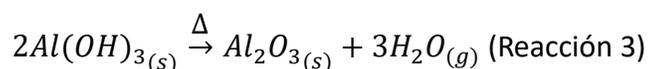
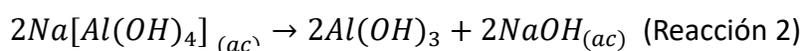
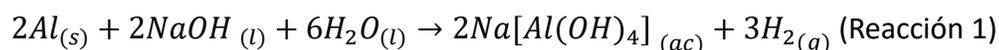


Figura 3. TGA de la semilla de aguacate sin deshidratar

5.2 Síntesis de la alúmina

La ruta sintética que se siguió para la alúmina parte de la Reacción 1, los trozos de papel aluminio comercial al someterlo a tratamiento básico, da un precipitado negro que se debe a componentes de la aleación aluminio que impiden la oxidación del mismo, al filtrarlo se obtiene aluminato de sodio que es una solución translúcida (Delgado, 2016), El aluminato sometido a un tratamiento hidrotermico a 90 °C por 72 horas permitió cristalizar el hidróxido de aluminio (Reacción 2), el cuál después de lavarlo y calcinarlo llevo a la alúmina como sólido blanco (Reacción 3).



Los perfiles de difracción para los sólidos producto de las reacciones 2 y 3, permitieron determinar que el sólido blanco producto de la reacción 2, es cristalino, que presenta picos característicos para una fase del hidróxido de aluminio ($Al(OH)_3 \cdot H_2O$) consistente con el reporte de (Newnham, R.E., de Haan 1962) ver (figura 4)

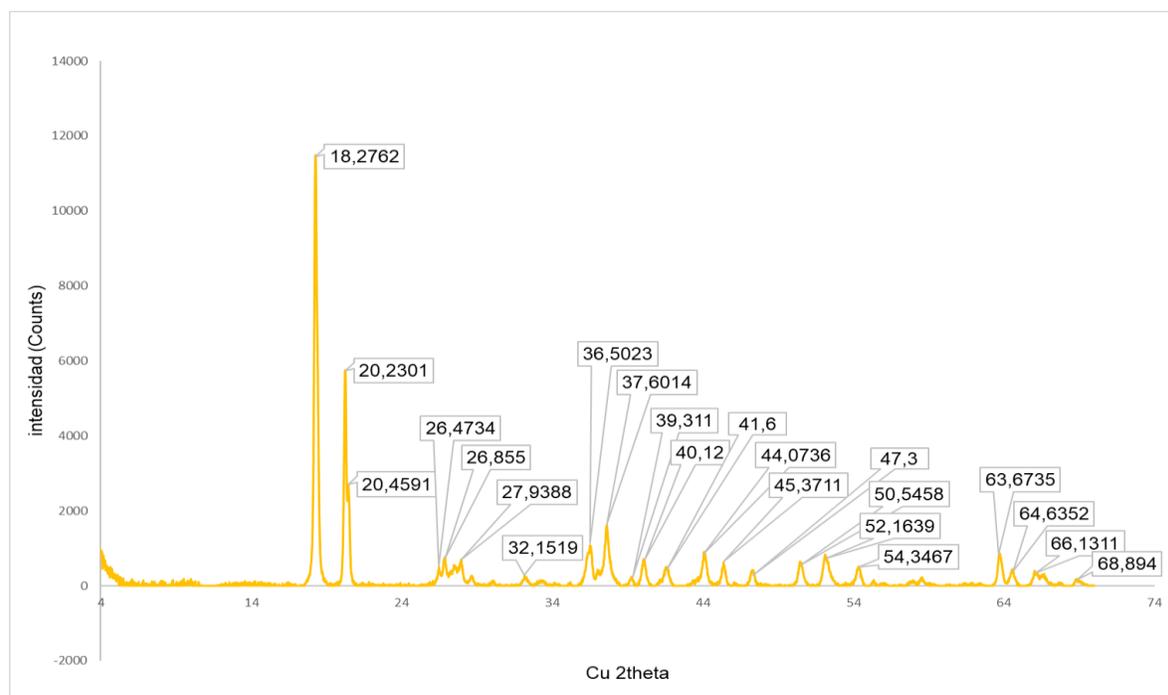


Figura 4. Difractograma DRX del hidróxido de aluminio $Al(OH)_3 \cdot H_2O$

Adicionalmente. el perfil de DRX para el sólido blanco obtenido como producto de la reacción 3, se logró establecer que presenta una única fase sin alce en el background, lo cual, indica que el material es cristalino, la fase obtenida presenta las señales centradas en 2theta (25,58; 35,15; 37,78; 43,35; 52,55; 57,50; 66,52; 68,21) que son características de la alúmina Al_2O_3 en su forma polimórfica alfa y son comparables con los resultados reportados por (Fatimah, Noviyanti, Juliandri, & Solihudin, 2019) (Saalfeld, H. Neues Jahrb 1961), (Chong, King, Marak, & Freedman, 2019), donde ellos reportan el estándar (Standard ICSD 98- 007-5559) que contiene los picos 2theta característicos para la alúmina en su estructura alfa hexagonal (ver figura 5).

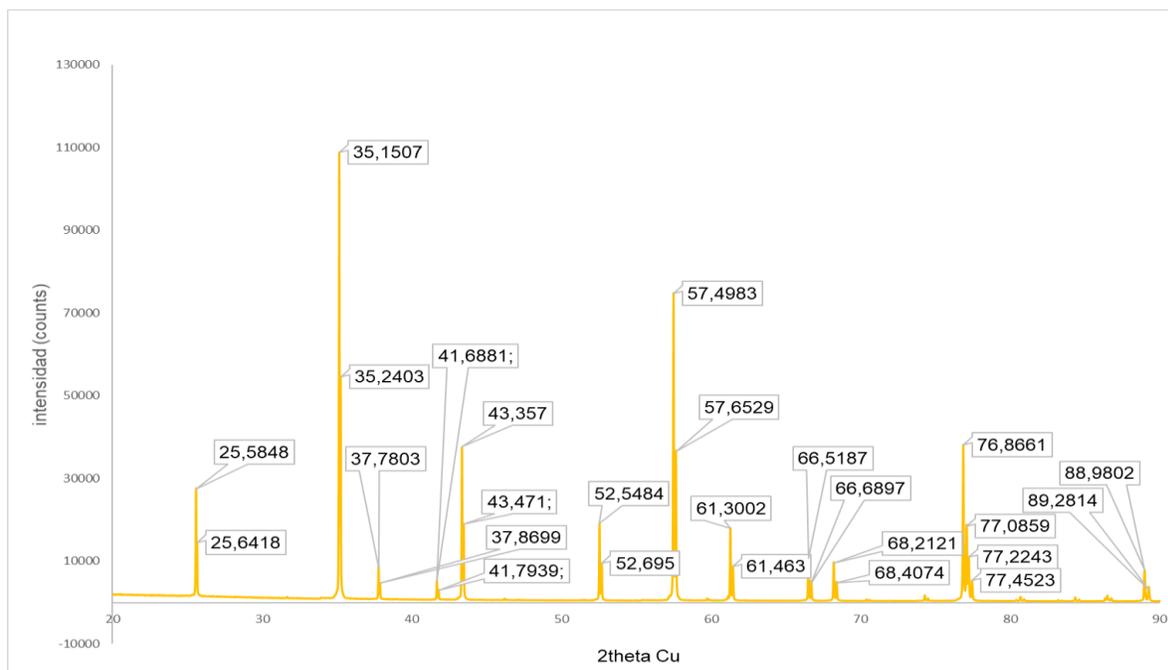


Figura 5. Difractograma DRX del la Alúmina $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$

El estudio morfológico por microscopia electrónica de barrido (SEM) (ver figura 6) permitió establecer que la alúmina sintetizada se agrega en láminas planas hexagonales con tamaños de grano alrededor de 1 a 5 μm , con una estructura pura y sin agregados de otra fase sólida que es comparable con los resultados de Villegas quien en su investigación sintetizaron una alúmina con estructura alfa pero por el método de sol-gel, en la investigación de ellos se logra evidenciar que la alúmina se agrega en capas hexagonales a nivel nanométrico con tamaños 2,512 μm y 34,674 μm , en un intervalo de tamaños de partícula de 0,336 – 138,038 μm (Villegas, Ramírez, Taylor, & Arango, 2015)

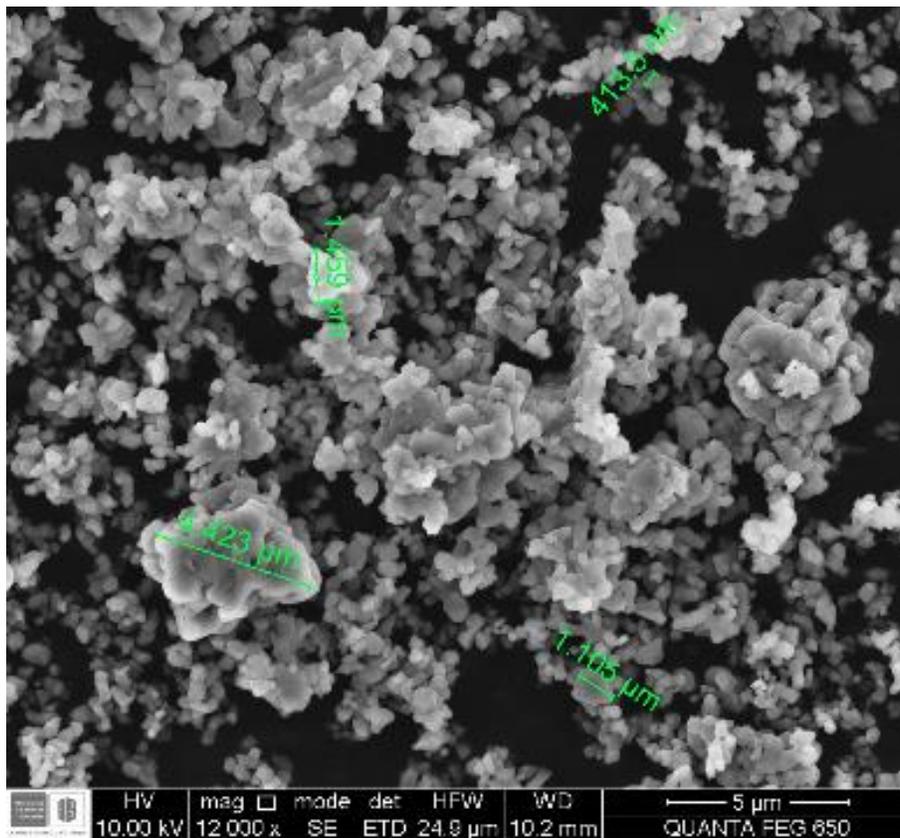


Figura 6. microscopia electrónica de barrido (SEM) de la Alúmina $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$

Continuando, el análisis termogravimétrico mostró que el sólido presenta una pérdida de masa del 27,4428 % centrada en los 166°C, lo cual indica que el material, después de su síntesis queda activo superficialmente y en sus poros recolecta agua y gases del ambiente, el cual se representa esta pérdida. (Ver figura 7)

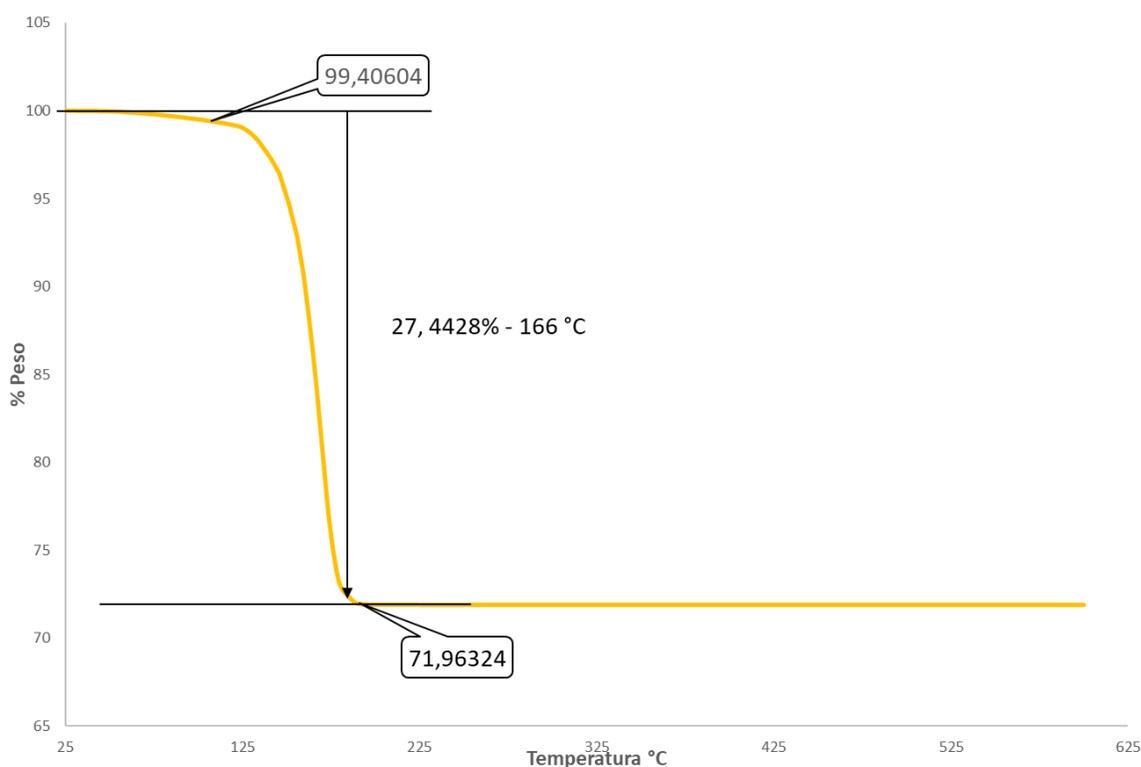


Figura 7. Análisis termogravimétrico (TGA) de la Alúmina α - Al_2O_3

5.6 Síntesis del biochar

En la síntesis del biochar, se logró realizar un seguimiento al tratamiento térmico, mediante el montaje descrito en la (Figura 8), en el cual, se logró evidenciar que al aumentar la temperatura el balón emitía gases grises con una apariencia densa, a medida que se disolvían en la trampa de agua, la solución se tornó amarilla y de carácter ácido, lo cual corrobora la degradación del material orgánico a esteres y ácidos carboxílicos, nitrogenados y sulfurados. Esto se debe a que el proceso pirolítico involucra una red compleja de reacciones asociadas a la descomposición de los principales constituyentes de la biomasa, como son la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, que se caracterizan por su reactividad diferente. Su degradación térmica entre 250 y 400°C da lugar a muchos compuestos volátiles (vapores de agua y alquitrán, hidrocarburos, ácidos, H_2 , CH_4 , CO y CO_2) (Novak et al., 2009)

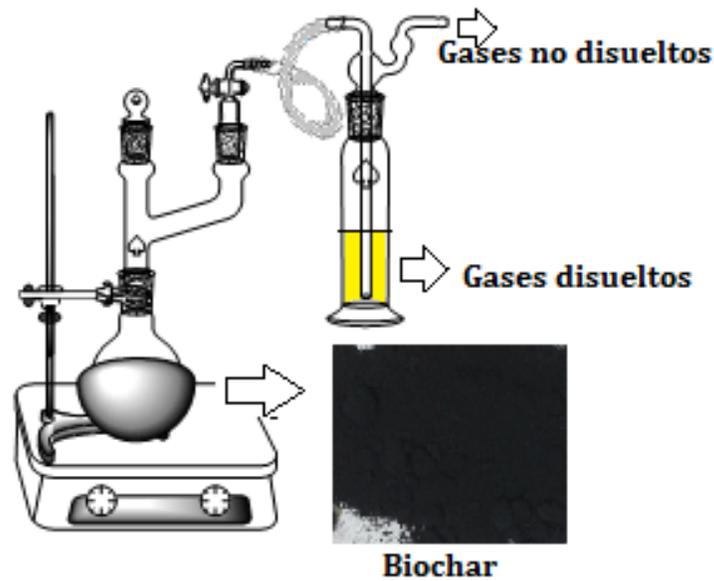


Figura 8. Montaje propuesto para el proceso pirolítico

Al final del proceso pirolítico, el perfil de DRX y el análisis SEM para el biochar (figura 9) nos permite ver que se forma una matriz de carbono amorfa y rígida como la reportada en la literatura de Novak 2009, este presentó una estructura superficial no heterogénea, y secciones donde prevalecían poros. Se observa en el perfil de difracción que hay un domo sobre los $12,0747^\circ$ 2theta que se debe al afilamiento tipo grafito que hay en este tipo de materiales. El biochar obtenido al final del proceso fue un sólido grumoso, negro y con un 26,72% de la masa pesada inicialmente.

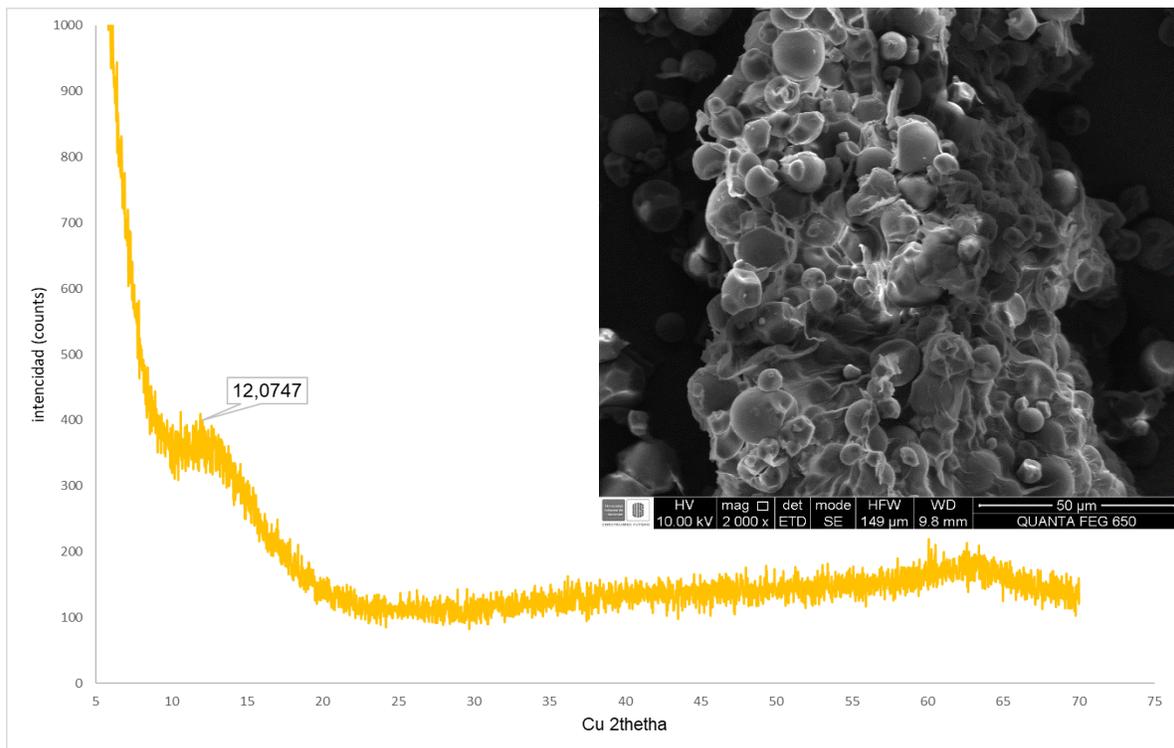


Figura 9. Difractograma DRX & imagen SEM del Biochar obtenido

Adicionalmente se realizó el análisis termogavimetrico (TGA), en este podemos observar que el biochar tiene una estabilidad térmica del por encima de los 350 °C es decir que no presenta descomposición sino hasta después de los 380 °C, el mismo presento una pérdida de masa de 18,2094 % lo cual indica que el material es activo superficialmente para recolectar humedad y gases (figura 10)

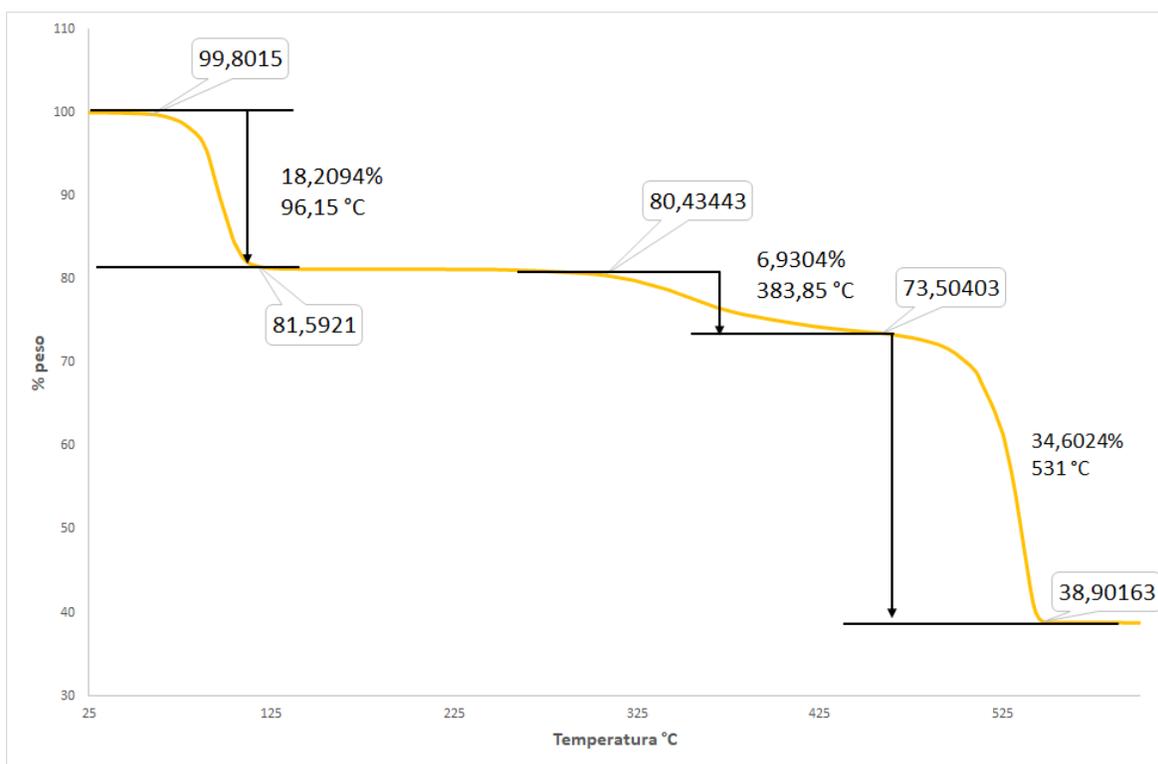


Figura 10. Análisis termogavimetrico (TGA) del Biochar a partir de semilla de aguacate

Con el objeto de evaluar los grupos funcionales presentes en el biochar, en la (Figura 11) podemos ver el espectro de infrarrojo en la región de 4000-600 λ (cm⁻¹) correspondientes al biochar obtenido de la semilla. La banda a 3203,3 λ (cm⁻¹) punto (1) se atribuye a la presencia de agua en la muestra, este resultado nos corrobora el arrojado por el análisis TGA de la (figura 10), los picos a 2922,19 y 2851,32 cm⁻¹ corresponden a la vibración CH₂/CH₃ (2 y 3) respectivamente, estas pequeñas bandas son de tipo sp² carbono que son usuales en este tipo de biochar y son comparables con los resultados de (Guerrero, 2008), quien en su investigación sintetizaron un biochar a partir de semillas de frijol por proceso pirólítico.

también sobre los puntos (4 y 5) podemos observar bandas características de compuestos carbonilos. Estos se localizan a los 1590,47 λ (cm -1) y 1431,18 (cm -1) respectivamente y posiblemente se deban a una cetona.

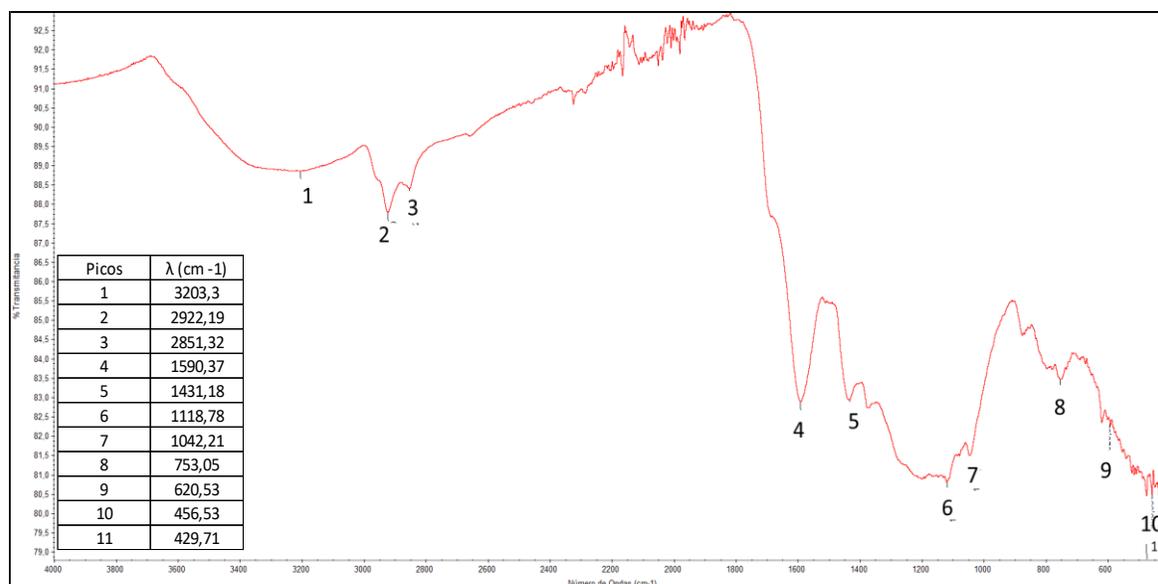


Figura 11 Análisis infrarrojo (ATR-FTIR) del Biochar

5.3 Síntesis de los materiales compuestos Alumina-biochar

En la síntesis de los composites biochar-Alumina se siguió los porcentajes en peso de la tabla 1, cada muestra fue llevada al proceso pirolítico utilizando el montaje propuesto en la (figura 6), en la preparación de las muestras se utilizó la semilla deshidratada y se mezcló con la alúmina, esto con el fin de que hubiese mejor acoplamiento entre los materiales.

Tabla 1. Composición en % peso de los composites sintetizados

COMPOSITES SINTETIZADOS		
MUESTRA	% de Biochar	% de Alumina
1	10	90
2	20	80
3	30	70
4	40	60
5	50	50

Durante la síntesis se observó que al aumentar la temperatura, se emitían gases grises y densos con olores, esto se debe a la descomposición del material orgánico presente en la muestra (Escalante et al., 2016), y que a medida que aumentaba el porcentaje de material orgánico en el composite mayor iba a ser la emisión de los compuestos volátiles, esto lo

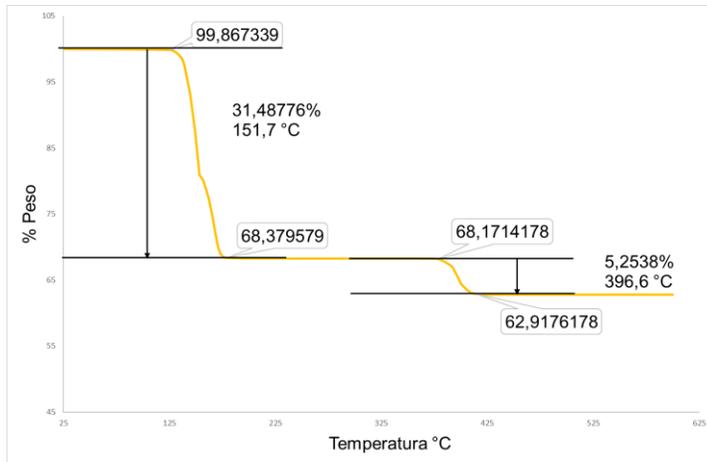
podemos observar en la (figura 12) donde se observan los composites sintetizados, a mayor porcentaje de la muestra biochar en la muestra, el color y el aspecto físico del material se torna más oscuro.



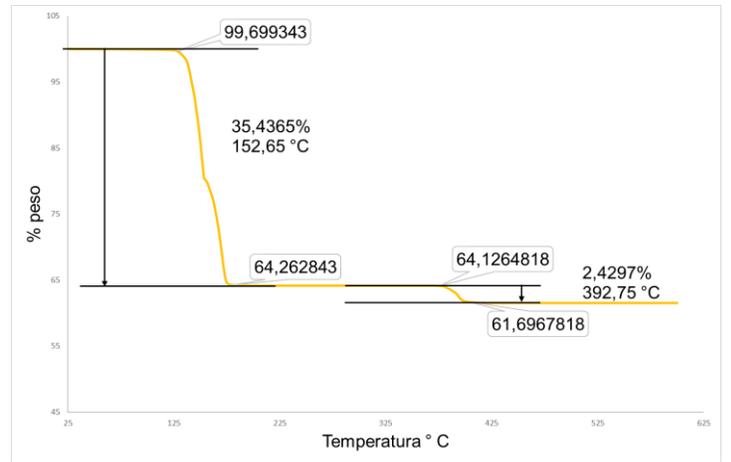
Figura 12. Composites sintetizados Alumina-Biochar

Adicional a esto, los 5 composites sintetizados fueron evaluados por el análisis termogravimétrico (TGA), estos análisis lo podemos ver en la (figura 13), a partir de ello se puede observar que los materiales son estables térmicamente de los 380°C a 400°C y tienen una superficie activa en humedad y gases que varía de 31,48776% a 47,18804%, siendo el de mayor porcentaje el último composite con una relación de 50% biochar-50% Alúmina, esto quiere decir que en los otros materiales sintetizados la alúmina actúa como catalizador en la descomposición de la parte orgánica, prácticamente descompone todo y solo nos quedaríamos con alúmina. A partir de ello se infirió que el composite que más retención de carbono tiene es el 50/50 y por ende mayor superficie activa en futuras aplicaciones para la adsorción de contaminantes.

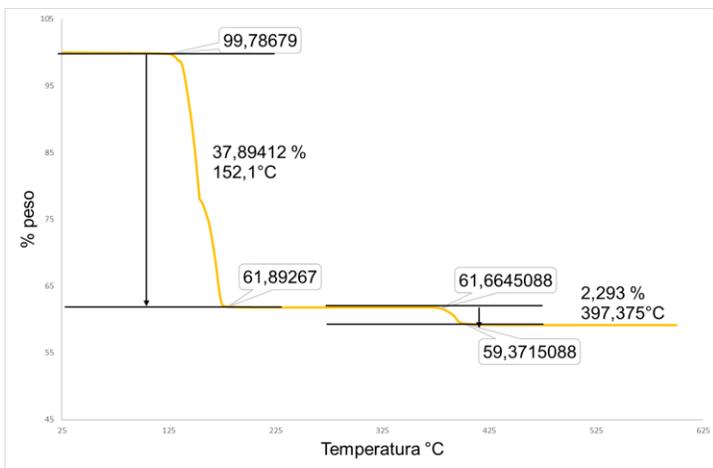
10% de biochar-90% de Alúmina



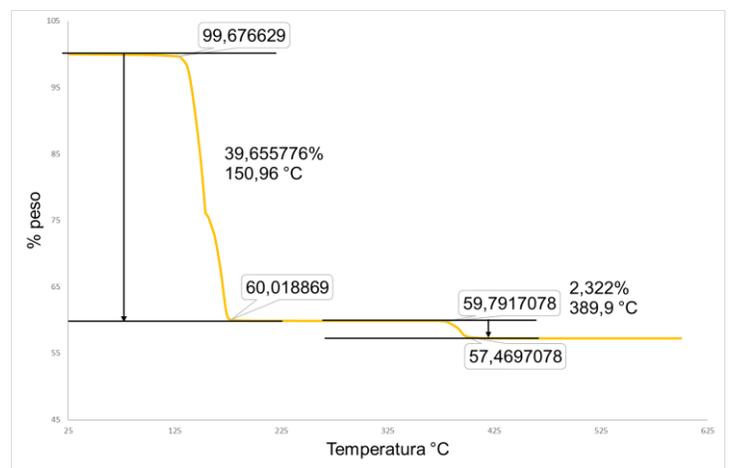
20% de biochar-80% de Alúmina



30% de biochar-70% de Alúmina



40% de biochar-60% de Alúmina



50% de biochar-50% de Alúmina

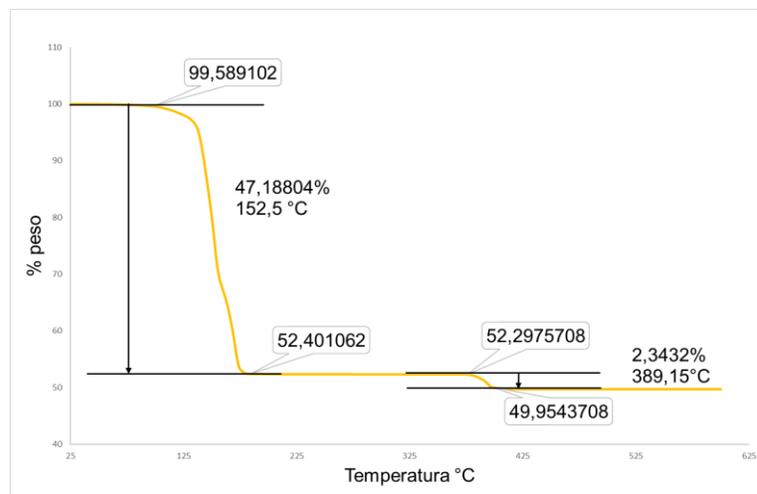


Figura 13. Análisis Termogravimétrico (TGA) de los composites Alumina-Biochar

Para confirmar que efectivamente el ultimo composite contenía mayor retención de carbono, se le realizo el análisis de difracción de rayos x (DRX) (figura 14) y efectivamente podemos observar el material compuesto tiene las dos fases, la parte amorfa que pertenece al biochar con un domo sobre los 12,2172 2theta y la parte cristalina con picos intensos característicos de la alúmina con estructura alfa.

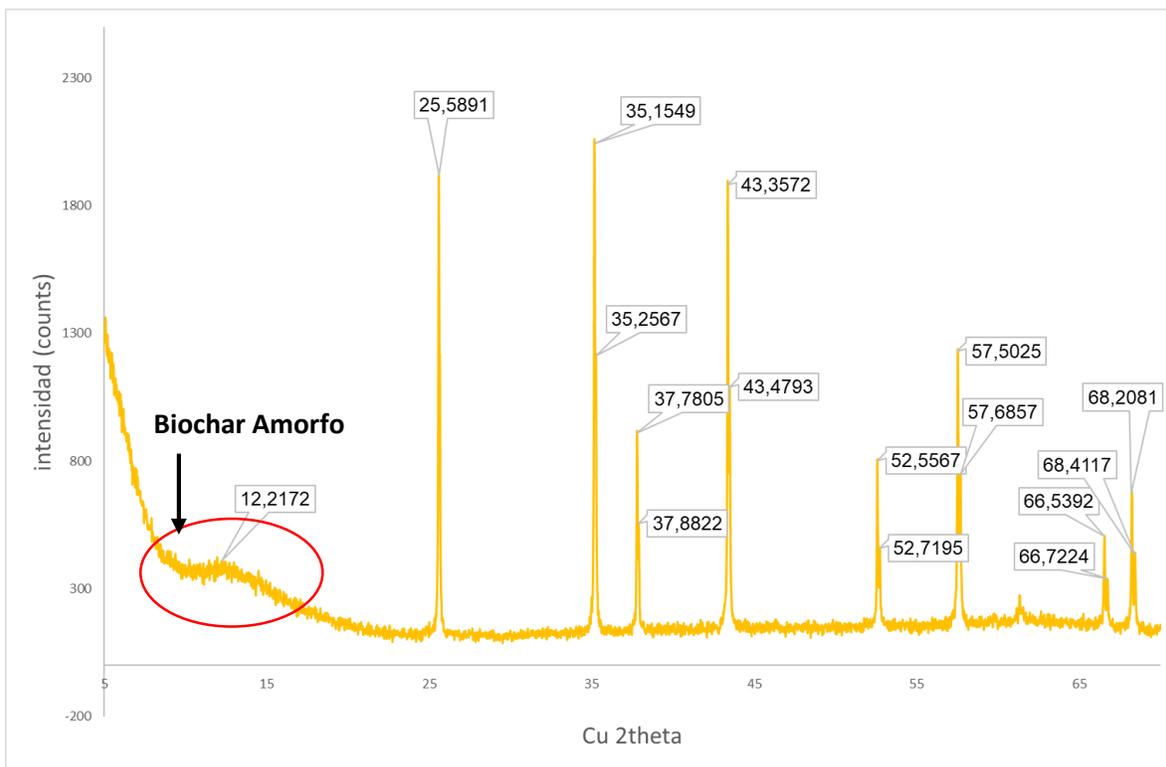


Figura 14. Difractometro (DRX) del composite 50% biochar-50% Alumina

Adicional a esto, los composites en mayor proporción en este caso 40/60 y 50/50 se les realizo el análisis de infrarrojo (ATR-FTIR), se puede observar en el espectro (figura 15) que el composite con 40% biochar y 60 % alúmina efectivamente contiene agua y esto lo podemos ver en la banda 3286,43 λ (cm⁻¹) punto (1), es decir que este resultado nos corrobora el arrojado por el TGA correspondiente a este composite, también podemos observar la parte orgánica correspondiente a sobre la banda 2924,25 λ (cm⁻¹) punto (2) característicos de grupos -CH₂- que es comparable con (Kaal, Brodowski, Baldock, Nierop, & Cortizas, 2008) y una banda de 1563,73 λ (cm⁻¹) punto (3) característicos del grupo carbonilo, se observa posiblemente agua estructural con enlaces O-C con parte inorgánica.

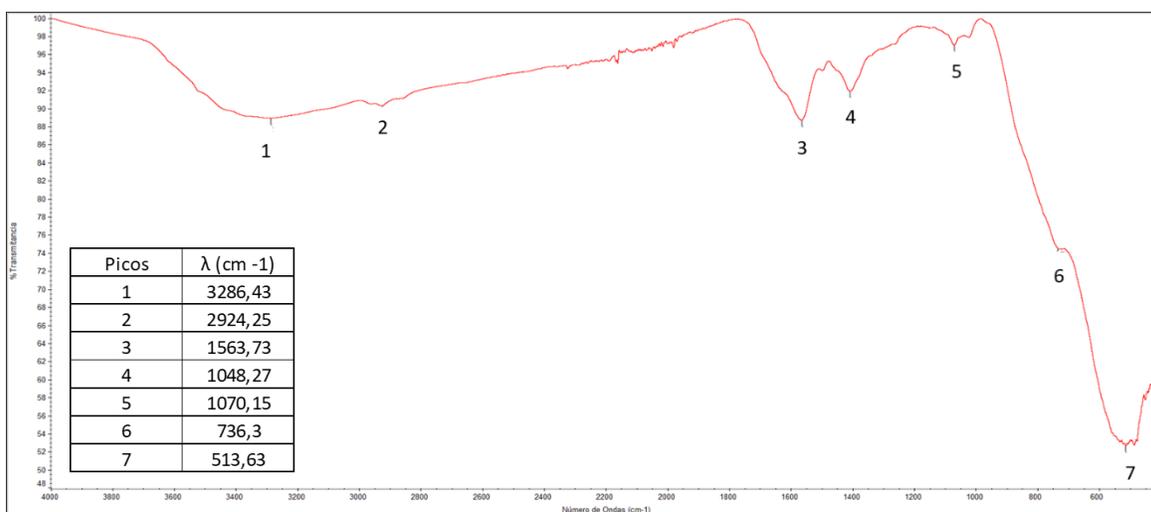


Figura 15. Espectroscopia de infrarrojo (ATR-FTIR) del composite 40% biochar-60%

En cuanto a la espectroscopia de infrarrojo del composite 50% biochar y 50 % alúmina (figura 16) podemos observar que sigue manteniendo grupos funcionales característicos de enlaces Sp², adicional a esto, al contar con mas material organico, cuenta con componetes nitrogenados en los puntos 2 y 3 con bandas de 3525,94 λ (cm⁻¹) y 3370,47 λ (cm⁻¹) respectivamente, característicos de aminas, tambien en los punto (4 y 5) se nota un estiramiento C-H con bandas de 2924,34 λ (cm⁻¹) y 2849,3 λ (cm⁻¹) que posiblemente se deba a estructuras de alquenos o aromáticos (Hammes et al., 2006). El composite tiene enlaces carbono-oxigeno y parte estructural de la alumina, lo que nos corrobora el analisis DRX de la (figura 14), donde vemos la coexistencia de las dos fases, tanto amofa como cristalina.

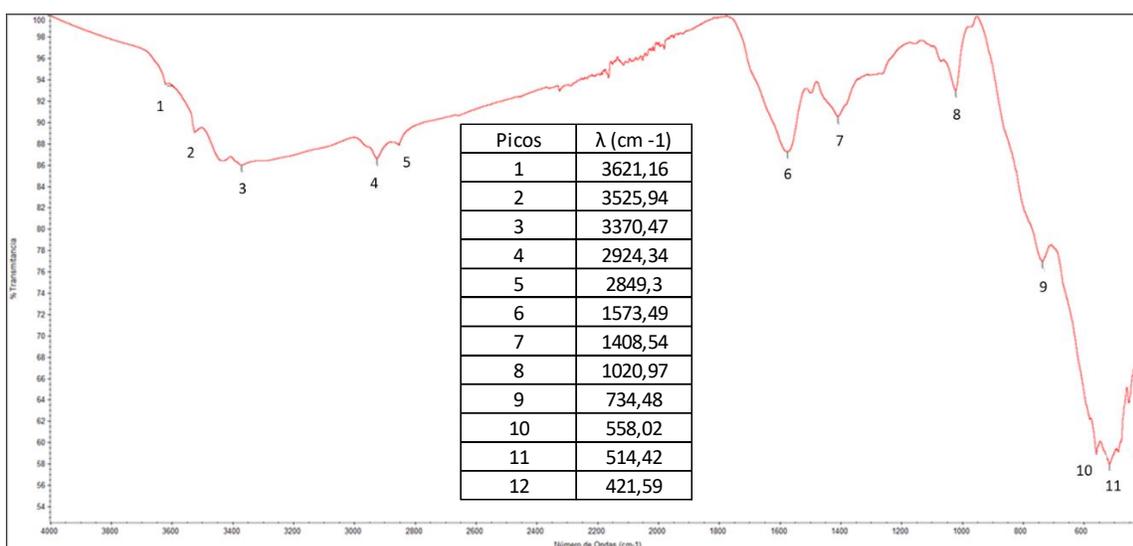


Figura 16. Espectroscopia de infrarrojo (ATR-FTIR) del composite 50% biochar-50%

6. CONCLUSIONES

- Con la metodología planteada en la investigación se logró sintetizar alúmina alfa cristalina con estructura hexagonal a partir de papel aluminio, lo anterior permitirá usar este material usualmente desechado.
- Se logró sintetizar un material de tipo biochar con morfología esférica a partir de la semilla de aguacate.
- A partir de desechos de aluminio y de semillas de aguacate, se logró sintetizar un composite poroso con nivel estructural óptimo y un alto nivel de retención de carbono.
- Con la investigación se demuestra que se pueden hacer coexistir las dos fases a nivel estructural de alúmina - biochar para sintetizar nuevos materiales compuestos, con una estabilidad térmica por encima de los 350°C.

7. PUBLICACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION.

Los resultados obtenidos del presente trabajo de grado fueron presentados en la modalidad video y/o poster en el VI SIMPOSIO DE MATERIALE POLIMERICOS que se celebro del 23 al 27 de noviembre del 2020, ver anexo B.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abd El-Lateef, H. M., & Khalaf, M. M. (2020). Fabrication and characterization of alumina-silica/poly(o-toluidine) nanocomposites as novel anticorrosive epoxy coatings films on carbon steel. *Microchemical Journal*, 158, 105129. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105129>
- Álvarez, S. P., Quezada, G. Á., & Arbelo, O. C. (2015). *Review AVOCADO (Persea americana Mill) Revisión bibliográfica*. 36(2), 111–123. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19879.55200>
- Awual, M. R., & Hasan, M. M. (2019). A ligand based innovative composite material for selective lead(II) capturing from wastewater. *Journal of Molecular Liquids*, 294, 111679. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111679>
- Baya, D. O., Priego, B., Villanueva, E. G., & García, E. A. (1996). *Anatomía Del Fruto De*. 2(1942), 189–198.
- Bieniek, A., Terzyk, A. P., Wiśniewski, M., Roszek, K., Kowalczyk, P., Sarkisov, L., ... Kaneko, K. (2020). MOF materials as therapeutic agents, drug carriers, imaging agents and biosensors in cancer biomedicine: recent advances and perspectives. *Progress in Materials Science*, 100743. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2020.100743>
- Bird, L. (2014). Editorial. *Journal of Business Continuity & Emergency Planning*, 7(3), 180–181.
- Ceballos, A., & Montoya, S. (2013). Evaluación química de la fibra en semilla, pulpa y cáscara de tres variedades de aguacate. *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial: BSAA*, 11(1), 103–112.
- Chong, E., King, M., Marak, K. E., & Freedman, M. A. (2019). The Effect of Crystallinity and Crystal Structure on the Immersion Freezing of Alumina [Research-article]. *Journal of Physical Chemistry A*, 123(12), 2447–2456. <https://doi.org/10.1021/acs.jpca.8b12258>
- Chunga Mejia, A. (2015). *Determinación De La Acción Antimicótica in Vitro De Un Gel Elaborado a Partir Del Aloe Vera Y Persea Americana En La Universidad De Guayaquil, Facultad De Ciencias Químicas. Guayaquil, 2014*. 1–68.
- Connor, D. O., Peng, T., Zhang, J., Tsang, D. C. W., Alessi, D. S., Shen, Z., ... Hou, D. (2018). Science of the Total Environment Biochar application for the remediation of heavy metal polluted land : A review of in situ field trials. *Science of the Total Environment*, 619–620, 815–826. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.132>
- CONPES 3874. (2016). Política Nacional Para La Gestión Integral De Residuos Solidos. *Consejo Nacional de Política Económica Y Social*, 73.
- Delgado, F. (2016). Fabricación y caracterización de la aleación de aluminio reciclado con adición de silicio particulado. *Universidad Nacional de Colombia*, 2–165.
- DNP. (2016). DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. PÉRDIDA Y DESPERDICIO DE ALIMENTOS EN COLOMBIA: Estudio de la Dirección de

Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas. *Ria*, 48, 116.

- Egbo, M. K. (2020). A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, (xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.07.007>
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., & Etchevers, J. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. Biocarbon (biochar) I: Nature, history, manufacture and use in soil. *Terra Latinoamericana*, 34, 367–382.
- Fatimah, T., Noviyanti, A., Juliandri, J., & Solihudin, S. (2019). Synthesis and characterization of gamma alumina and its adsorption capability test for Pomalaa magnesium laterite, Southeast Sulawesi. *Indonesian Mining Journal*, 22(1), 1–18. <https://doi.org/10.30556/imj.vol22.no1.2019.977>
- Frikha, K., Limousy, L., Bouaziz, J., Bennici, S., Chaari, K., & Jeguirim, M. (2019). Elaboration of alumina-based materials by solution combustion synthesis: A review. *Comptes Rendus Chimie*, 22(2–3), 206–219. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2018.10.004>
- García-Fajardo, J. A., Ramos-Godínez, R., & Mora-Galindo, J. (1999). Estructura De La Semilla De Aguacate Y Cuantificación De La Grasa Extraída Por Diferentes Técnicas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 123–128.
- Garcia, O., Perera, S., Rodriguez, A., & Siverio de la Rosa, F. (2017). Enfermedades del aguacate causadas por especies de hongos de la familia Botryosphaeriaceae. *Avocado*, (February), 13. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23254.96320>
- Guerrero, leonardo chavez. (2008). *Producción y Caracterización de Nuevos Materiales : Carbón Activado y Materiales Obtenidos del Frijol*.
- Hammes, K., Smernik, R. J., Skjemstad, J. O., Herzog, A., Vogt, U. F., & Schmidt, M. W. I. (2006). Synthesis and characterisation of laboratory-charred grass straw (*Oryza sativa*) and chestnut wood (*Castanea sativa*) as reference materials for black carbon quantification. *Organic Geochemistry*, 37(11), 1629–1633. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2006.07.003>
- Kaal, J., Brodowski, S., Baldock, J. A., Nierop, K. G. J., & Cortizas, A. M. (2008). Characterisation of aged black carbon using pyrolysis-GC/MS, thermally assisted hydrolysis and methylation (THM), direct and cross-polarisation ¹³C nuclear magnetic resonance (DP/CP NMR) and the benzenepolycarboxylic acid (BPCA) method. *Organic Geochemistry*, 39(10), 1415–1426. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2008.06.011>
- Kamran, U., & Park, S. J. (2020). MnO₂-decorated biochar composites of coconut shell and rice husk: An efficient lithium ions adsorption-desorption performance in aqueous media. *Chemosphere*, 260, 127500. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127500>
- Krishnan P.P, R., Vijayan, S., Wilson, P., Arun Kumar, P., & Prabhakaran, K. (2019). Aqueous tape casting of alumina using natural rubber latex binder. *Ceramics*

- International*, 45(15), 18543–18550. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.06.075>
- Kristoffersen, E., Blomsma, F., Mikalef, P., & Li, J. (2020). The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies. *Journal of Business Research*, 120(August 2019), 241–261. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.044>
- Kumar, J. G. K., & Venkatesh Babu, R. (2019). Mechanical behaviour and characterization of reinforced CNSL composite material. *Materials Today: Proceedings*, (xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.398>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2012). Biochar for environmental management: An introduction. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*, 1, 1–12. <https://doi.org/10.4324/9781849770552>
- Liu, Y., Chen, Z., Shen, Y., Zhou, Y., Wang, D., Lei, Z., ... Min, Z. (2019). Silicone-based alumina composites synthesized through in situ polymerization for high thermal conductivity and thermal stability. *Materials Letters*, 127002. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.127002>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2006). *Plan Frutícola Nacional. Documento completo*. 43.
- Ministerio del Medio Ambiente - Colombia. (2015). Proyecto Piloto Analisis De Impacto Normativo – Estrategia Para La Gestión De Envases Y Empaques. *Ministerio Del Medio Ambiente - Colombia*, (8), 20.
- Novak, J. M., Lima, I., Gaskin, J. W., Steiner, C., Das, K. C., Ahmedna, M., ... Schomberg, H. (2009). *CHARACTERIZATION OF DESIGNER BIOCHAR PRODUCED AT DIFFERENT TEMPERATURES AND THEIR EFFECTS ON A LOAMY SAND*. 3(843), 195–206.
- Opoku, R., Obeng, G. Y., Darkwa, J., & Kwofie, S. (2020). Minimizing heat transmission loads and improving energy efficiency of building envelopes in sub-Saharan Africa using bio-based composite materials. *Scientific African*, 8, e00358. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00358>
- Praneeth, S., Guo, R., Wang, T., Dubey, B. K., & Sarmah, A. K. (2020). Accelerated carbonation of biochar reinforced cement-fly ash composites: Enhancing and sequestering CO₂ in building materials. *Construction and Building Materials*, 244, 118363. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118363>
- Prieto Sandoval, V., Jaca García, M., & Ormazabal, M. (2017). Economía circular: relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. *Memoria Investigaciones En Ingeniería*, 15(15), 85–95.
- Quispe, suazo 2014. (2014). Etanólico De La Semilla De Persea Americana (Palta) En Ratones Hembras Durante El Periodo Enero- Marzo 2014 ”. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*.
- Rajak, D. K., Pagar, D. D., Kumar, R., & Pruncu, C. I. (2019). Recent progress of reinforcement materials: a comprehensive overview of composite materials. *Journal of*

- Materials Research and Technology*, (x x), 1–21.
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.09.068>
- Rios Castaño, D., & Tafur Reyes, R. (2003). Variedades De Aguacate Para El Trópico: Caso Colombia. *Proceedings V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial Del Aguacate)*, 143–147.
- Rodríguez-Páez, J. E., Villaquirán, C., & Cobo, J. (2001). Estudio de la formación de los complejos intermedios durante la síntesis de alumina. *Materials Research*, 4(4), 255–264. <https://doi.org/10.1590/s1516-14392001000400007>
- San, M. D. E., & Del, J. (2005). *Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos Del Proyectos De Ingeniería Ambiental Y San Jose Del Guaviare*.
- Sharma, S., Sudhakara, P., Misra, S. K., & Singh, J. (2020). A comprehensive review of current developments on the waste-reinforced polymer-matrix composites for automotive, sports goods and construction applications: Materials, processes and properties. *Materials Today: Proceedings*, (xxxx).
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.523>
- Song, X., Zhang, Y., Luo, X., Chen, P., & Liu, J. (2019). 2D magnetic scallion sheathing-based biochar composites design and application for effective removal of arsenite in aqueous solutions. *Chemical Engineering Research and Design*, 152, 384–392.
<https://doi.org/10.1016/j.cherd.2019.10.007>
- Udaya, & Fernandes, P. (2020). Novel carbon nanotube and fly-ash reinforced Al composites for automobile and aerospace applications. *Materials Today: Proceedings*, (xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.969>
- Valencia, A., Castaño, R. S., Sánchez, A., & Bonilla, M. (2010). *Gestión de la contaminación ambiental : cuestión de corresponsabilidad Management of Environmental Pollution : a matter of*. 90–99.
- Vikrant, K., Kim, K., Peng, W., Ge, S., & Ok, Y. S. (2019). Adsorption performance of standard biochar materials against volatile organic compounds in air: A case study using benzene and methyl ethyl ketone. *Chemical Engineering Journal*, 123943.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123943>
- Villegas, P., Ramírez, V., Taylor, V., & Arango, S. (2015). Caracterización biológica y mecánica de α - alumina nano y micrométrica como material potencial para reconstrucción de tejido óseo TT - Biological and mechanics characterization of micrometric and nanometric α -alumina like potential material for bone tiss. *Revista Latinoamericana de Metalurgia Y Materiales*, 35(1), 15–26.
- Wang, J., & Wang, S. (2019). Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. *Journal of Cleaner Production*, 227, 1002–1022.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.282>
- Wang, Y., Zhang, T. an, Zhang, Y., Lyu, G., & Zhang, W. (2019). Mineral transformation in treating low-grade bauxite using the calcification–carbonization process and preparing cement clinker with the obtained residue. *Minerals Engineering*, 138(April),

139–147. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.04.031>

Werman, M. J., & Neeman, I. (1986). Oxidative stability of avocado oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 63(3), 355–360. <https://doi.org/10.1007/BF02546046>

Werman, M. J., & Neeman, I. (1987). Avocado oil production and chemical characteristics. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 64(2), 229–232. <https://doi.org/10.1007/BF02542007>

Xiang, W., Zhang, X., Chen, K., Fang, J., He, F., Hu, X., ... Gao, B. (2019). Enhanced adsorption performance and governing mechanisms of ball-milled biochar for the removal of volatile organic compounds (VOCs). *Chemical Engineering Journal*, 123842. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123842>

Yadav, A. K., & Bhattacharyya, S. (2019). A new approach for the fabrication of porous alumina beads using acid leachate of kaolin. *Microporous and Mesoporous Materials*, 109795. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2019.109795>

ANEXO A

Pesos de las semillas (Todos los pesos están reportados en gramos)										
Pesos de las semillas					Pesos de las semillas deshidratadas (144 h a 50 ° C)					
N°	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Promedio	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Promedio	% Perdida de Humedad	
1	86,2406	86,2337	86,2317	86,2353	31,2555	31,2543	31,2527	31,2542	63,7571	
2	92,462	92,4585	92,4535	92,4580	27,9864	27,9853	27,985	27,9856	69,7316	
3	70,6222	70,619	70,6161	70,6191	24,8783	24,8785	24,8786	24,8785	64,7709	
4	87,1701	87,1363	87,1316	87,1460	23,7449	23,7443	23,7438	23,7443	72,7534	
5	99,0933	99,0894	99,083	99,0886	36,5566	36,5561	36,5555	36,5561	63,1077	
6	104,805	104,8022	104,7994	104,8023	31,5491	31,5475	31,5467	31,5478	69,8978	
7	94,1155	94,1108	94,1068	94,1110	33,7024	33,7025	33,7023	33,7024	64,1887	
8	82,7536	82,7493	82,7447	82,7492	19,5122	19,5119	19,512	19,5120	76,4203	
9	85,0609	85,057	85,0514	85,0564	29,1861	29,186	29,1861	29,1861	65,6862	
10	64,2445	64,2431	64,2412	64,2429	23,1186	23,1186	23,1185	23,1186	64,0138	
11	56,5383	56,5359	56,5326	56,5356	20,9648	20,9461	20,946	20,9523	62,9396	
12	84,5611	84,5553	84,5500	84,5555	21,7153	21,7152	21,7155	21,7153	74,3182	
13	83,5484	83,5408	83,5356	83,5416	15,2859	15,2858	15,2855	15,2857	81,7028	
14	68,3374	68,3341	68,3308	68,3341	21,7308	21,7307	21,7306	21,7307	68,1993	
15	84,6803	84,6756	84,6724	84,6761	29,8165	29,8162	29,816	29,8162	64,7879	
16	69,2140	69,2106	69,2072	69,2106	25,9348	25,9348	25,9345	25,9347	62,5278	
17	71,5448	71,5425	71,5393	71,5422	24,7501	24,7496	24,7497	24,7498	65,4053	
18	83,1261	83,1236	83,1207	83,1235	24,7261	24,7261	24,726	24,7261	70,2538	
19	107,468	107,4579	107,4503	107,4588	25,2824	25,2823	25,2823	25,2823	76,4725	
20	79,3329	79,3283	79,3236	79,3283	20,6492	20,6486	20,6476	20,6485	73,9709	
21	76,7809	76,775	76,7656	76,7738	20,8468	20,8473	20,8473	20,8471	72,8460	
22	60,2722	60,2692	60,2669	60,2694	21,566	21,5612	21,5613	21,5628	64,2226	
23	73,2749	73,2700	73,2633	73,2694	18,7006	18,7007	18,7007	18,7007	74,4768	
24	89,6265	89,6222	89,6181	89,6223	25,6364	25,6359	25,6359	25,6361	71,3954	
25	75,6926	75,6870	75,6808	75,6868	20,4816	20,4817	20,4819	20,4817	72,9388	
26	91,8185	91,8191	91,8124	91,8167	35,0685	35,0682	35,0681	35,0683	61,8062	
27	69,115	69,1102	69,1047	69,1100	21,2942	21,2941	21,2942	21,2942	69,1880	
28	85,2492	85,2415	85,2345	85,2417	33,2172	33,2171	33,2171	33,2171	61,0318	
29	73,1625	73,1586	73,1545	73,1585	26,3709	26,3713	26,371	26,3711	63,9535	
				PROMEDIO TOTAL					PROMEDIO TOTAL	25,3623
				DESVIACION					% DE PERDIDA DE HUMEDAD	68,5091
									DESVIACION	5,2976

ANEXO B



**VI Simposio
DE MATERIALES
POLIMÉRICOS**



Otorgan la presente constancia a:

**Andrés González Montealegre, José H Quintana Mendoza
y Alexandra Torres**

Por su participación en calidad de
Participante en Modalidad de Video

**Síntesis de un material compuesto alumina-biochar derivado
de la semilla del aguacate (*Persea americana Mill*)**

en el VI Simposio de Materiales Poliméricos, realizado del 23 al 27 de noviembre de 2020

Esta constancia se expide en la ciudad de Cali (Colombia) a los 2 días del mes de diciembre de 2020


Firmado digitalmente por
Paulo César Ramírez
Quintero
Fecha: 2020.12.02
20:27:52 -05'00'

Paulo César Ramírez Quintero
Subdirector (E)
Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria – ASTIN
SENA Regional Valle

