

**APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE CACAO PARA LA
ELABORACIÓN DE UN BIOCOMPOSITO CON APLICACIÓN EN
LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**

1802-059



UNIVERSIDAD
EL BOSQUE

**FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ
Abril 2019**

**APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE CACAO PARA LA
ELABORACIÓN DE UN BIOCOMPOSITO CON APLICACIÓN EN
LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**

Lina Manuela Rojas González

Director

José Francisco Ibla Gordillo

Línea de Investigación

Gestión para el Desarrollo Urbano y rural para el mejoramiento de la calidad de vida

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Ambiental

Bogotá

Abril 2019

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a mi director y amigo, Francisco Ibla, por haberme dado este voto de confianza y haberme guiado durante este proceso, esto no habría sido posible sin su apoyo y dirección.

Al personal del laboratorio de Proyectos de Grado de la Universidad del Bosque, por su guía en los procedimientos y análisis de las distintas muestras.

A los cacaoteros de San Vicente de Chucurí por haber inspirado este proyecto y permitirme entrar en sus hogares.

El que cree, crea

El que crea, hace

El que hace se transforma a sí mismo

Y a la sociedad en la que vive

- **Proverbio Maya**

Dedicatoria

Quiero dedicar este proyecto a mi familia, por ser quienes estuvieron ahí en cada momento, por motivarme, escucharme y corregirme, por haber hecho de este viaje más placentero. A mis padres, por enseñarme a luchar, a seguir adelante, a nunca bajar la cabeza y ser constante, por siempre estar ahí. A alguien muy especial, mi abuelo, quien dejó esta vida para iniciar una nueva aventura, quien me enseñó a cantarle a la vida y siempre mantener una melodía en ella. Me enseñaste a amar la vida y te agradezco por ello, espero haberte hecho orgulloso con este nuevo logro.

Tabla de Contenido

I. Resumen	8
II. Abstract	8
III. Introducción.....	9
IV. Planteamiento del Problema.....	10
V. Pregunta de Investigación	11
VI. Objetivos	11
Objetivo General	11
Objetivos Específicos	11
VII. Justificación	11
VIII. Marcos de Referencia.....	12
Estado del Arte	12
Marco Teórico-Conceptual	15
Marco Geográfico.....	18
Marco Normativo	20
Marco Institucional.....	22
IX. Metodología.....	24
Enfoque.....	24
Alcance	24
Método.....	24
Metodología	25
Objetivo 1.....	25
Objetivo 2.....	26
Objetivo 3.....	27
Técnicas e Instrumentos.....	27
Objetivo 1.....	27
Objetivo 2.....	28
Objetivo 3.....	30
X. Resultados y Análisis.....	32
Objetivo Específico 1: Elaborar un biocomposito con cáscara residual del cacao y una matriz polimérica sintética.	32
Visita Técnica.....	32
Vivienda de Interés Social	36
Elaboración del biocomposito.....	37

Objetivo Específico 2: Caracterizar las propiedades físicas y químicas de la cáscara de cacao y físico-mecánicas del biocomposito elaborado.	39
Caracterización física y química de la Cáscara de Cacao.....	39
Caracterización físico-mecánica del biocomposito	45
Objetivo 3: Relacionar las propiedades obtenidas del biocomposito con los criterios de sostenibilidad en materiales de construcción.....	55
Certificaciones en construcción sostenible.	55
Matrices de Evaluación del Material Elaborado.	57
Evaluación del Material Elaborado.	58
Aplicación del Material en la Construcción Sostenible.	63
XI. Conclusiones.....	65
XII. Recomendaciones.....	66
XIII. Bibliografía	67
XIV. Anexos.....	¡Error! Marcador no definido.

Lista de Tablas

Tabla 1 Normatividad colombiana	21
Tabla 2. Proporción en Masa del Biocomposito	28
Tabla 3. Concentración Disoluciones Patrón de Glucosa y Reactivo DNS.....	29
Tabla 4. Metodología.....	31
Tabla 5. Porcentaje de Humedad de la Cáscara de Cacao	39
Tabla 6. Absorbancia Patrón de Glucosa.....	41
Tabla 7. Porcentaje de Azúcares Reductores de la Cáscara de Cacao	42
Tabla 8. Contenido de Cenizas de la Cáscara de Cacao	44
Tabla 9. Porcentaje de absorción del biocomposito	53
Tabla 10. Matriz Evaluación de Materiales, Certificación BREEAM	56
Tabla 11. Matriz de Evaluación de Materiales, Certificación LEED.....	57
Tabla 12. Matriz de evaluación del material elaborado. Certificación BREEAM.....	58
Tabla 13. Matriz de evaluación del material elaborado. Certificación LEED	58
Tabla 14. Porcentaje de Materiales Responsables en una Construcción	59
Tabla 15. Evaluación del Material. Certificación BREEAM.....	61
Tabla 16. Evaluación del Material. Certificación LEED.....	63

Lista de Figuras

Figura 1. Condiciones de la sostenibilidad	16
Figura 2. Mapa San Vicente de Chucurí.....	19
Figura 3. Producción Agrícola de San Vicente de Chucurí.....	20
Figura 4. Metodología Objetivo 1	25
Figura 5. Metodología Objetivo 2.....	26
Figura 6. Metodología Objetivo 3.....	27
Figura 7. Cacao “Criollo”	33
Figura 8. Cacao CCN-51	33
Figura 9. Composición fruto Theobroma cacao L	33
Figura 10. Cajas fermentadoras	34
Figura 11. Elbas	34
Figura 12. Cáscara en descomposición	35
Figura 13. Vivienda Cacaotera.....	36
Figura 14. Estructura química del SDS	38
Figura 15. Estructura química del polipropileno	38
Figura 16. Gráfica comparativa porcentaje de humedad.....	40
Figura 17. Curva de Calibración de Glucosa.....	42
Figura 18. Gráfica comparativa concentración de azúcares reductores	43
Figura 19. Gráfica comparativa contenido de cenizas totales	45
Figura 20. Biocompositos sin cáscara tratada. a) 70/30. b) 80/20. c) 90/10.....	45
Figura 21. Biocompositos con cáscara tratada. a) 70/30. b) 90/10	46
Figura 22. Micrografía del polipropileno	47
Figura 23. Micrografía cáscara de Cacao x150. a) sin tratamiento. b) con tratamiento. 48	
Figura 24. Micrografía cáscara de Cacao x1000. a) sin tratamiento. b) con tratamiento 48	
Figura 25. Micrografía biocomposito composición 90/10. a) sin tratamiento. b) con tratamiento.....	49
Figura 26. Micrografía biocomposito composición 80/20 x80. a) sin tratamiento. b) con tratamiento.....	50
Figura 27. Micrografía biocomposito composición 80/20 x800. a) sin tratamiento. b) con tratamiento.....	50
Figura 28. Micrografía biocomposito composición 70/30. a) sin tratamiento. b) con tratamiento.....	51
Figura 29. Porcentaje de absorción de agua según composición.....	54

APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE UN BIOCOMPOSITO CON APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

I. Resumen

El presente proyecto tuvo como fin la evaluación de un biocomposito elaborado a partir de cáscara de Cacao residual y polipropileno, provenientes del municipio de San Vicente de Chucurí, Santander. Primero se realizó una caracterización física y química de la cáscara, donde se obtuvo un 85% en contenido de humedad, 30% en masa de azúcares reductores y 7% de cenizas totales. La elaboración del biocomposito se realizó en tres composiciones distintas 70/30, 80/20 y 90/10 de polipropileno y cáscara respectivamente. Previo a la elaboración de éste se realizó un tratamiento a la cáscara con Dodecil Sulfato Sódico (SDS) como tenso activo para mejorar la adhesión de ésta al polipropileno. Una vez elaborado el biocomposito se analizó la adhesión interfacial entre las matrices y su absorción de agua. La microscopía electrónica de barrido realizado demostró que los biocompositos compuestos con cáscara tratada tuvieron un mejor comportamiento e interfaz de adhesión en comparación con aquellos que tenían cáscara sin tratamiento. La absorción de agua de los biocompositos se redujo con la presencia del SDS, gracias a las características hidrofóbicas de éste tenso activo. Por último se evaluó la sostenibilidad del material a través de las matrices de evaluación de las certificaciones BREEAM y LEED, donde el material tuvo un puntaje de 6/6 y 5/6 respectivamente, catalogando el material como sostenible.

Palabras Clave: Cáscara de Cacao, Biocomposito, Construcción Sostenible

II. Abstract

The purpose of this project was to evaluate a composite made of Cocoa Pod Husk (CPH) and polypropylene, both from San Vicente de Chucurí in Santander. First a physical and chemical characterization was carried out, where 85% of moisture content, 30% of reducing sugars and 7% of total ash were obtained. The composites were made in three different compositions, 70/30, 80/20 and 90/10 of polypropylene and CPH. Prior to the elaboration of these, it was carried out a treatment to the Cocoa pod husk with Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) as a coupling agent to improve its adhesion to the polypropylene matrix. Once the biocomposito was elaborated, the interfacial adhesion and water absorption was analyzed. The scanning electron microscopy (SEM) showed that the composites with treated CPH had better adhesion to the polypropylene in comparison with the ones with untreated CPH. The water absorption was reduced in the composites with the presence of SDS, mainly because of the hydrophobic properties of this coupling agent. Last but not least, sustainability was evaluated with the matrix of BREEAM and LEED certifications, where the material obtained a score of 6/6 and 5/6 respectively, cataloging the material as sustainable.

Key Words: Cocoa Pod Husk, Composite, Sustainable Buildings

III. Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un árbol perenne de alta calidad aromática (Jaimes Suárez & Aranzazu Hernández, 2010), su cáscara está compuesta por celulosa (26%), lignina (24%), hemicelulosa (9%) y pectina (2%), entre otros (Seong, Husseinsyah, & Osman, 2014); proveniente de la zona tropical americana, principalmente de México y el norte de Sudamérica, sin embargo, a mediados del Siglo XVIII fue exportado al continente africano (Jaimes & Aranzazu, 2010). Actualmente la producción de Cacao mundialmente se da un 70% en África, 18% en América y 9% en Asia. Como se puede observar en el Anexo 1 se da en países netos de la franja tropical (Rojas & Sacristán, 2013). Para el 2017, Costa de Marfil tuvo una participación de 42.7% de la producción mundial, seguido por Ghana, Indonesia, y Camerún. (Granados & Muñoz, 2018)

Dentro de los países productores en América, se encuentra Colombia, donde a lo largo de los años ha presentado un aumento en la producción de Cacao y por consecuencia el aumento de áreas productivas, ocupando el décimo puesto de la producción mundial. Para el año 2017 hubo un aumento del 6% respecto al 2016 y se estimó un aumento de 2% de áreas sembradas para el 2018 (Granados & Muñoz, 2018) y un total de producción de 56.000 toneladas para el presente año (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2018). Dicho lo anterior, el departamento con mayor producción en Colombia es Santander con una participación del 40% a nivel nacional, siendo el municipio de San Vicente de Chucurí el mayor productor, seguido por Arauca (11%), Antioquia (9%), Huila (7%), Tolima (6%) y Cundinamarca (4%). Dentro de los beneficios que ofrece la producción de Cacao, se encuentra la oportunidad laboral en zonas rurales, puesto que por cada tres hectáreas de cultivo se genera un empleo directo y 1.5 indirectos, además esta misma cantidad de hectáreas productivas pueden llegar a dar un ingreso de dos salarios mínimos mensuales a los productores. (Granados & Muñoz, 2018)

Ahora bien, el aumento de la producción cacaotera no sólo trae consigo beneficios sociales y económicos, a su vez, este aumento está generando la acumulación de biomasa residual compuesta por cáscara y hojas de poda (Villamizar, Rodríguez, & León, 2017), causando impactos en el ámbito ecológico como lo es la emisión de gases de efecto invernadero (Sánchez M. Á., 2016) y generación de lixiviados ocasionando los cambios en la composición del suelo (Ramirez, Valencia, & Lara, 2017). Junto a ello la transmisión de enfermedades a causa de la presencia de vectores (Acevedo & Cely, 2016).

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente proyecto pretende aprovechar la cáscara residual de las plantaciones de Cacao para la elaboración de un biocomposito que junto con una matriz polimérica residual, sea un material apto para su aplicación en la construcción sostenible según los criterios de sostenibilidad de las certificaciones BREEAM y LEED en materiales de construcción. Para así generar un valor agregado sobre la cáscara residual y además estimar su uso como materia prima en la construcción de sistemas modulares en vivienda de interés social.

IV. Planteamiento del Problema

Como se mencionó anteriormente el departamento de Santander es el mayor productor de Cacao en Colombia, donde el Municipio de Chucurí es uno de los municipios con mayor producción de Cacao de alta calidad, con una participación del 26% en el departamento. (Mojica & Paredes, 2006), que para el 2018 tuvo una producción anual de 6.540 toneladas de grano seco (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2018). Sin embargo, del Cacao se aprovecha económicamente el 10% del fruto el cual se centra en la semilla (Villamizar, Rodríguez, & León, 2017), generando residuos vegetales compuestos por la cáscara y las hojas de poda, siendo el 65% y 5% respectivamente (Montenegro, Rojas, Cabeza, & Hernández, 2016).

En San Vicente de Chucurí se produce entre el 74-86% de residuos durante el beneficio del Cacao (Villamizar & López, 2017). Lo anterior sumado a la baja cobertura de aseo en la zona rural y falta de planes de manejo de residuos orgánicos hace que éstos se destinen en un área cercana al cultivo (Jimenez & Mantilla, 2016). Además, la ausencia de tecnología agroindustrial en el proceso productivo del Cacao (Acevedo & Cely, 2016), y el alto contenido de lignina de la cáscara de Cacao hace que disminuyan las tasas de descomposición de la materia (Navarro & Navarro, 2014) y que se acumule la biomasa residual en las plantaciones. Ésta acumulación trae consigo impactos negativos en el ambiente desde distintos ámbitos.

En primera instancia, las condiciones climáticas del municipio permiten la degradación de la materia orgánica a pesar de que ésta sea baja, generando la emisión de gases de efecto invernadero, como lo son el metano, el dióxido de carbono y el óxido nitroso, además la emisión de amoníaco, sulfhídrico y compuestos orgánicos volátiles, principales causantes de los malos olores y bioaerosoles, los cuales contienen material particulado (Sánchez M. Á., 2016). También se generan lixiviados, causantes del arrastre de bases como calcio, magnesio, aluminio, potasio y sodio, la disminución del pH del suelo, y la disminución de la estabilidad de los suelos y erodabilidad como consecuencia del aumento en la porosidad del suelo (Ramirez, Valencia, & Lara, 2017)

La proliferación de vectores son causantes por un lado de la enfermedad de la mazorca negra en los cultivos ocasionada por el hongo *Phytophthora* spp (Villamizar, Rodríguez, & León, 2017) y la transmisión de enfermedades a las comunidades generando problemas de salud pública en las zonas rurales productoras de Cacao (Acevedo & Cely, 2016). La acumulación y enfermedades de los cultivos repercuten en la economía de la región puesto que se generan pérdidas por la falta de aprovechamiento de los residuos y la pérdida de cosecha por enfermedades como la mazorca negra (Villamizar, Rodríguez, & León, 2017). Sumado a lo anterior, la acumulación causa una baja eficiencia en el ciclo de vida de la producción de Cacao en San Vicente de Chucurí.

V. Pregunta de Investigación

¿Cómo aprovechar la biomasa residual de la agroindustria cacaotera como materia prima en la elaboración de un biocomposito para su uso en el sector de construcción?

VI. Objetivos

Objetivo General

Evaluar un biocomposito elaborado con biomasa residual cacaotera proveniente del municipio de San Vicente de Chucurí como material constructivo sostenible.

Objetivos Específicos

1. Elaborar un biocomposito con cáscara residual del cacao y una matriz polimérica sintética.
2. Caracterizar las propiedades físicas y químicas de la cáscara de cacao y físico-mecánicas del biocomposito elaborado.
3. Relacionar las propiedades obtenidas del biocomposito con los criterios de sostenibilidad en materiales de construcción.

VII. Justificación

El sector de la construcción tiene un impacto directo e indirecto sobre el ambiente, como lo es la emisión de gases contaminantes y la contaminación del recurso hídrico. Estudios demuestran que este sector consume entre el 12-16% de agua, 35% de maderables, 30-40% de energía y 40% de la extracción de materiales vírgenes, haciendo que sus prácticas sean poco sostenibles (Enshassi, Kochendoerfer, & Rizq, 2014). Actividades como la anteriormente descrita hace que organizaciones internacionales inicien a tomar medidas sobre la ejecución de éstas. Así fue como surgieron los objetivos de desarrollo sostenible, los cuales son un llamado a la adopción de medidas para mitigar o poner fin a factores como la pobreza, proteger el planeta y garantizar una vida digna a las personas a través de la paz y prosperidad. (Naciones Unidas, 2015).

Dentro de los objetivos del desarrollo sostenible se encuentra el objetivo nueve, industria, innovación e infraestructura, en esta según las Naciones Unidas (2017) se pretende: “Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación”, mediante metas como facilitar el desarrollo de infraestructuras sostenibles en países en vía de desarrollo con apoyo financiero, tecnológico y técnico con el fin de generar un desarrollo económico y bienestar humano. Paralelamente, se encuentra el objetivo once, ciudades y comunidades sostenibles, el cual busca que las ciudades y asentamientos “sean inclusivos, resilientes y sostenibles” a través de programas y proyectos que no ejerzan una presión significativa sobre los recursos y los ecosistemas (CEPAL, 2018). Basándose en lo anterior, el proyecto pretende encaminar el aprovechamiento de la cáscara residual hacia la construcción sostenible, para así generar beneficios sociales y económicos

a nivel local. Otro componente a resaltar es la participación del proyecto sobre el semillero ARPEMS (Aprovechamiento de Residuos Poliméricos en la Elaboración de Materiales Sostenibles) de la Universidad El Bosque, en dónde se busca hacer un aporte en la reducción de residuos de diferentes industrias mediante el aprovechamiento de éstos para la elaboración de materiales alternativos con diferentes aplicaciones.

Entre tanto, bajo el aprovechamiento de la cáscara de Cacao no sólo se agrega valor a los residuos, sino además, se hace una correcta gestión en el manejo de los residuos orgánicos, tanto naturales como sintéticos. Todo con el fin de atribuir una solución a dos industrias que aportan a la economía colombiana, siendo estas la construcción y la agroindustria. Entre los beneficios del proyecto, se encuentra el aporte a la reducción de explotación de materiales vírgenes como materia prima en la construcción, la minimización de impactos negativos en los ecosistemas por ambas industrias, y un beneficio que permita su implementación en viviendas de interés social dentro de la región.

VIII. Marcos de Referencia

Estado del Arte

Los estudios correspondientes al aprovechamiento de la cáscara de Cacao residual son amplios, sin embargo, pocos han explorado el campo de la elaboración de biocompositos para su aplicación en la construcción. A nivel internacional, se encontraron estudios acerca del aprovechamiento de cáscara de cacao en distintos sectores industriales, entre estos la construcción, sector energético y hortícola y metodologías aplicadas para la elaboración de biocompositos,

En primera instancia, para el sector hortícola, se encuentra la investigación titulada “*Efecto de la cáscara de cacao en la obtención de espumas de poliuretano para uso hortícola. Propiedades físicas y de biodegradabilidad*”. En la investigación se determinó que el uso de cáscara de cacao en espumas de poliuretano incrementa el volumen de éste en comparación con la espuma control; además refuerza las propiedades físico-mecánicas, obteniendo una espuma con mayor resistencia a la compresión, mayor densidad y mayor absorción de agua. (Padrón, y otros, 2004). Además del aprovechamiento de la cáscara de cacao, la investigación aporta metodologías para la caracterización del biocomposito como lo es la absorción de agua mediante la prueba estándar ASTM D570-81 y resistencia a la compresión según la metodología 1621-94. Éstas técnicas para la determinación de la absorción de agua y la resistencia a la compresión serán consideradas en el desarrollo del proyecto.

En el sector de la construcción se encontraron dos investigaciones acerca del aprovechamiento de la cáscara, el primero “*Development of Biocomposites from Cocoa Pod Husk and Polypropylene: Effect of filler Content and 3-Aminopropyltriethoxysilane*” trabaja en la elaboración de un biocomposito a base de cáscara de cacao y polipropileno, con el fin de sustituir algunos productos de la industria maderera como los son los pisos, muebles y accesorios. En el estudio se requirió de Sileno como agente de acoplamiento, debido a que se trabajó con una fibra natural hidrofílica y otra sintética hidrofóbica, permitiendo en encadenamiento de los grupos hidroxilos que fueron después reforzados con una sustancia alcalina, además se utilizó la microscopía electrónica de barrido para la verificación de la

adhesión interfacial. Las pruebas físicas arrojaron un aumento en la termo-estabilidad, cristalinidad, tensión y estabilidad, presentando el biocomposito como una alternativa viable a los productos de la industria maderera (Seong, Husseinsyah, & Osman, Development of Biocomposites from Cocoa Pod Husk and Polypropylene: Effect of Filler Content and 3-Aminopropyltriethoxylane, 2014). Este estudio es el más cercano a lo que se pretende hacer en el proyecto, por ello, da a considerar el polipropileno como matriz polimérica sintética en la elaboración del biocomposito, así como una base metodológica debido a las técnicas para la preparación de las muestras por separado y técnicas para el análisis físico-mecánico del biocomposito.

De segunda mano, se presenta el estudio *“Análisis y desarrollo para la fabricación de bloques de hormigón como aislantes térmicos basados en la biomasa de la cascarilla de cacao apto para construcción de edificaciones”*, en éste se aprovechó la biomasa seca a diferentes concentraciones con el fin de reducir el consumo energético durante la construcción de edificaciones. Según los resultados obtenidos, el bloque de cacao cuenta con buenas propiedades de aislamiento térmico, alta resistencia y baja conducción eléctrica. Adicionalmente, se hizo un estudio económico de la viabilidad para la fabricación de bloques de hormigón a base de cacao, se determinó su viabilidad por el bajo uso de cemento y arena reduciendo los costos de producción (Carrera, 2015). Por su parte el estudio brinda mayor información acerca de la resistencia de la cáscara de Cacao, sugiriendo su aplicabilidad en materiales de construcción.

Por último, en el sector energético se encuentra *“Valorización de Biomasa Residual Agrícola para Aprovechamiento Energético. Caso de Estudio: El Oro-Ecuador”*. En éste, se determinó que gracias a la producción cacaotera del Ecuador, siendo el segundo país después de Brasil con mayor producción en Latinoamérica, y su localización aledaña a cultivos de plátano, se puede usar la biomasa residual de ambas plantaciones para su uso como energía renovable en la región El Oro, estimando una potencia máxima de 355 MW (Guerrero, 2014). El segundo estudio, *“Utilization of Cocoa Pod Husk (Theobroma cacao.L) as Activated Carbon and Catalyst in Biodiesel Production Process from Waste Cooking Oil”*. Gracias al alto contenido en lignina, celulosa y hemicelulosa, la cáscara de cacao es descompuesta hasta ser carbón por medio de procesos de calcinación, en adición también se encuentran contenidos de potasio que puede ser extraído en la forma K_2CO_3 que actúa como catalizador. Su uso, es capaz de disminuir un 86.7% de ácidos grasos libres y hasta un 75% los costos de producción de biodiesel a partir de aceite de cocina usado. (Rachmat, Johar, & Dewi, 2017). Estos estudios indican uno de los aprovechamientos más comunes de la biomasa residual, la cual es la generación de energía, en conjunto aportan conocimiento frente a la composición de la cáscara de Cacao.

En el ámbito nacional se encontraron los siguientes estudios en sectores como la construcción, energético, alimentario y tratamiento de aguas. Para el sector de la construcción se encontró el estudio titulado *“Desarrollo de aglomerado a base de residuo orgánico de cascarilla de cacao y bolsas plásticas recicladas”*, mediante el aprovechamiento de no sólo la cáscara de cacao sino de bolsas plásticas, se buscaba disminuir la contaminación por la acumulación de residuos orgánicos y la reutilización de bolsas plásticas no biodegradables, mediante el desarrollo de aglomerado a partir de los residuos mencionados anteriormente para su uso en el área de construcción. Mediante la elaboración de dos biocompositos con distintos porcentajes de cáscara de cacao y bolsa plástica, además de un proceso de pruebas

físico-mecánicas como la compresión, dilatación y flexión. A través las diferencias porcentuales del material, se concluyó que ambas muestras cuentan con las características necesarias para ser aplicadas en el área de construcción. (Chacón, 2013). Esta investigación permite conocer el estado en Colombia frente al aprovechamiento de la cáscara de Cacao en cuanto a materiales de construcción. Cabe resaltar que la investigadora aprovechó dos residuos que se generan en la fábrica dedicada al procesamiento, producción y comercialización de Cacao y las bolsas plásticas de una empresa de recuperación y producción de bolsas, dando a considerar la revisión del PGIRS de San Vicente de Chucurí en cuanto a la mayor generación de polímeros sintéticos para la elaboración del biocomposito.

En cuanto a la industria alimentaria se encuentra el estudio *“Aprovechamiento de la cáscara de cacao y su contenido de pectina en la preparación de mermeladas de tipo comercial”*, en el cual se propuso tratar la cáscara de cacao para obtener una solución caracterizada con un alto contenido de pectina sin realizar una extracción directa, lo cual evita el alto consumo de energía, seguido de la introducción de ésta solución en la preparación de mermeladas de frutas y conocer la palatabilidad de éstas a través de análisis organolépticos y microbiológicos. Se concluyó que la solución de pectinas reduce sustancialmente el proceso de gelificación natural de las mermeladas, disminuyendo costo y permitiendo la calidad del producto, además debido a su uso en altas temperaturas, el recuento de microorganismos despreciables fue bajo (Bernal, Mantilla, Rodríguez, & Peralta, 2014).

Más adelante en el año 2017 se realizó el estudio *“Caracterización fisicoquímica, microbiológica y funcional de harina de cáscara de cacao (Theobroma cacao L.) variedad CCN-51”*. Primero se estandarizó el proceso de elaboración de la harina, seguido por la caracterización de las propiedades anteriormente mencionadas. Durante el proceso de secado se realizaron dos métodos, secado natural y el secado por charolas, como resultado se obtuvo una mejor calidad y cumplimiento de normal con la harina secada en charolas, por otro lado mediante encuestas se estableció el agrado del sabor y textura por parte de los consumidores y un reemplazo saludable de la harina refinada tradicional (Villamizar, Rodríguez, & León, 2017). El aprovechamiento de la cáscara de cacao en la industria alimentaria proporciona no es solo un beneficio económico para quien lo produce, sino además la reducción de los impactos ambientales por la acumulación de los residuos y el acercamiento a un estilo de vida saludable puesto que reemplaza los alimentos que tienen un mayor proceso de producción, aportando un mayor contenido de nutrientes de calidad. En cuanto a su aporte a la investigación, en ambos artículos se habla de la composición fisicoquímica de la cáscara de cacao, la cual brinda solidez a la construcción de un biocomposito, ya que contiene lignina y celulosa, dándole cualidades resistentes a la cáscara.

Ahora bien, teniendo en cuenta la industria energética, la biomasa residual es una gran fuente de gases generadores de energía como lo es el metano, tal como lo indican en un estudio Montenegro, Rojas, Cabeza y Hernández en su investigación *“Potencial de biogás de los residuos agroindustriales generados en el departamento de Cundinamarca”*. En él se establece qué cultivos permanentes tienen un promedio de 94.6% de sólidos volátiles, lo que favorece la producción de metano, por lo que el Cacao junto con otros residuos agrícolas como la caña, café, frijol, papa, rosas y arveja y pecuarios como porcino, vacuno y avícola pueden llegar a generar una potencia entre 9.421,2 – 130.780 T/año en el Departamento de

Cundinamarca (Montenegro, Rojas, Cabeza, & Hernández, 2016). Si bien, en este estudio se establece específicamente que la producción de metano del Cacao no es tan alta en comparación con otros residuos, la gran producción hace que la acumulación de residuos cacaoteros iguale a los demás. La gran producción de Cacao de la que se habla en este estudio, es un determinante para darle aprovechamiento a los residuos de plantaciones cacaoteras, puesto que la acumulación de éstos puede resultar en la degradación del componente suelo.

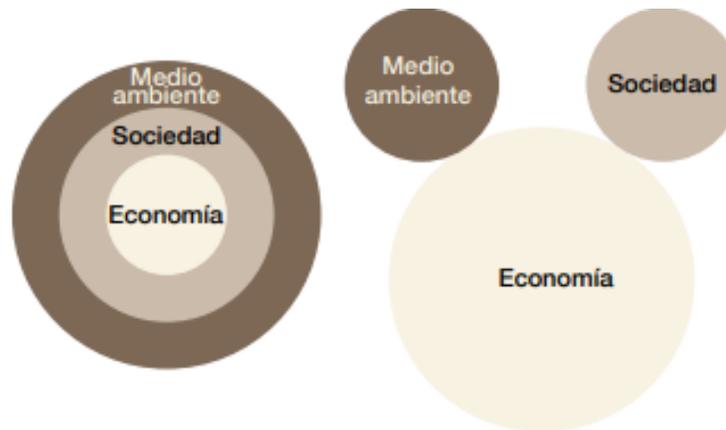
Por último, para el tratamiento de agua el estudio “*Aprovechamiento de la cascara de mazorca de cacao en la elaboración de carbon activo para el tratamiento de aguas residuales*”. Jiménez y Mantilla elaboraron un adsorbente a partir de la cáscara residual del cacao y estimaron su comportamiento en soluciones de azul de metileno, cromo, hierro y níquel, para conocer su eficacia en el tratamiento de aguas residuales. Éste adsorbente busca ser una alternativa más económica e igual de eficaz al carbón activado usado en las plantas de tratamiento; además centrado en el Departamento de Santander, el mayor productor de cacao en Colombia, busca aprovechar éstos residuos en sus plantas de tratamiento residual (Jimenez & Mantilla, 2016). El estudio presenta información de lo que se ha hecho acerca del aprovechamiento de la cáscara de Cacao en el departamento de Santander, sin embargo, no se ha encontrado mayor información acerca del aprovechamiento de éste residuo en el departamento encaminado a la construcción sostenible.

Marco Teórico-Conceptual

En 1987 con el informe “Nuestro Futuro Común” producto de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, se define el *desarrollo sostenible* como un desarrollo que satisfaga las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades de las futuras generaciones, es decir perdurable en el tiempo. Para lograrlo, los gobiernos debían prestar mayor importancia a los recursos naturales y la calidad de los mismos, a través de la difusión de información e incentivos para la protección del ambiente. De la misma manera, se debía emplear acciones para disminuir la pobreza considerada como uno de los principales causantes del deterioro ambiental. Entre sus principales metas se encontraba cambiar cualitativamente el crecimiento, satisfacer las necesidades humanas elementales, establecer un nivel sostenible en la población y conservar y reforzar la base propia de los recursos naturales. (UNESCO, 2012)

Dentro del desarrollo sostenible se enmarca la *sostenibilidad*, un paradigma constituido por el equilibrio de las condiciones ecológicas, sociales y económicas con el objetivo de llegar a un desarrollo óptimo y una mejor calidad de vida, no sólo para las generaciones presentes sino futuras. En otras palabras significa la perdurabilidad y mejora de las tres condiciones mencionadas anteriormente (UNESCO, 2012). Es entonces la principal meta del desarrollo sostenible.

Figura 1. Condiciones de la sostenibilidad



VISUALIZANDO LA SOSTENIBILIDAD

(UNESCO, 2012)

La misma está dividida en tres conceptos: *Sostenibilidad débil*, de perspectiva antropocéntrica, habla de una visión reformista donde se integre el progreso con la gestión ambiental, esta última mediante la limitación ecológica y la economización de la naturaleza, además su enfoque es técnico. *Sostenibilidad fuerte*, en ésta se hace más crítica al progresionismo, sin embargo, se sigue economizando el capital natural pero se inicia a ejecutar su preservación desde un enfoque técnico y político. Por último se encuentra la *Sostenibilidad súper-fuerte*, de perspectiva biocéntrica, la cual ensambla una nueva búsqueda a estilos del desarrollo, se introduce el concepto de patrimonio natural y se inicia a adquirir una ética frente a los valores propios de la naturaleza, todo mediante un enfoque político. (Gudynas, 2009)

Otro paradigma, ligado a la sostenibilidad y en muchos casos considerados como sinónimos es la *sustentabilidad*. Según Enrique Leff, la sustentabilidad viene de la polisemia de “sustainability”, de dos significados, el primero implica el reconocimiento de las condiciones ecológicas como soporte económico y el segundo determina la durabilidad de los procesos económicos (Leff, 2010). Por lo que la sustentabilidad es el equilibrio de un sistema en características de la naturaleza, hacia las presiones e intervenciones de factores sociales, económicos y técnicos. Ésta se basa en una lógica que permite la armonización entre sistemas antrópicos y naturales, la cual está dividida en los siguientes componentes: economía solidaria, equidad social, diversidad cultural y protección ecológica. (Martínez & Martínez, 2016)

La sustentabilidad se puede hablar desde distintas dimensiones y no sólo las que se establecen en la sostenibilidad (ecológica, social y económica). La primera, dimensión ecológica, la cual constituye la regeneración y complejidad de la los ecosistemas, promueve la protección de los bienes y servicios que provee la naturaleza, además de respetar la capacidad de carga de ésta. Como segunda dimensión, se encuentra la social, en esta dimensión, como su nombre lo indica, se habla del carácter humano en los ecosistemas, promoviendo el desarrollo equitativo que reduzca la pobreza, sin perturbar el equilibrio ecosistémico. Por otro lado, la dimensión económica, propone un desarrollo eficiente y

equitativo, propone actividades económicas a nivel local y diversificado, así como una correcta relación con los sistemas naturales, de los cuales depende el desarrollo de la economía. Es aquí cuando la sustentabilidad diverge de la sostenibilidad, ya que entra una dimensión cultural, donde se pretende promover los patrones culturales y la diversidad cultural de las regiones, para así mantener el patrimonio cultural heredado de las culturas ancestrales. Entre otras dimensiones se encuentra la educativa, geográfica y política (Martínez & Martínez, 2016). La sustentabilidad permite tener un contexto más global de la complejidad del ambiente, enfatizando cada dimensión hacia la dimensión ecológica la cual debe prevalecer para el correcto desarrollo de las demás dimensiones.

Como consecuencia de la sostenibilidad y la sustentabilidad, surge su aplicación en distintos sectores económicos, entre estos la construcción, donde nace la *construcción sostenible*. Ésta se definió en la Agenda 21, capítulo 7 “Fomento del Desarrollo Sostenible de los Recursos Humanos”, sección G “Promoción de actividades sostenibles en la industria de la construcción” de las Naciones Unidas. Nace tras la observación de los impactos que puede generar la industria, por lo que se establecieron objetivos de carácter político y tecnológico para la mejora de las actividades disminuyendo impactos a la salud humana y a la biósfera. (Naciones Unidas, 1992). Según el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (2012) se define la construcción sostenible como la mejora de las prácticas de las edificaciones durante su ciclo de vida, es decir, diseño, construcción y operación, con el fin de minimizar los impactos del sector en cuanto a la emisión de gases, consumo de recursos naturales y pérdida de diversidad (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2012). Dentro de las metas de la construcción sostenible se encuentra el fortalecimiento de la industria autóctona, es decir, fomentar el uso de materiales y recursos disponibles a nivel local, uso eficiente de la energía y uso razonable de los recursos naturales (Ramírez, 2002). Lo anterior, a través de la financiación y la aplicación de medios científicos y tecnológicos. (Naciones Unidas, 1992)

Para lograr la construcción sostenible, se hace uso de la evaluación de los *criterios de sostenibilidad*, los cuales permiten evaluar el progreso de un sistema, país o región para alcanzar la sostenibilidad (Quiroga, 2001). Éstos son evaluados a través de indicadores cualitativos y cuantitativos, con el fin de tener datos más certeros de los cambios y mejoras que permitan alcanzar el desarrollo sostenible, en los tres ámbitos mencionados anteriormente, ecológico, económico y social. (Álvaro, Limón, Martínez, & Tijerina, 2014). Estos criterios se pueden aplicar para distintos sectores, entre estos, la construcción.

Para la evaluación de la construcción sostenible existen distintos certificados, entre los más importantes se encuentran BREEAM (Bre Environmental Assessment Method) del Reino Unido, HQE (Haute Qualité Environnementale) de Francia y LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) de Estados Unidos. Este último creado por la US Green Building Council en 1998, compuesto por un conjunto de normas encaminadas a la sostenibilidad de las edificaciones, donde se incorporan aspectos como la eficiencia energética, uso de energías alternativas, consumo de agua y la selección de materiales. Funciona a través de puntos divididos en siete criterios, en donde se encuentran Materiales y Recursos, con un puntaje de trece. En este criterio, se definen los parámetros para la selección de los materiales donde prevalece el uso de materiales regionales, reciclados y renovables. (Susunga, 2014)

Visto anteriormente, uno de los criterios son los materiales, más específicamente los *materiales sostenibles*. Éstos a diferencia de los convencionales tienen un mayor compromiso ambiental, es decir durante su extracción y producción hubo un bajo impacto ambiental. Se fomenta el uso de materiales locales, donde no sólo su proceso productivo sino su extracción se haya hecho en un radio igual o menor a 500 millas, esta distancia puede variar según la complejidad topográfica y estado de vías de un país, lo anterior pretende minimizar la emisión de CO₂ durante el transporte de los materiales. En lo posible, los materiales deben ser renovables, producidos con materias primas cultivables controladas como madera y fibras vegetales, se debe tener en cuenta la continua renovación, donde no se agote la tierra ni los recursos hídricos. También se fomenta el reciclaje y reutilización de materiales, reincorporando residuos no necesariamente de la industria de la construcción a los procesos productivos como materia prima para la elaboración de materiales sostenibles. Otra de las características de los materiales, es la durabilidad, de vida útil prolongada, y han de ser de fácil mantenimiento, principalmente que no exijan uso de sustancias químicas para su limpieza o mantenimiento. (Rocha, 2011)

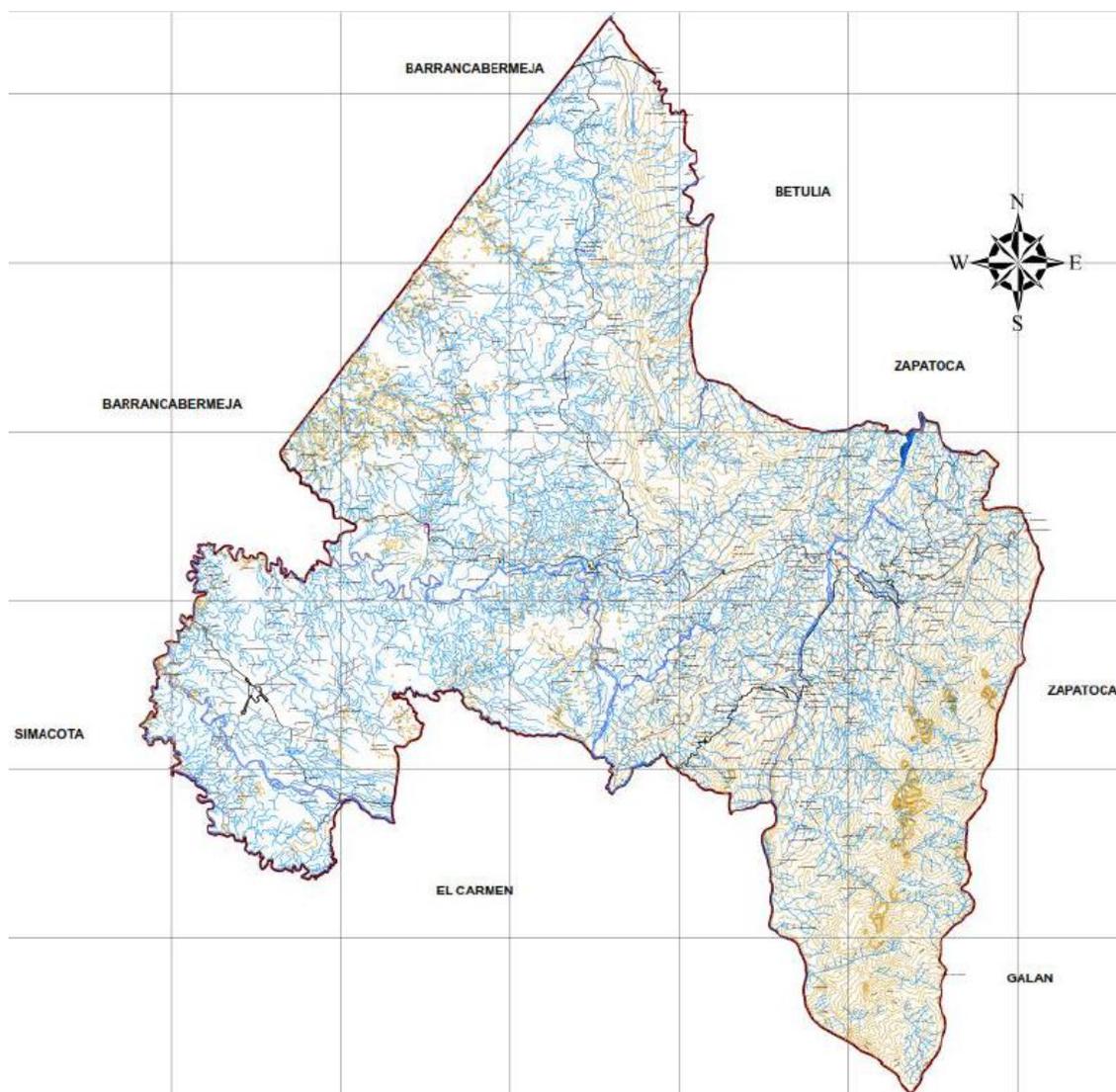
Paralelamente, entre los aspectos a considerar de los materiales se encuentran las características térmicas, estos dependiendo de las condiciones climáticas deben retener o repeler el calor, permitiendo el aprovechamiento de la radiación solar según de la posición de la edificación. La energía embebida de los materiales, es decir la emisión de CO₂ durante todo el proceso extractivo, productivo y de transporte; el efecto de la isla de calor, el cual indica la capacidad del material para retener radiación solar y el impacto ambiental generado en los ecosistemas, analizando el ciclo de vida de los materiales. (Rocha, 2011)

Como se pudo ver los materiales pueden estar compuestos por *fibras vegetales*, éstas son elementos estructurales que se encuentran en las plantas, formadas por fibrillas de celulosa encajadas en una matriz de lignina, además pueden contener polímeros como pectina y hemicelulosa, brindando una mayor rigidez y resistencia a la planta. Las fibras se dividen en hilaza, de hojas, de láminas y de madera y raíces (Deaquiz & Moreno, 2016). Éstas fibras, gracias a su propiedad de resistencia son usadas como materia prima en la composición de productos procesados (Rocha, 2011), entre estos se encuentran los *biocompositos*. Estos últimos son materiales compuestos por una matriz polimérica sintética reforzados con una fibra vegetal. La combinación de ambas fibras, mejora las propiedades físico-mecánicas del compuesto, como lo son la rigidez, resistencia, peso, aislamiento térmico, resistencia a la corrosión, conductividad y dureza (Parra & Sánchez, 2012). Estas propiedades permiten su aplicación en distintas actividades industriales, como lo es la construcción, donde se requieren materiales resistentes con alta capacidad de carga.

Marco Geográfico

El municipio de San Vicente de Chucurí se encuentra en el centro occidente del departamento de Santander, Colombia, limitando con los municipios de Barrancabermeja, Betulia, Zapatoca, Galán, El Carmen de Chucurí y Simacota (ver Figura 2). Cuenta con una extensión total de 1195.4 km², de los cuales 1183.4 km² corresponden al área rural y 185.41 km² es área urbana. Para el 2016 se registraron 34759 habitantes, donde el 60.64% se concentra en la zona rural del municipio. (Consejo Municipal, 2016)

Figura 2. Mapa San Vicente de Chucurí.



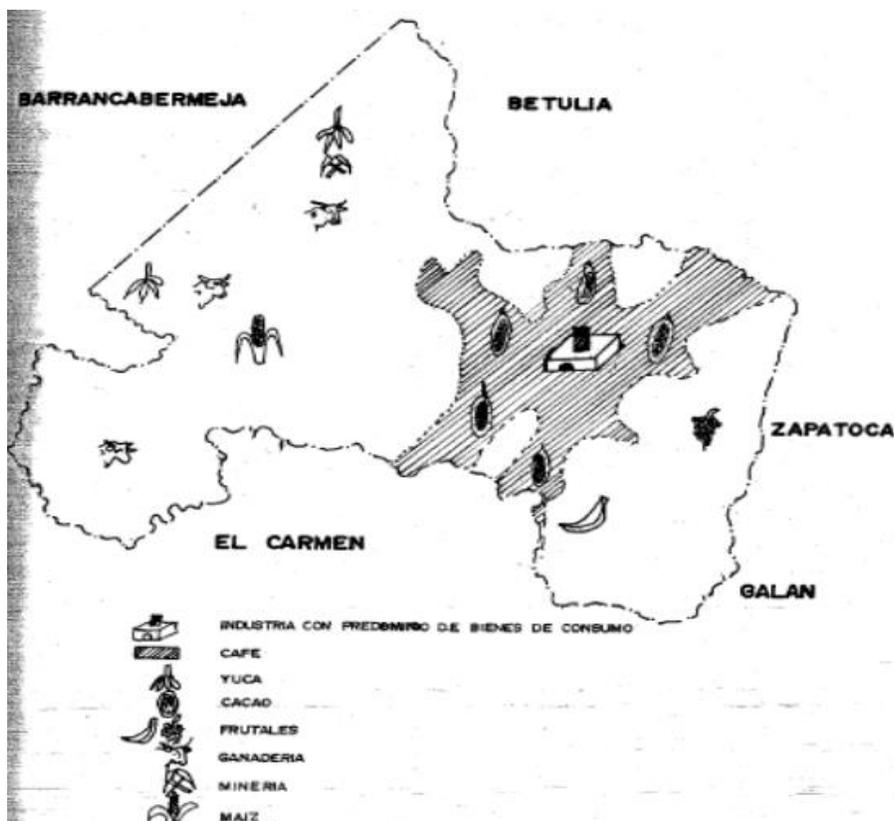
Tomado de: (Consejo Municipal, 2016)

Comprende alturas entre los 800 y 2800 msnm, su temperatura media es de 27.8°C y anualmente cuenta con precipitaciones entre 1900 a 3100 mm. Pertenece a la cuenca media del Río Magdalena y se enmarca entre las cuencas tributarias del río Opón y río Sogamoso. Predomina el Bosque Húmedo Tropical al occidente del municipio. (Consejo Municipal, 2016)

Las principales actividades económicas son la agricultura, la ganadería y la extracción minero energética. Gracias a sus propiedades climáticas, tipos de suelo y geografía heterogénea, se facilita el desarrollo agrícola del municipio, tanto así, que es conocido como la Capital Cacaotera de Colombia y ciudad de los frutos valiosos. Dentro de las producciones

agrícolas se encuentra el Cacao, Cítricos, Aguacate, Café, Palma, Plátano, Banano y Caucho, y en menores proporciones habichuela, cebolla, tomate y ahuyama (ver Figura 3). El cultivo de cacao corresponde a la explotación de economía campesina, y se desarrolla sobre mediana y pequeña propiedad, su producción se caracteriza por la interacción con demás especies puesto que en un mismo predio se encuentra siembra de cítricos, aguacate y plátano. Las operaciones de cultivos son principalmente caseras de tipo artesanal, con una implementación tecnológica baja. (Consejo Municipal, 2016)

Figura 3. Producción Agrícola de San Vicente de Chucurí



Tomada de: (Mojica & Paredes, 2006)

El municipio de San Vidente de Chucurí junto con El Carmen de Chucurí son los mayores productores de cacao en Santander (Mojica & Paredes, 2006). Para el 2013, el departamento de Santander produjo 21570 toneladas de cacao de los cuales el 45.8% fueron aportados por el municipio de San Vicente. (Consejo Municipal, 2016)

Marco Normativo

El desarrollo sostenible y los objetivos del milenio han enmarcado el comienzo de una nueva era a nivel político, social e industrial. Conferencias como Brundtland, Rio y el Protocolo de Kyoto, han hecho que las naciones encaminen sus políticas y normativas hacia el cumplimiento de las metas trazadas en las conferencias mencionadas. Tal es el caso de Colombia, donde desde la publicación de la Constituciones de 1991, inició un cambio en la

normativa colombiana, promoviendo en cambio para lograr el desarrollo sostenible de la Nación.

“Artículo 51. Todos los colombianos tienen derecho a vivienda digna. El Estado fijará las condiciones necesarias para hacer efectivo este derecho y promoverá planes de vivienda de interés social, sistemas adecuados de financiación a largo plazo y formas asociativas de ejecución de estos programas de vivienda.” (República de Colombia, 1991)

“Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.” (República de Colombia, 1991)

Por medio de la siguiente tabla se identifica la normativa que rige la construcción, la protección del ambiente y el manejo de residuos sólidos.

Tabla 1 Normatividad colombiana

Norma	Expide	Objetivo
Ley 31 de 1965	Congreso de Colombia	Sobre fomento de las industrias de cacao y cesión de unos bienes.
Ley 29 de 1990	Congreso de Colombia	Por la cual se dictan disposiciones para el fomento de la investigación científica y el desarrollo tecnológico y se otorgan facultades extraordinarias.
Ley 99 de 1993	Congreso de Colombia	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA.
Ley 101 de 1993	Congreso de Colombia	Ley General de Desarrollo Agropecuario y Pesquero.
Ley 388 de 1997	Congreso de Colombia	El establecimiento de los mecanismos que permitan al municipio, en ejercicio de su autonomía, promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural localizado en su ámbito territorial y la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo, así como la ejecución de acciones urbanísticas eficientes.
Ley 400 de 1997	Congreso de Colombia	Por la cual se adoptan normas sobre Construcciones Sismo Resistentes.
Decreto-Ley 2811 de 1974	Presidencia de la República	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente

Decreto 1285 de 2015	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Por el cual se modifica en Decreto 1077 de 2015, Decreto Único Reglamentario de Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, en lo relacionado con los lineamientos de construcción sostenible para las edificaciones.
Decreto 280 de 2015	Presidencia de la República	Por el cual se crea la Comisión Interinstitucional de Alto Nivel para el alistamiento y la efectiva implementación de la Agenda de Desarrollo Post 2015 y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible - ODS.
Decreto 1505 de 2015	Presidencia de la República	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones
Resolución 549 de 2015	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio Consejo	Por el cual se reglamentan los lineamientos de construcción sostenible y se adopta la Guía para el ahorro de agua y energía de edificaciones.
Acuerdo 017 de 2016	Municipal de San Vicente de Chucurí	Por el cual se aprueba y se adopta el plan de desarrollo municipal de San Vicente Somos Todos 2016-2019.
Documento CONPES 3918 de 2018	CONPES	Estrategia para la implementación de los objetivos de Desarrollo sostenible (ODS) en Colombia.
Documento CONPES 3919 de 2018	CONPES	Impulsar la inclusión de criterios de sostenibilidad para todos los usos y dentro de todas las etapas del ciclo de vida de las edificaciones a través de ajustes normativos, el desarrollo de mecanismos de seguimiento y la promoción de incentivos económicos, que contribuyan a mitigar los efectos negativos de la actividad edificadora sobre el ambiente, mejorar las condiciones de habitabilidad y generar oportunidades de empleo e innovación.

Marco Institucional

El proyecto se encuentra enmarcado bajo las siguientes instituciones nacionales e internacionales.



Tomado de: <https://new.usgbc.org>

USGBC: El US Green Building Council, nació en 1993 cuya misión es transformar la manera en la que las edificaciones y comunidades están diseñadas, construidas y operadas, logrando una responsabilidad ambiental y social. Creadores de la Certificación LEED, el cual bajo un programa de diseño, construcción, operación y mantenimiento, permite promover la sustentabilidad

bre

permitiendo la mejora de la calidad de vida de las generaciones. (USGBC, 2014)

Tomado de:
<https://www.bregroup.com/about-us>

de:

Bre: El Building Research Establishment Group, creado en el Reino Unido en 1921, promueve la innovación de las edificaciones orientadas a la sustentabilidad. Para ello en 1990 se crea la primera certificación en el mundo de construcción sostenible, BREEAM. La cual pretende mitigar los impactos ambientales durante el ciclo de vida de las edificaciones. (Rezaallah & Afghani, 2012)



Tomado de:
<https://maestros.com.co/wp-content/uploads/2018/02/cccs.png>

CCCS: El Consejo Colombiano de Construcción Sostenible es una organización privada fundada en el 2008 con el fin de elevar la sostenibilidad en las edificaciones nuevas y existentes. Su objetivo es evolucionar la industria de la construcción llegando a un crecimiento verde, bajo en carbono y altamente sostenible. (CCCS, 2016)



Tomado de: <http://www.aclimatecolombia.org/wp-content/uploads/2015/08/LOGO-MINISTERIO.png>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural: Tiene como misión formular, coordinar y evaluar políticas que promuevan el desarrollo sostenible de los procesos agropecuarios y desarrollo rural, contribuyendo a mejorar la calidad y nivel de vida de la población colombiana. (Ministerio de Agricultura)



Tomado de:
https://pbs.twimg.com/profile_images/1421847252/logo-fedecacao_400x400.jpg

FNC: La Federación Nacional de Cacaoteros tiene como principal propósito satisfacer la comunidad cacaotera del país, mediante el desarrollo de servicios, productos y proyectos que permitan el desarrollo productivo y social. (Fedecacao)



Alcaldía Municipal San Vicente de Chucurí: Consolirar el desarrollo municipal a través de la administración de los recursos encaminado ala mejora de la calidad de vida de la población (Consejo Municipal, 2016)

Las instituciones descritas, son entidades que delimitan bajo los objetivos del proyecto. En cuanto construcción sostenible se tienen las tres primeras instituciones, las cuales dan los criterios de sostenibilidad para la evaluación del material elaborado, bajo la certificación BREEAM y LEED. Las dos instituciones seguidas, enmarcan el estado actual de la producción cacaotera del país. Por último, dado que el proyecto tiene trabajo en campo, la alcaldía del municipio justifica el entorno bajo el cual se va a trabajar.

IX. Metodología

Enfoque

Dada la naturaleza del proyecto, el objetivo general es de enfoque mixto. Para llegar a este fue necesario conocer las cualidades del material elaborado, a su vez estas cualidades fueron verificadas a través de ensayos de laboratorio. Además de ello, las cualidades del material permitieron establecer la sostenibilidad del material por medio de la matriz BREEAM y LEED de carácter cuantitativo.

Alcance

El proyecto de investigación tiene un alcance exploratorio puesto como lo expresa Hernández Sampieri (2014), éste tipo de estudios se caracterizan por llevar a cabo un problema de investigación poco explorado. Como se evidencia en el apartado del Estado del Arte, se encuentran artículos e investigaciones que tratan acerca del aprovechamiento de la Cáscara de Cacao residual, pero que sin embargo pocos van encaminados hacia la construcción y ninguno de ellos hacia la construcción sostenible debido a que no se hacen estudios de evaluación para determinar si los materiales elaborados cumplen o no con los criterios de sostenibilidad para la construcción sostenible.

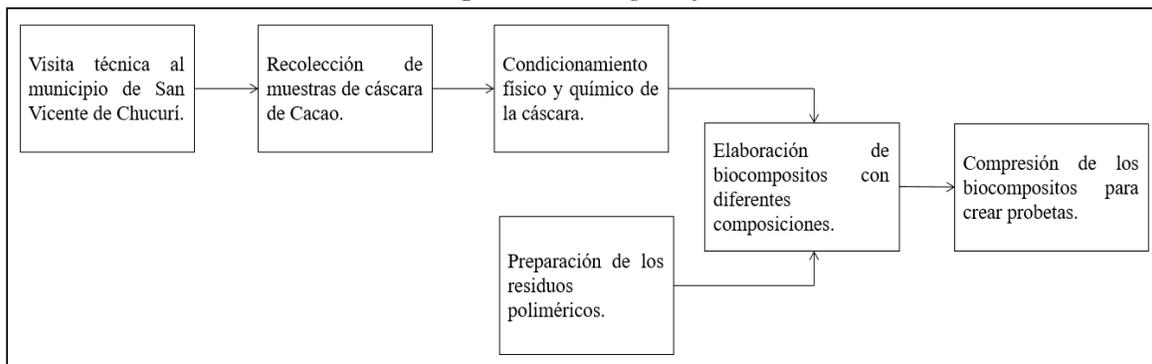
Método

El método empleado es analítico debido a que según como lo expresa Esther Maya en Métodos y Técnicas de Investigación para la Universidad Autónoma de México (2014) “es aquel que distingue todas sus partes de un todo y procede a la revisión ordenada de cada uno de los elementos”. En la investigación se analizó diferentes cualidades del material elaborado para así conocer si realmente puede ser aplicado y considerado como material sostenible según las certificaciones de construcción sostenible a emplear.

Metodología

Objetivo 1.

Figura 4. Metodología Objetivo 1



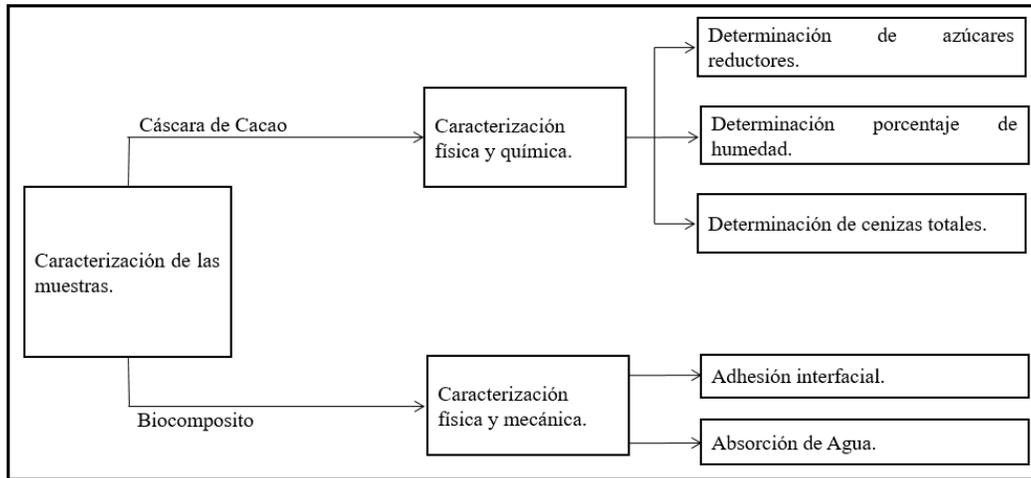
Autor, 2019

Para la realización del primer objetivo es primero fue necesaria la recolección de las muestras de Cacao en el Municipio de San Vicente Chucurí, en esta visita técnica no solo se hizo la recolección de muestras sino además un registro fotográfico de la disposición de las cáscaras y el modelo de vivienda cacaotera del municipio. Juanto a ello, se socializó con los pequeños productores de algunas veredas acerca del sistema de producción del Cacao y el sistema de recolección de los residuos orgánicos. En conjunto, se recogió información de la alcaldía frente a proyectos de infraestructura de vivienda social e infraestructura sostenible. La visita técnica tuvo una visión más amplia frente a la problemática planteada y se hizo reconocimiento en campo de los residuos de cáscara de Cacao y su respectivo manejo.

Teniendo las muestras de cáscara se realizó un acondicionamiento físico y químico a las fibras naturales del Cacao lo cual permitió mejorar las condiciones de las fibras para mejorar su adhesión a la matriz polimérica sintética (Seong, Husseinsyah, & Osman, Development od Biocomposites form Cocoa Pod Husk and Polypropylene: Effect of Filler Content and 3-Aminopropyltriethoxylane, 2014). Por su parte, se prepararon los residuos poliméricos sintéticos, en este caso la trituración de los mismos, para facilitar el proceso de adhesión. Finalmente se elaboraron materiales de tres concentraciones distintas de fibra polimérica y natural, es decir 90/10, 80/20 y 70/30 respectivamente, para así conocer cuál de las concentraciones presentó las mejores condiciones como material de construcción.

Objetivo 2.

Figura 5. Metodología Objetivo 2



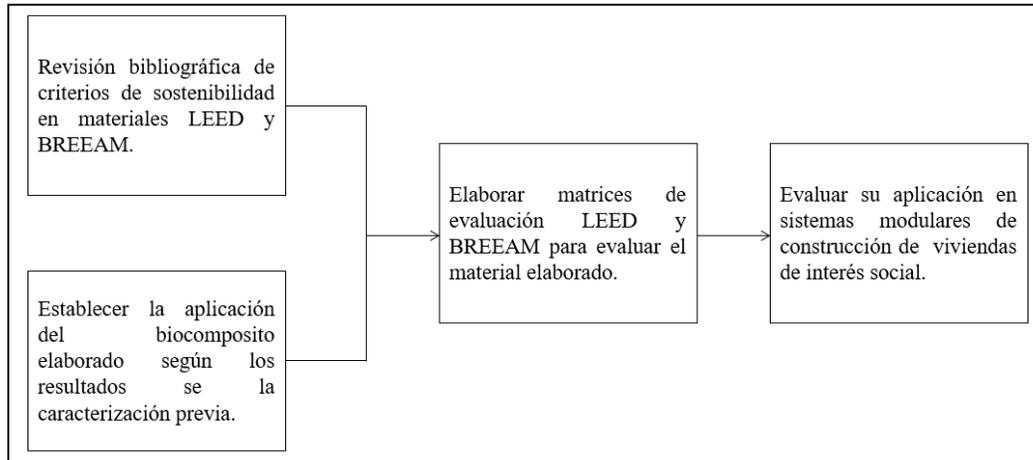
Autor, 2019

El objetivo dos se basó de dos caracterizaciones, la primera, la caracterización física y química de las muestras de cáscara de Cacao, lo que permitió hacer un reconocimiento de la cáscara y así conocer mejor el material, para ello se realizaron tres pruebas. La primera se enfocó en la determinación de los azúcares reductores, éstos son polisacáridos que por medio de la hidrólisis se reducen a moléculas simples, es decir, monosacáridos. También se determinó el porcentaje de humedad, la importancia del contenido de humedad permite controlar el material frente al crecimiento de microorganismos y reacciones químicas que puedan deteriorar el material (García & Fernández, 2012). El último análisis que se realizó sobre las muestras orgánicas fue la determinación de cenizas totales, éstas son consideradas como el residuo inorgánico de la incineración de la materia orgánica, ya que los compuestos orgánicos son transformados en dióxido de carbono y óxido de nitrógeno a temperaturas oscilantes entre los 500 y 600°C, por lo que los residuos son óxidos, sulfatos, fosfatos, silicatos y cloruros (Márquez, 2014).

Ahora bien frente a la caracterización del material elaborado se emplearon dos ensayos físicos. El primero fue la adhesión interfacial, es la adhesión de interfaces entre componentes que se mantiene mediante fuerzas intermoleculares o formación de cadenas (Work, Horie, Hess, & Stepto, 2004); el cual permitió saber cómo fue adhesión de las fibras naturales a las sintéticas. El porcentaje de hinchamiento o absorción de agua, por su parte, la cual es una medida indirecta de la porosidad de un material, a mayor porosidad mayor la absorción de agua (Morales J. , 2005). Conocer los ensayos anteriormente mencionados permitió saber qué tipo de material de construcción puede ser reemplazado por el biocomposito elaborado.

Objetivo 3.

Figura 6. Metodología Objetivo 3



Autor, 2018

Para cumplir con el objetivo tres fue necesario hacer una revisión bibliográfica acerca de la evaluación de materiales según las certificaciones LEED y BREEAM, puesto estos certificados cuentan con varios criterios de evaluación para edificaciones de distintos tipos, entre ellas materiales y recursos (Menting, 2016). Por otro lado, se analizaron los resultados de la caracterización física empleada en el material elaborado para conocer su aplicación en la industria de la construcción, lo cual permitió evaluar con mayor facilidad el material según los criterios de sostenibilidad de las certificaciones. Una vez evaluado el material, se prosiguió a determinar su posible aplicación en sistemas modulares de vivienda de interés social.

Técnicas e Instrumentos

Objetivo 1.

Pretratamiento de Materiales.

Fibras Vegetales.

En primera instancia, se trituro y tamizó la cáscara de Cacao previamente secada, éste polvo fue sumergido en reactivo SDS (Dodecilsulfato sódico) también conocido como SLS (Laurilsulfato sódico) diluido al 4% en agua destilada durante una hora con agitación constante y luego se dejó en reposo por 12 horas, transcurrido el tiempo se dejó en secado la muestra durante 24 horas a 80 °C en el horno marca Mermet (Seong & Husseinayah, 2016). Éste pretratamiento aumenta la fuerza de adhesión de la fibra con la matriz polimérica (Suárez, Restrepo, Quinchía, & Mercado, 2017)

Matriz Polimérica.

El residuo polimérico fue llevado a un proceso de limpieza, acondicionamiento y secado. Una vez seco se procedió a su trituración por medio de una tolva para la obtención de pellets plásticos. (Seong, Husseinayah, & Osman, 2014)

Elaboración de Materiales.

Se mezclaron los materiales en distintas composiciones y diseño experimental, como se muestra en la tabla 2. La técnica empleada fue el modelo por compresión, el cual consiste en adicionar la matriz polimérica fusionada en un molde de aluminio con las fibras vegetales por medio de la presión, según la temperatura de función de la matriz polimérica. El peso de cada probeta fue de alrededor de 12 g, sin importar su porcentaje de composición. (MAVDT, 2004)

Tabla 2. Proporción en Masa del Biocomposito

Material	Concentración (%) sin tratar	Concentración (%) con SDS
Matriz sintética	100, 90, 80, 70	100, 90, 80, 70
Cáscara de Cacao	10, 20, 30	10, 20, 30

Autor, 2019

Se realizaron las composiciones establecidas en la Tabla 2 puesto que según la definición de *biocomposito*, la fibra natural es un refuerzo para las propiedades de la matriz sintética, por ello su proporción es menor. (Parra & Sánchez, 2012).

Objetivo 2.

Caracterización física y química de la cáscara de Cacao.

Determinación del Contenido de Humedad.

Teniendo las cáscaras separadas y limpias, para conocer el porcentaje de humedad se empleó el método de la estufa convencional, proceso por el cual se determinó el contenido de humedad mediante la pérdida de peso de la muestra tras la evaporación del agua en el horno (Tirado, Montero, & Acevedo, 2015). Teniendo en cuenta lo anterior se utilizó el horno marca Mermet y se procedió a dejar las muestras durante un total de 48 horas a 80 °C, ésta temperatura permitió la conservación del alimento pero a su vez su deshidratación, pasadas las 48 horas se pesaron las muestras y se vuelven a dejar en la mufla durante 24 horas para volver a ser pesadas, se sabe que perdió su humedad cuando las muestras tuvieron una masa constante. (Aguilar, 2012)

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

Ecuación 1. Porcentaje de Humedad

Dónde:

m₁: masa inicial de la muestra (g)

m₂: masa final de la muestra (g)

Determinación de azúcares reductores.

Primero fue necesario moler en un molino tradicional y tamizar la cáscara hasta conseguir un polvo fino. Teniendo el polvo de la cáscara se empleó el método DNS para la cuantificación de los azúcares reductores el cual consta de los siguientes pasos.

- Preparación disolución ácido 3,5-dinitrosalicilato (DNS).

Para la preparación del reactivo DNS se mezclaron 37 g de tartrato de sodio y potasio con 2 g de hidróxido de sodio, ésta mezcla se calentó a baño maría hasta que su completa dilución. Una vez diluido se añadió 1,23 g del ácido 3,5-dinitrosalicilato mientras la disolución se encontraba caliente y posteriormente se dejó enfriar y se completó a volumen de 123 mL. Para la conservación del reactivo se envasó en un frasco de vidrio color ámbar oscuro y se refrigeró a 2°C. (Cortes, Ibla, Calderón, & Herrera, 2015)

- Calibración Muestra Patrón de Glucosa.

Se mezcló 0,2 g de glucosa anhidra 180,16 g/mol de la marca PanReac AppliChem, junto con 10 mL de agua destilada, una vez mezclado se aforó a 100 mL y se procedió a hacer disoluciones junto con agua destilada y reactivo DNS como se ve en la Tabla 3. Teniendo las disoluciones se añadió 10 mL de agua destilada a cada tubo y se calentó a baño de maría a 80 °C durante 15 minutos para la activación del reactivo DNS, se dejó enfriar 10 minutos y se hizo la curva de calibración en el espectrofotómetro Genesys 5 a 575 nm. (Cortes, Ibla, Calderón, & Herrera, 2015)

Tabla 3. Concentración Disoluciones Patrón de Glucosa y Reactivo DNS

Tubo	Agua Destilada (µL)	Patrón de Glucosa (µL)	Reactivo DNS (µL)
0	1000	0	1000
1	800	200	1000
2	600	400	1000
3	400	600	1000
4	200	800	1000
5	0	1000	1000

Autor, 2019

- Hidrólisis ácida.

Se mezcló 1,0 g de cacao tamizado y 10 mL solución de ácido clorhídrico 1,0 M, teniendo la mezcla se dejó refrigerar durante 12 horas a temperaturas oscilantes entre los 1-3 °C. Pasado el tiempo se tomó 1000 µL de muestra y 1000 µL de reactivo DNS por triplicado, cada tubo de ensayo fue calentado en baño de maría a 80 °C durante 15 minutos y reposado a temperatura ambiente durante 15 minutos, terminado el tiempo se determinaron sus absorbancias en el espectrofotómetro a 575 nm usando la ecuación de la curva de calibración realizada previamente. (Ocampo & Ramírez, 2015)

Determinación Cenizas Totales.

Para determinar las cenizas totales del cacao se empleó el método gravimétrico AOAC 923.03. Primero se registró la masa del crisol vacío y el crisol con 5 g de muestra tamizada, tras el registro se calentó la mufla marca Barnstead Thermolyne a 550 °C por alrededor de 2 horas o hasta que las cenizas fueran blancas o grisáceas; se deja enfriar el crisol y se volvió

a pesar. La expresión de los resultados se hizo por medio de la siguiente ecuación. (Instituto de Salud Pública de Chile, 2009)

$$\% \text{ Cenizas Totales: } \frac{(m_2 - m_0)}{m_1 - m_0} \times 100$$

Ecuación 2. Porcentaje de Cenizas Totales

Donde:

m_2 : masa de crisol con cenizas (g)

m_1 : masa crisol con la muestra (g)

m_0 : masa crisol vacío (g)

Caracterización física y mecánica del material elaborado

Adhesión Interfacial.

Para conocer la adhesión interfacial se empleó la microscopía electrónica de barrido (MEB) la cual consiste en un barrido con un haz de electrones, que permite conocer la morfología del composito a una resolución de hasta 4 nanómetros y magnificaciones de 300.000x. Las imágenes se obtienen a medida que el haz de electrones se desplaza sobre la superficie de la muestra (Clavijo, 2013). Para esto se tomaron muestras de los biocompositos de alrededor 25 mm cortados con sierra (ASTM, 2017) y se recubrieron con una capa de oro de alrededor de 50 nm. Posteriormente se utilizó el microscopio de barrido de electrones JEOL, modelo JSM 6490-LV (Universidad de los Andes, s.f.)

Absorción de Agua.

Para ello se evalúa según la norma ASTM D570 la absorción de agua y el porcentaje de aumento de peso aparente (W_G) a través de la siguiente ecuación:

$$W_G = \frac{W_w - W_0}{W_0} \times 100$$

Ecuación 3 Porcentaje de Aumento de Peso Aparente

Primero se llevan las muestras al horno con temperatura de 80°C para su secado, hasta mantener el peso constante, posteriormente se pesan para conocer su peso inicial (W_0). Una vez tomado el peso, la muestras son sumergidas en un baño de agua muestreada a una temperatura de 90°C cada dos horas, seis veces. Al extraer las piezas se determina el peso húmedo (W_w) y se hace el cálculo para hallar el porcentaje de absorción. (Chow, Xing, & Li, 2007).

Objetivo 3.

Criterios de Construcción Sostenible

Las certificaciones BREEAM y LEED constan de categorías para la evaluación de la sostenibilidad de las edificaciones, entre éstas se encuentran los Materiales. Esta categoría cuenta un número de criterios de evaluación que varía entre cada certificación. Cabe resaltar

que sólo se hizo la evaluación para la categoría de materiales y según la evaluación para el tipo de proyecto, según las guías de LEED y BREEAM. Teniendo los resultados de sostenibilidad y aplicabilidad del material se determinó si éste es apto para su aplicación en sistemas modulares de construcción de interés social. Estas construcciones se basan en estructuras metálicas prefabricadas livianas donde la unidad estructural fundamental se repite de manera regular. (Andrare, 2015)

Tabla 4. Metodología

Objetivo	Actividad	Técnica	Entregable
Objetivo 1: Elaborar un biocomposito con cáscara residual del cacao y una matriz polimérica sintética.	Salida técnica	Recopilación de información	Informe técnico de salida
	Toma de Muestras	Observación de Norma de Procedimientos para Muestreo de Productos Vegetales (FAO, 2002)	Registro fotográfico de Muestras de Cáscara de Cacao en estado óptimo
	Condicionamiento previo	Secado convencional	Informe de pérdida de peso de las muestras
	Elaboración del biocomposito	Pretratamiento químico de muestra vegetal	Muestras de Cáscara de Cacao deshidratadas
Objetivo 2: Caracterizar las propiedades físicas y químicas de la cáscara de cacao y físico-mecánicas del	Caracterización muestras de Cacao	Moldeado por compresión	Informe sobre la adhesión de las muestras vegetales
		Secado por horno convencional	Probeta del biocomposito en diferentes concentraciones de matriz natural y sintética
		Cuantificación de azúcares reductores por DNS	Informe sobre el porcentaje de humedad de las muestras
		Método gravimétrico AOAC 923.03	Informe de la concentración de azúcares reductores
			Informe del contenido de cenizas totales

biocomposito elaborado.		Microscopía electrónica de barrido	de	Micrografías de los biocompositos elaborados y su análisis de adhesión interfacial
	Caracterización del biocomposito			Informe Porcentaje de absorción de agua del material
		ASTM D570		Matriz correlacional
Objetivo 3: Relacionar propiedades obtenidas del biocomposito con los criterios de sostenibilidad materiales construcción.	3: Determinación de la función del material elaborado en el sector de construcción con Evaluación de biocomposito elaborado	Análisis características obtenidas en la caracterización del biocomposito		
		Matrices de evaluación certificación LEED y BREEAM	de	Matriz de evaluación del material

Autor, 2019

X. Resultados y Análisis

Objetivo Específico 1: Elaborar un biocomposito con cáscara residual del cacao y una matriz polimérica sintética.

Visita Técnica.

Para la toma de muestras de la cáscara de Cacao fue necesario realizar una visita técnica en San Vicente de Chucurí, donde se observó las condiciones de las plantaciones, en cuanto al manejo de residuos orgánicos y el método utilizado para el secado de los granos los cuales son de valor industrial para la producción de chocolate. Por su parte, también se realizó una visita a la alcaldía para conocer los proyectos de construcción de vivienda de interés social y el aprovechamiento de residuos poliméricos.

1. Visita a plantaciones cacaoteras.

La visita a las plantaciones fue realizada en la vereda Mérida, ubicada al sureste del centro urbano, a tres fincas cacaoteras: Finca Las Parcelas (6°52'26" N, 73°23'13" E), Villa San José (6°52'24" N, 73°23'17" E) y María Alejandra (6°52'20" N, 73°23'17" E), ubicadas a una altura de alrededor de 820 msnm. En las dos primeras fincas, se realizó una entrevista al encargado de cada plantación Carlos Barragán y la señora Ana Victoria Corzo acerca del beneficio del Cacao y el manejo de los residuos orgánicos agrícolas. Según se discutió con los cuidanderos las plantaciones de Cacao son permanentes, puesto que se han observado árboles de 30 a 50 años y no requieren del uso de agroquímicos por ser un cultivo agroforestal. En San Vicente se produce principalmente dos especies de Cacao, el CCN-51 y el "criollo", con una producción desde los tres y cinco años respectivamente (ver figura 7 y 8).

Figura 8. *Cacao CCN-51*



Autor, 2019

Figura 7. *Cacao "Criollo"*



Autor, 2019

Como se observa en las siguientes figuras, y según se discutió con los encargados, el fruto del *Theobroma Cacao* consta de una mazorca que en su interior se encuentran granos cubiertos de pulpa blanca, los cuales son de valor comercial. Para el beneficio del Cacao una vez hecha la cosecha, se deben extraer los granos de la mazorca mediante un corte horizontal, la cual se convierte en residuo, una vez separados se desgrana la pulpa o placenta que los recubre deslizando los dedos por entre éstas hasta que salga la almendra o grano, éste último se deja fermentar en cajones de madera en una zona oscura durante un total de ocho días con constante movimiento. La fermentación es el proceso más importante durante el beneficio del Cacao, puesto que de éste depende el sabor y el aroma que tomará el grano, un buen grano se caracteriza por su hinchazón y su color marrón, por ello la importancia de que el material de los cajones sea de madera (ver figura 10). Pasados los días en los techos de las casas como se observa en la figura 11 se encuentran las “elbas” las cuales son planchas de madera a las que les llega la luz directa y se dejan los granos fermentados hasta tener una humedad del 7%, éste grano seco es la materia prima de las industrias chocolateras, es importante que las elbas sean de madera puesto que este material conserva las propiedades del Cacao y no perjudica su calidad.

Figura 9. *Composición fruto Theobroma cacao L*



Autor, 2019

Figura 10. *Cajas fermentadoras*



Autor, 2019

Según el señor Carlos Barragán el bulto de grano seco de aproximadamente cincuenta kilos en Octubre del 2018 estaba costando entre \$5.000 y \$6.000 pesos colombianos. Actualmente en el municipio hay tres maneras de compra y venta del grano seco, la primera, es la compra y venta en la plaza del municipio donde personas naturales hacen la compra del grano; también se encuentra el convenio entre la Federación Nacional de Cacaoteros (FNC) y los cacaoteros donde las misma FNC hace la compra del grano seco y se encarga por aparte de su distribución a las industrias, por último se encuentra la compra directa del grano por parte de las grandes industrias, entre ellas la reconocida chocolatería de Bucaramanga Casa Luker.

Figura 11. *Elbas*



Autor, 2019

Ahora bien dentro de los residuos orgánicos de las plantaciones se encuentran las hojas, tallos y la cáscara del Cacao, la pulpa al ser parte del fruto sirve de alimento para los habitantes del hogar o para los animales, por lo que no se considera como residuo. Las cáscaras de Cacao, por otro lado, una vez extraído el grano junto con la pulpa, se disponen en algún sector del cultivo dejándola hasta su descomposición (Figura 12). El señor Barragán, manifestó que en la mayoría de los cultivos cacaoteros las cáscaras no son reutilizadas, sin embargo, cuando habían plantaciones de plátano en conjunto con las del cacao, se utilizaban

como abono, pero hoy en día ya no hay plantaciones de plátano por lo que se dejan degradar las cáscaras. También informó que hace ocho años la alcaldía no tiene un plan de manejo de residuos en las zonas veredales por lo que los agricultores deben botar sus residuos a la intemperie y en algunos casos quemarlos.

Figura 12. Cáscara en descomposición



Autor, 2019

2. Visita a la alcaldía municipal.

En la alcaldía municipal se pretendía conseguir información acerca de los proyectos municipales en viviendas de interés social, para ello se realizó una entrevista al arquitecto encargado de planeación Diego Andrés Tapias Escuderos. En cuanto a proyectos de vivienda, desde el 2015 la alcaldía lleva ejecutando dos proyectos enfocados en viviendas de interés social, el primero trata de la construcción de 1330 viviendas, mientras que el segundo es la construcción de nuevas unidades de vivienda de un total de 168, sin embargo, estos proyectos están planeados para dentro del área urbana. El avance para el 2017 de los dos proyectos ha sido del 11% y 48% respectivamente. Para el área rural la administración municipal dispuso de un proyecto de mejoramiento de 4162 viviendas, del cual para el 2017 sólo se ejecutó el 8%. Tapias manifestó que los proyectos de vivienda están delimitados por el decreto 1077 de 2015 y la norma NSR-10 del 2010 y en cuanto a la elección de materiales de construcción, los bloques de cemento priman gracias a su resistencia y estabilidad.

Figura 13. *Vivienda Cacaotera*



Autor, 2019

De la otra mano, San Vicente, cuenta con la Cooperativa Mipymes cuya directora es Rosa María Múñiz, encargada de la recolección de los residuos plásticos del municipio. Según indica la señora Múñiz, en el municipio se recicla alrededor de 4 a 5 toneladas al mes de diferentes tipos de plásticos. La empresa prima en dos tipos de plásticos, el primero y de mayor uso comercial son las bolsas plásticas de polietileno de baja densidad, el segundo son residuos de polipropileno que se encuentran en materas plásticas, canastillas, botellas, baldes y sillas Rimax. Genéricamente la empresa se encarga únicamente de la recolección de los residuos poliméricos, por ello, los residuos son prensados y vendidos a terceros, quienes se encargan de hacer la venta a las empresas de aprovechamiento de otros municipios, en el caso del polipropileno se separa por colores y es vendido al tercero a 800 pesos el kilogramo. La empresa a la que mayormente llegan los residuos es Coopreser Ltda, ubicada en Bucaramanga. Sumado a lo anterior, Múñiz manifiesta que el municipio no ha brindado ayudas para el reciclaje y aprovechamiento de los residuos, al igual que no ha cumplido con las campañas de reducción de plásticos establecidas en el PGIRS del municipio del 2015.

Vivienda de Interés Social

Así como lo manifestó el arquitecto Tapias, los proyectos municipales de vivienda se acobijan bajo el decreto 1077 del 2015 y la norma NSR-10 de 2010. En primera instancia según el decreto 1077, se entiende vivienda de interés social (VIS) como una estructura que reúne los elementos que aseguran su habitabilidad, estándares de calidad en diseño y construcción, pero que cuyo costo no sobrepase 135 salarios mínimos vigentes. Dentro de éste decreto, se define una entidad cuya función es la administración de las cesantías y contribuir a la mejora de la calidad de vida de sus afiliados, entre esta mejora, problemas de vivienda. Una de las funciones de ésta entidad es la implementación de un banco de materiales “Banco de Materiales Nacional”, en donde se encuentran los proveedores cuyos materiales optimizan el recurso del subsidio de vivienda (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015). El Banco de Materiales Nacional tiene como objeto según la resolución 0601 de 2007, “la consolidación de un mecanismo para la transacción de materiales que permita la ejecución y aplicación en todas las bolsas de subsidios de vivienda de interés social, generando volúmenes de compra para lograr el máximo descuento que permita optimizar los recursos” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007). Éste decreto se basa principalmente en el manejo económico y la participación de entidades para la construcción de VIS.

Antes de abordar el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) Título E, se definen los siguientes términos. Se entiende mampostería como una unidad estructural compuesta por materiales de alta resistencia como bloques o ladrillos, siendo la mampostería confinada, mampostería armada en todo el perímetro de la construcción (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2017). Mientras que el baherque consta de una estructura de madera o bambú, enyesada con tierra, barro o cemento y revestida con ramas, caña o tiras de maderar para mayor estabilidad (Kaminski, Lawrence, & Trujillo, 2016). Entrando en detalle, la NSR-10 establece los requisitos para construcciones de uno o dos pisos de mampostería confinada y baherque encementada. Como objeto de la investigación e información brindada por el arquitecto Tapias se enfocará en la mampostería, principalmente en los materiales empleados en ésta. En la mampostería se utilizan dos materiales principales, concreto, el cual debe tener una resistencia a la compresión mayor o igual a 17,5 MPa; y el acero de refuerzo, que puede ser liso o corrugado con un límite de fluencia mayor a 240 MPa (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

Para la elección de materiales el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio publicó una “Serie Guías de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social”, del que se derivan los materiales en la construcción de vivienda de interés social. Adentrándose en la construcción y vivienda sostenible, ésta guía señala la importancia de la sostenibilidad de los materiales durante los procesos de extracción y manufactura. Según su uso, los materiales son clasificados en materiales principales, aglomerantes y auxiliares. Los principales son aquellos de mayor dominancia en la estructura de la vivienda y suelen tener características de alta resistencia, entre ellos se encuentran los ladrillos, bloques de cemento, madera y metales. Los materiales aglomerantes sirven para la unión de los materiales principales, mientras que los auxiliares son empleados en el acoabado final de la vivienda. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011)

Entre los materiales que se encuentran en la guía previamente mencionada, sólo dos son de origen vegetal, la madera y la guadua. Ambas se usan en la construcción para la cimentación, estructura o cerramientos de la vivienda. Entre sus características se encuentran la resistencia a la tracción, a la compresión, dureza, flexibilidad, aspecto estético y de fácil combustión. A pesar de ello, estos materiales traen consigo desventajas y la principal son sus procesos de extracción, puesto que en algunos casos son extraídos de bosques reforestados o de tráfico ilegal (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011). Los otros mencionados son materiales pétreos u originados de éste, metálicos y aglomerantes, los cuales no tienen lineamientos para ser considerados sostenibles en ésta guía.

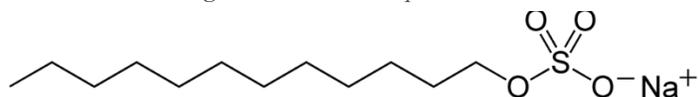
Elaboración del biocomposito.

Pretratamiento de la cáscara de Cacao.

Las fibras naturales tienen características hidrofílicas, por lo que en la elaboración de biocompuestos la adhesión interfacial con las matrices sintéticas es baja, debido a que éstas últimas son hidrofóbicas, limitando la adhesión. Por ello, es necesario hacer un pretratamiento de la fibra natural, en este caso de la cáscara de cacao molida y tamizada, para mejorar la adhesión de éstas. Para el pretratamiento usualmente se requiere de reactivos de características hidrofóbicas e hidrofílicas, capaces de formar enlaces covalentes con los grupos hidroxilo de las fibras naturales y con cadenas alcalinas o de ácidos grasos que le brindan propiedades hidrofóbicas a la fibra natural, mejorando la adhesión entre éstas y las

sintéticas (Seong & Husseinsyah, 2016). Entre estos reactivos se encuentra el Dodecil Sulfato Sódico (SDS), el cual consiste en una cadena de doce carbonos de carácter hidrofóbico con un grupo sulfato el cual brinda las propiedades hidrofílicas, cuya fórmula química es $C_{12}H_{25}NaO_4S$. El grupo sulfato forma un enlace con el cacao dejando libre la cadena hidrofóbica de carbonos, la cual se va a adherir a la matriz polimérica elegida (Majid, Ismail, & Taib, 2016).

Figura 14. Estructura química del SDS

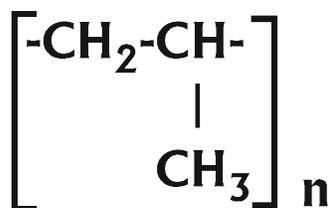


Tomado de: <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/385562>

Matriz polimérica.

Las fibras sintéticas se caracterizan por ser resistentes, sin embargo, entre ellas se distingue su grado de resistencia. Entre los termoplásticos más resistentes y de uso común se encuentra el polipropileno (PP) (Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008). Entre sus propiedades se encuentran los altos niveles de dureza y resistencia a la fatiga, ya que conserva su forma después de someterse a la torsión, doblado o flexión; además de poseer una alta resistencia térmica de hasta $105^{\circ}C$ y resistencia química a ácidos y bases; alta resistencia eléctrica y a la humedad (Ultimaker, 2017). Comercialmente el polipropileno se emplea en paquetes de pasabocas, esferos, cepillos, pitillos, canastas de plásticos, mueblería plástica, y tubería (Téllez, 2012).

Figura 15. Estructura química del polipropileno



Tomado de: <http://polimero51.blogspot.com/2014/03/el-polipropileno.html>

Como se evidenció en el apartado de la visita técnica, el municipio tiene una alta generación de residuos poliméricos, disponiendo de alrededor de cuatro a cinco toneladas mensualmente, entre éstos el polipropileno. Gracias a las propiedades mencionadas y a la tasa de disposición de polímeros en San Vicente de Chucurí, se escoge ésta fibra sintética como base para la elaboración del biocompuesto, principalmente por su alta resistencia a la tensión o flexión; debido a que es una de las propiedades de mayor importancia para los materiales de construcción, evidenciado en la NSR-10 mencionada anteriormente.

Objetivo Específico 2: Caracterizar las propiedades físicas y químicas de la cáscara de cacao y físico-mecánicas del biocomposito elaborado.

Caracterización física y química de la Cáscara de Cacao.

Determinación del Contenido de Humedad.

El método de secado convencional dio un contenido de humedad que varía entre el 84 y 85%, teniendo un promedio de 84,71% como se observa en la tabla 5. Este contenido de humedad se debe a las condiciones meteorológicas que necesita en el *Theobroma cacao L.* para su producción. El clima óptimo de cultivo es el trópico húmedo caracterizado por tener altas precipitaciones, temperaturas templadas y alta humedad durante todo el año. Esto se debe a que el Cacao no soporta climas fríos o secos, ya que pueden afectar el crecimiento del árbol y por ende su producción (Navarro & Mendoza, 2006). Teniendo en cuenta lo anterior, San Vicente de Chucurí cuenta con un bosque húmedo tropical como ecosistema predominante del municipio, con una temperatura media de 27,8 °C y un promedio anual de lluvias entre 1.900 y 3.100 mm, haciendo que se cumplan las condiciones óptimas para el crecimiento del Cacao (Acevedo & Cely, 2016).

Tabla 5. Porcentaje de Humedad de la Cáscara de Cacao

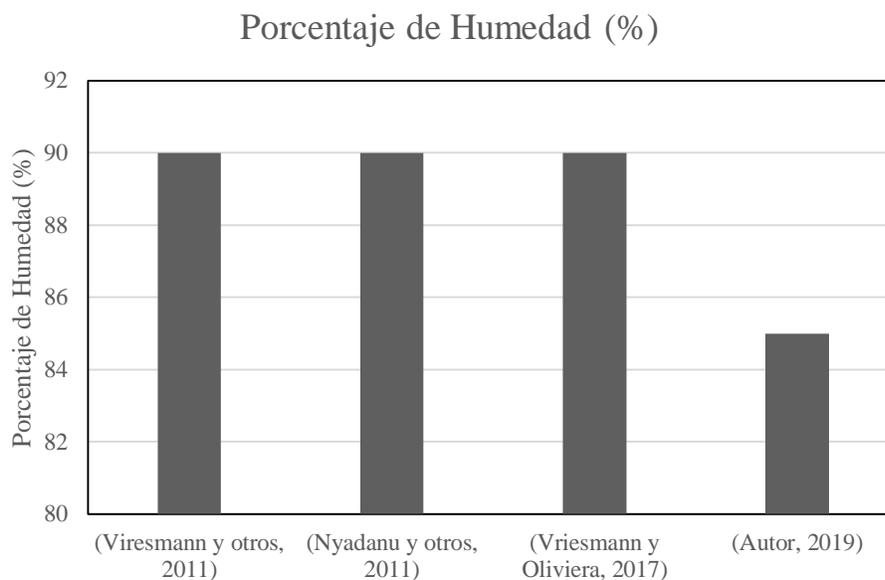
Número de Muestra	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Porcentaje de Humedad (%)
1	335,74	51,08	84,79
2	243,62	36,47	85,03
3	211,23	32,70	84,52
4	278,85	44,34	84,10
5	201,76	30,01	85,13
Promedio	254,24	38,92	84,71

Autor, 2019

Como se mencionó, los cultivos cacaoteros son agroforestales, lo que quiere decir que son cultivos donde se combinan de forma espacial los árboles con cultivos agrícolas. Gracias a la presencia de árboles, hace que haya una mayor humedad relativa en zonas cercanas al suelo, en comparación con los sistemas agrícolas convencionales. Así mismo, dependiendo del follaje y características de las hojas, la precipitación puede llegar hasta el suelo o ser interceptada por el follaje haciendo que se redistribuya por el árbol, al igual que la humedad atmosférica, aumentando el contenido de humedad de sus frutos (Farrell & Altieri, 1999). Teniendo en cuenta las condiciones necesarias para el cultivo del Cacao, el clima de San Vicente de Chucurí y las características de los cultivos agroforestales, se estima que éstas son variables que condicionan la humedad de la cáscara de Cacao, por ello se obtiene un alto porcentaje de humedad.

Este resultado comparado con estudios previos es relativamente menor. Tal es el caso del estudio realizado por Vriesmann, Dias y Oliveira, quienes caracterizaron la cáscara y obtuvieron una humedad de alrededor del 90%, mediante los lineamientos de la Asociación Oficial de Análisis Químicos (AOAC por sus siglas en inglés) (Vriesmann, Dias de Mello, & Oliveira, 2011). Por su parte, Nyadanu, Assuah, Adomako, Asiama y Adu-Ampomah, obtuvieron una humedad entre el 80 y 90%, usando el método de Susheelamma (Nyadanu, Assuah, Adomako, Asiama, & Adu-Ampomah, 2011). Al igual que los anteriores, la investigación realizada por Vriesmann y Oliviera, el contenido de humedad de la cáscara es del 90% variando $\pm 0,10$ (Vriesmann & Oliviera 2017). Los tres estudios, a diferencia de la investigación presente, usan un método de secado en el que se requiere una temperatura de entre 105°C y 106°C, mientras que para la determinación del contenido de humedad en ésta investigación se realizó a una temperatura de 80°C, para permitir la concervación de las cadenas de celulosa, hemimcelulosa y lignina. Por ello, se puede considerar la temperatura como una variable que alteró el resultado. Sin embargo, el porcentaje de humedad se encuentra dentro del promedio obtenido por Nyadanu y otros.

Figura 16. Gráfica comparativa porcentaje de humedad



Autor, 2019

La determinación del porcentaje de humedad es necesario para el presente proyecto puesto que no solo es una variable para la degradación de la cáscara, a su vez puede influenciar en la propagación de microorganismos, los cuales pueden afectar el cultivo (Secretaría de Salud, 1994). Más allá de esto, el contenido de humedad ayuda a conocer la masa total en materia seca, la cual es la materia prima para la elaboración de los biocompositos. Al conocer esta masa y las toneladas de producción de Cacao en el municipio, se puede estimar la producción de biocompositos a gran escala.

Determinación de Azúcares Totales.

Curva Patrón.

La técnica usada en la presente investigación es la técnica Miller o también llamada Método DNS. Esta técnica colorimétrica emplea el ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS) para hidrolizar los polisacáridos de la cáscara de Cacao, por medio de las absorbancias dictadas por el espectrofotómetro a 575 nm (Ocampo & Ramírez, 2015). Por aparte, la cáscara de Cacao molida y tamizada pasó por un proceso de hidrólisis ácida, la cual mediante la aplicación de un catalizador ácido, en este caso ácido clorhídrico 1,0 M, se transforman las cadenas de polisacáridos en monosacáridos o azúcares reductores. (Domínguez, y otros, 2011)

Tabla 6. *Absorbancia Patrón de Glucosa*

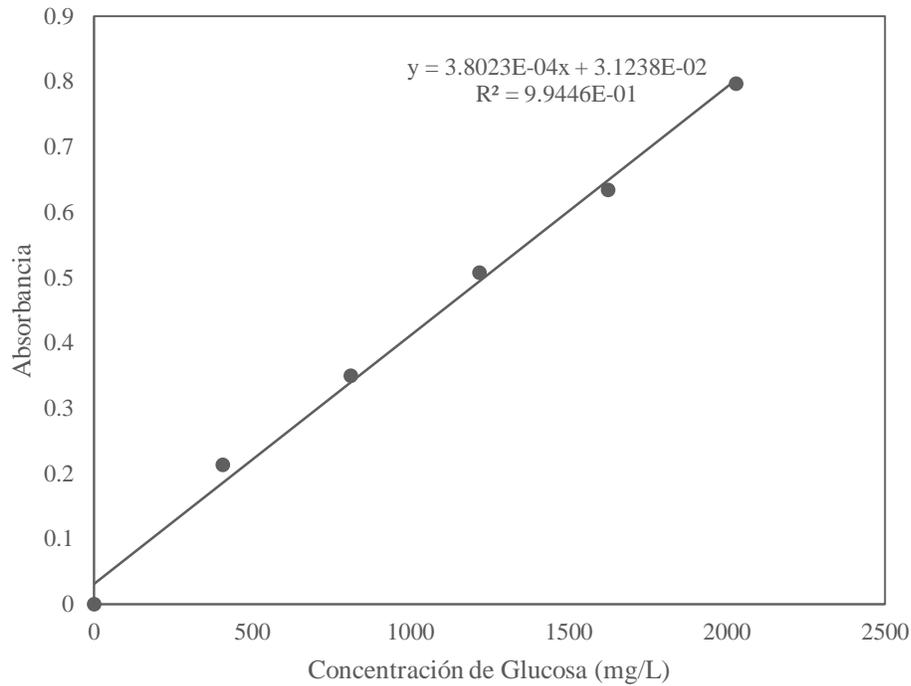
Volumen Patrón de Glucosa (µL)	Concentración Patrón de Glucosa (mg/L)	Absorbancia
0	0	0
200	406	0,214
400	812	0,350
600	1.218	0,508
800	1.624	0,634
1000	2.030	0,797

Autor, 2019

Previo a la determinación de las absorbancias del cacao primero fue necesario realizar la curva patrón de glucosa para conocer el comportamiento del reactivo DNS según diferentes concentraciones de glucosa conocidas. Como se puede observar en la figura 17, la absorbancia es de tendencia lineal, es decir, a medida que aumenta la concentración de glucosa, aumenta la absorbancia. De esta tendencia se obtuvo la ecuación lineal la cual permite conocer la concentración de azúcares reductores de tres muestras de Cacao con sus respectivas absorbancias.

Figura 17. Curva de Calibración de Glucosa

Curva de Calibración de Glucosa



Autor, 2019

Concentración de Azúcares Reductores.

Tabla 7. Porcentaje de Azúcares Reductores de la Cáscara de Cacao

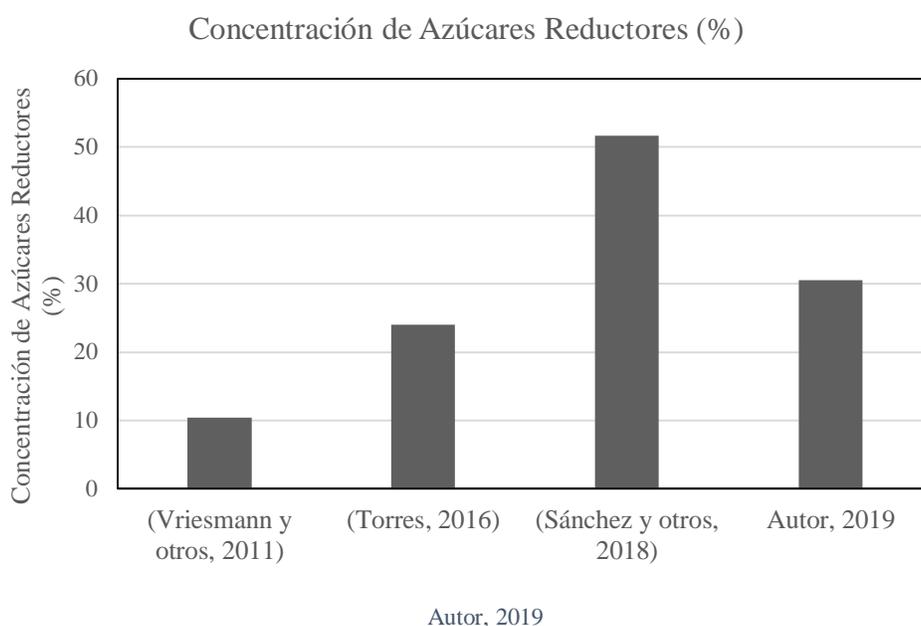
Número de Muestra	Absorbancia	Concentración de Azúcares Reductores (mg/L)	Porcentaje de Concentración de Azúcares Reductores (%)
1	0,146	301,8	30,11
2	0,150	312,3	30,91
3	0,148	308,1	30,59
Promedio	0,148	307,4	30,53

Autor, 2019

Como lo indica la tabla 7, el promedio de concentración de azúcares reductores es de 307,4 (mg/L), 30,53% de la masa de cáscara utilizada para éste procedimiento de alrededor de 1 g. Esta concentración se obtuvo según la técnica empleada DNS, el ácido empleado (ácido clorhídrico), temperatura (80°C), tiempo (15 minutos) y la lectura de absorbancia a 575 nm. Acerca de la concentración de azúcares reductores en la cáscara del Cacao, Vriesmann y otros determinaron la concentración de azúcares mediante el método Somogyi y una

hidrólisis con ácido sulfúrico al 72% y calentado a 100°C durante 15 horas. Mediante este método se obtuvo una concentración de 10.4% en masa. (Vriesmann, Dias de Mello, & Oliveira, 2011). Torres cuantificó los azúcares reductores de la cáscara de Cacao mediante la metodología HPLC y usando el ácido sulfúrico como hidrolizante. Como resultado el contenido de azúcares varió entre el 21,20% y 27,04% con un promedio de 24,02% (Torres, 2016). En otro orden, Sánchez, Soler y Herguido, emplearon la técnica Miller, sin embargo para la hidrólisis usaron ácido sulfúrico al 1,5%, absorbancia a 540 nm, temperatura de 120°C y tiempo de 160 minutos, para una concentración de 51,66% en masa de azúcares reductores (Sánchez, Soler, & Herguido, 2018).

Figura 18. Gráfica comparativa concentración de azúcares reductores



Comparando los resultados consultados y los obtenidos, se determinaron las siguientes variables, las cuales pueden alterar el resultado: temperatura, ácido y su concentración, tiempo y técnica. De los artículos consultados ninguno utilizó el ácido clorhídrico para la hidrólisis ácida, todos usaron ácido sulfúrico. El uso de ácido sulfúrico es más eficiente para hidrolizar compuestos en comparación con el ácido clorhídrico (González, Bernal, González, & Segoviano, 2016), por ello cuando se comparan los porcentajes de concentración de la presente investigación y la de Sánchez, Soler y Herguido, se puede observar que el uso de ácido sulfúrico mejoró la hidrólisis de la cáscara de Cacao.

La determinación de azúcares reductores de la cáscara de Cacao, permite conocer una aproximación del contenido lignocelulósico de ésta. El material lignocelulósico se caracteriza por estar presente en las paredes celulares de los organismos vegetales compuesto por celulosa, hemicelulosa y lignina. Éstos son polímeros que le brindan características resistentes a los organismos vegetales según su porcentaje de composición. De la otra mano, el proceso de mayor importancia para la determinación de los azúcares, es la hidrólisis. Para el presente proyecto se escogió la hidrólisis ácida, puesto que la adición de ácidos como ácido

clorhídrico y ácido sulfúrico a una determinada temperatura y concentración, mejora la reducción de la hemicelulosa y celulosa, así como altera la estructura de la lignina (Morales, 2015). Teniendo en cuenta lo anterior, el contenido de azúcares obtenido, 30,53%, corrobora la presencia de material lignocelulósico, el cual es de gran importancia para el presente proyecto puesto que sus características resistentes refuerzan la resistencia del material a elaborar.

Determinación de Cenizas Totales.

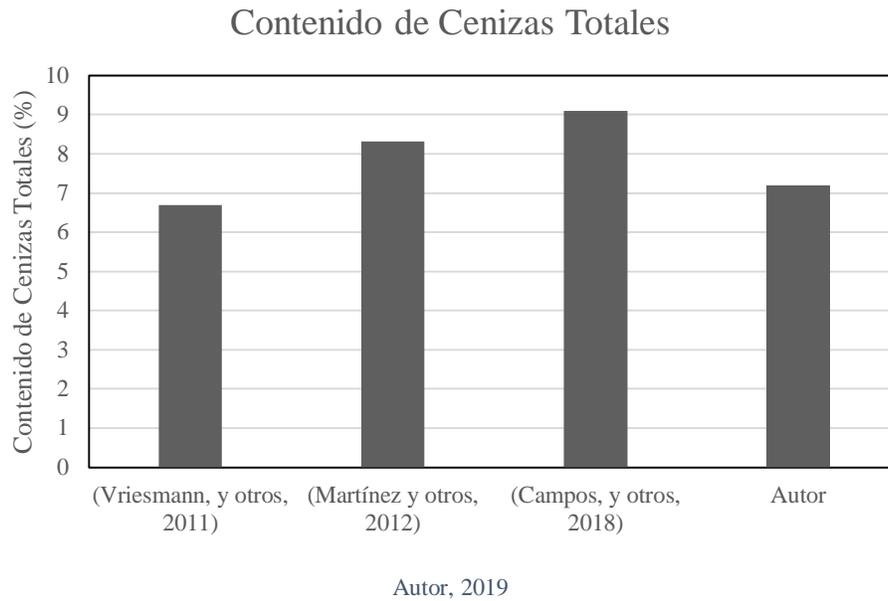
El contenido de cenizas totales obtenido varió entre el 6,5% y el 7,5% con un promedio de 7,2%. Según estudios realizados sobre la caracterización física y química de la cáscara de cacao, el contenido de cenizas no supera el 10% de su peso original. Tal es el caso de la caracterización realizada por Vriesmann, Dias y Oliveira, el contenido de cenizas de la cáscara fue del 6,7% (Vriesmann, Dias de Mello, & Oliveira, 2011). Del estudio realizado por Martínez, Torres, Meneses, Figueroa, Pérez y Viuda (2012), en donde se caracterizaron los residuos agrícolas del beneficio del Cacao, entre estos la cáscara, el contenido de cenizas fue entre el 8,32 y 8,42% (Martínez, y otros, 2012). Junto a ello, Campos, Nieto y Oomah (2018) caracterizaron física y químicamente las tres partes estructurales de la cáscara de Cacao, así como en conjunto. Determinaron que según la temperatura y el tiempo de secado, el contenido de cenizas puede variar. Sin embargo, el contenido de cenizas alcanzó a ser del 9,1% (Campos, Nieto, & Oomah, 2018). Como se puede observar en la gráfica, el contenido de cenizas totales obtenido no varía respecto a los obtenidos en los estudios anteriormente mencionados. Esto se debe principalmente a la metodología usada, ya que los tres estudios dejaron las muestras en una mufla a 550°C durante dos horas o hasta ver cenizas color grisáceo, tal como se ejecutó en ésta investigación.

Tabla 8. *Contenido de Cenizas de la Cáscara de Cacao*

Número de Muestra	Masa Crisol (g)	Masa con Muestra Inicial (g)	Masa con Muestra Final (g)	Porcentaje de Cenizas Totales (%)
1	81,4336	86,1724	81,7446	6,5628
2	83,9653	89,0067	84,3468	7,5673
3	79,5366	84,5622	79,9120	7,4698
Promedio	81,6452	86,5804	82,0011	7,2127

Autor, 2019

Figura 19. Gráfica comparativa contenido de cenizas totales

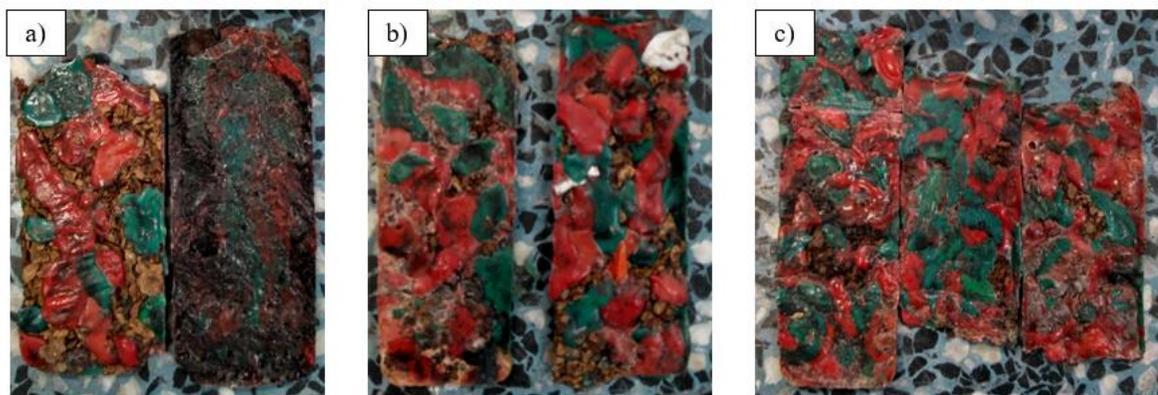


Se realizó la determinación de cenizas para conocer el componente inorgánico de la cáscara de Cacao, entre los cuales se encuentra nutrientes como el boro, calcio, zinc, silicio, cloro, magnesio, potasio y el sodio (Badui, 2006). Al poseer esta información, no sólo se conoce en contenido inorgánico de la cáscara, a su vez, se conoce el contenido orgánico e inorgánico tanto de ésta como del biocomposito.

Caracterización físico-mecánica del biocomposito

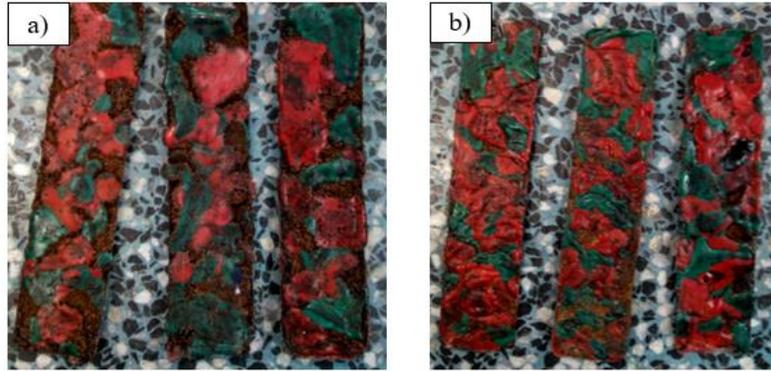
Como se mencionó anteriormente, la elaboración de los biocompositos se hizo en tres composiciones distintas, 70/30, 80/20 y 90/10, cada una hecha con cáscara con y sin tratamiento, como se muestra en las figuras 19 y 20.

Figura 20. Biocompositos sin cáscara tratada. a) 70/30. b) 80/20. c) 90/10



Autor, 2019

Figura 21. Biocompositos con cáscara tratada. a) 70/30. b) 90/10



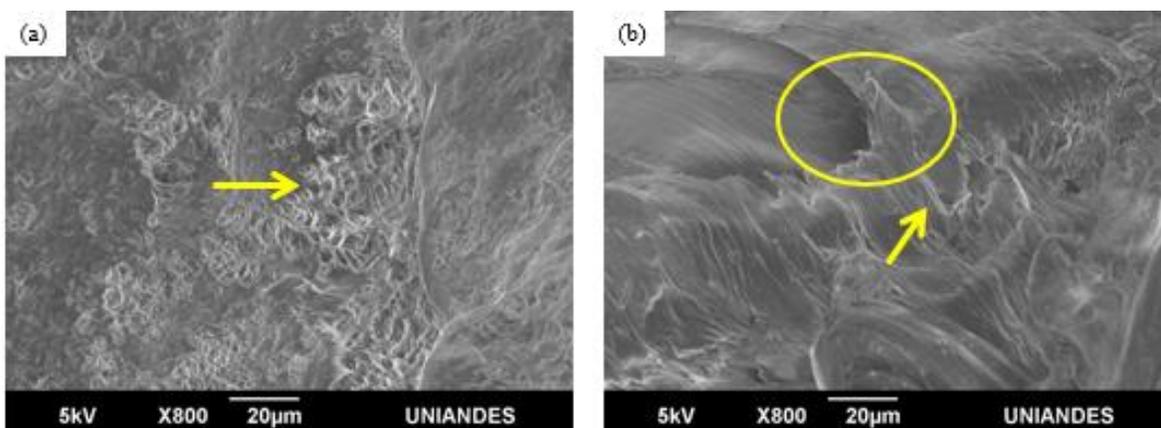
Autor, 2019

Adhesión Interfacial.

La prueba de adhesión interfacial se hizo mediante la técnica microscópica electrónica de barrido. Ésta técnica permite analizar características de los materiales como su morfología, estructura y composición. Funciona bajo la respuesta hacia un haz de electrones que chocan con la superficie de una muestra, recubierta en este caso con oro, que al impacto generan una señal de electrones retrodispersados y secundarios los cuales son detectados por los dispositivos Everhart Thornley y Solid State Detector (SED) que capturan los electrones y los convierten en una señal digital interpretada por intensidad de color en una escala de grises, creando una imagen (Clavijo, 2013). En el presente proyecto se realizó el análisis del polipropileno, las fibras de cáscara de Cacao con y sin tratamiento, y las diferentes composiciones (90/10, 80/20, 70/30), como se muestra a continuación.

Por un lado, las microscopías del polipropileno revelaron que la técnica que se usó para la preparación de los moldes no fue la adecuada. Según las micrografías (ver figura 21), el polipropileno presentó porosidades (micrografía (a)) como lo indica la flecha, esto hace referencia a la presencia de aire en el momento de la compresión. Estas porosidades representan una debilidad no sólo en la matriz polimérica sino en el bicomposito, puesto que pueden ser un punto de inicio para la fracturación del material. Junto a esto, la microscopía (b) presenta estrías señalizadas con la flecha, que demuestran la presión que tuvo que ser aplicada para la elaboración de la probeta del 100% polipropileno. El círculo de la microscopía (b) muestra que el polipropileno reciclado que se usó estaba triturado en pequeñas partes, por ello se ve un hundimiento, lo que quiere decir no hubo una unificación total del polímero; esto se puede deber a la temperatura que se trabajó de 200 °C la cual no fue suficiente para alcanzar el estado vítreo del polímero.

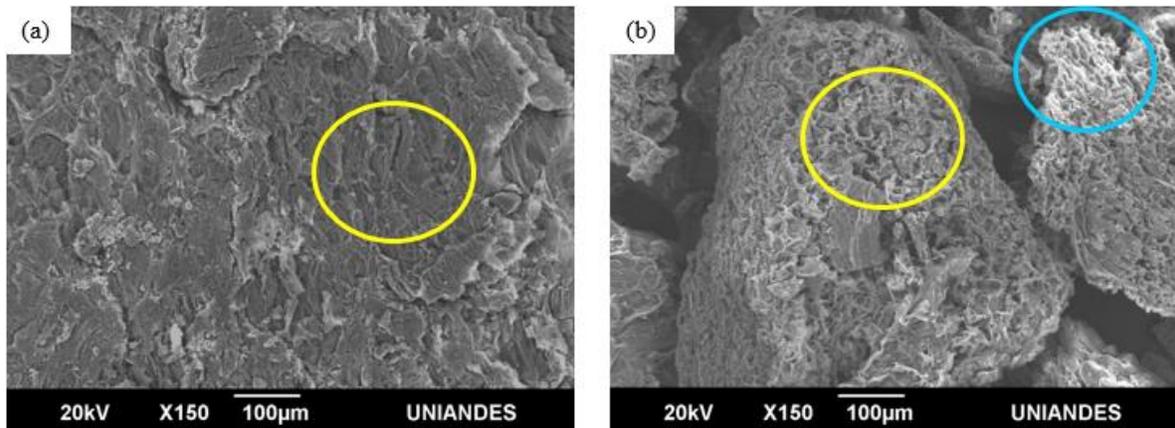
Figura 22. Micrografía del polipropileno



De la otra mano, se hizo microscopía electrónica de barrido sobre las fibras de cáscara tratada y sin tratar. Las micrografías a continuación muestran el cambio morfológico que se generó en la cáscara con la adición del SDS. La microscopía de la izquierda, (a), a una magnificación de x150, muestra la estructura de la cáscara en su estado natural. En ésta se puede evidenciar que el área superficial de ésta es pequeña, puesto que se ve una estructura rígida, homogénea y se presencia la dirección de las fibras lignocelulósicas, que como se mencionó anteriormente, brindan características resistentes a la cáscara. En adición, la microscopía (a) muestra que sin importar la molienda que se hizo a la cáscara las fibras conservaron su estructura y resistencia.

Por su parte, la microscopía a la derecha muestra la cáscara tratada a la misma magnificación. A simple vista es notorio el aumento de porosidad en la superficie, por ello se aprecia esa característica de esponja o florecimiento, esto se debe a la modificación estructural de la lignina, en decir, hubo separación de las fibras por la presencia del tenso activo SDS. Esta modificación y aumento de superficie representan la mejora en la adhesión de la fibra de la cáscara con la fibra polimérica, ya que hay una mayor área de adhesión. El círculo azul de ésta microscopía confirma la presencia de SDS puesto que la zona blanca que se puede observar es SDS residual del tratamiento hecho.

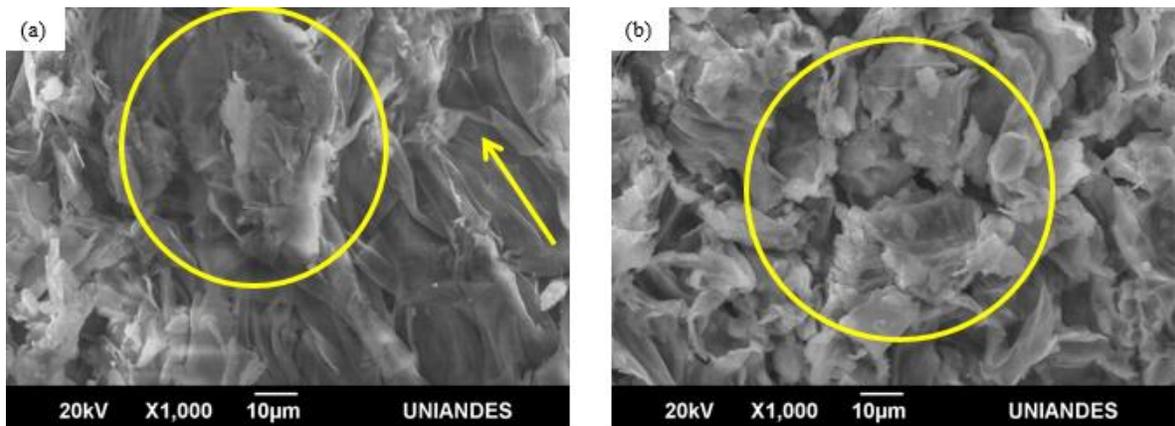
Figura 23. Micrografía cáscara de Cacao x150. a) sin tratamiento. b) con tratamiento



Autor, 2019

Viendo a mayor detalle las fibras de la cáscara, las microscopías (a) y (b) a continuación se encuentran a una magnificación x1000. En la microscopía (a) el círculo enmarca la unión de las fibras lignocelulósicas, como se puede ver, las fibras tienen una uniformidad en su estructura y además la presencia de los enlaces resistentes, puesto que no hay espacios entre sí. La flecha de esta microscopía muestra la dirección de los enlaces que a su vez muestra la acomodación de las fibras que llevan a la curvatura de la cáscara. En contraste con la anterior, la microscopía (b) reafirma la ruptura de las fibras de lignina por dos causas, la primera, la adición y adhesión del reactivo SDS y la segunda, de carácter mecánico fue la molienda que se realizó a la cáscara hasta tener polvillo. La ruptura de estas fibras se ve demostrada mediante la falta de orden en la organización y dirección de las fibras en comparación con la microscopía (a). Gracias a lo anterior, se infiere que los biocompositos elaborados con la cáscara tratada tendrán una mejor adhesión interfacial ya que hay una mayor área para la adhesión.

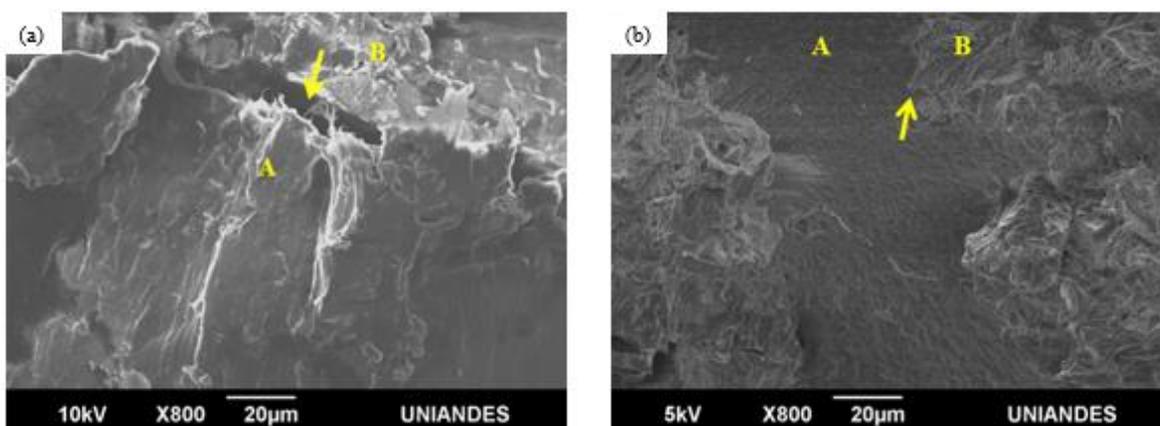
Figura 24. Micrografía cáscara de Cacao x1000. a) sin tratamiento. b) con tratamiento



Autor, 2019

Teniendo en cuenta lo anterior, se analizó la adhesión interfacial en las diferentes composiciones realizadas. En primera instancia, la adhesión en la composición 90/10 de polipropileno y cáscara respectivamente, mostró variación entre la cáscara con y sin tratamiento. Las micrografías a continuación fueron tomadas a una magnificación de x800 y una escala de 20 μm . En la micrografía de la derecha se encuentra la adhesión, señalizada con la flecha, entre el polipropileno (A) y la cáscara de Cacao sin tratamiento previo (B). Como se puede observar no hay una unión homogénea entre las fibras, el espacio de adhesión, que siguiendo la escala de la micrografía es de alrededor de 10 o 15 μm . Éste espacio evidencia las características polares y apolares de ambas fibras, haciendo que se dificulte más la adhesión. En comparación con la micrografía continua, la flecha indica la adhesión entre el polipropileno (A) y la cáscara tratada (B). Es evidente que ya no existe el espacio de interface como en la micrografía (a), esto se debe a la presencia del SDS, ya que como se ha mencionado anteriormente, el SDS modifica la estructura de la cáscara aumentando su área superficial, posibilitando y mejorando su adhesión a matrices hidrofóbicas, como lo es el polipropileno.

Figura 25. Micrografía biocomposito composición 90/10. a) sin tratamiento. b) con tratamiento

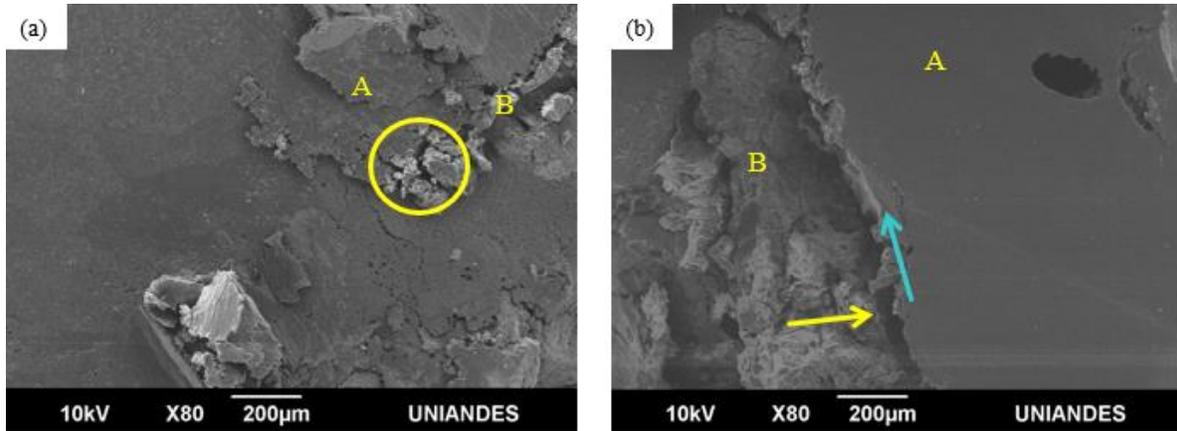


Autor, 2019

La segunda composición realizada fue de 80/20. Las microscopías tomadas a una magnitud de x80 reafirman la mejoría en la adhesión con el uso de la cáscara tratada. En la microscopía de la derecha, es decir, del bicompuesto con cáscara sin pretratamiento, el círculo señala el espacio de adhesión entre el polipropileno y la cáscara, como también se puede ver en la composición 90/10, este espacio significa la mala interface que hay entre ambas matrices, éste espacio puede presentar zonas de fácil fractura puesto que la adhesión no es completa. De otra parte, la microscopía (b) presenta una fractura del polipropileno (A), esta fractura está situada perpendicular a la dirección de las fibras, indicada por la flecha amarilla, esto representa el refuerzo que tiene la adición de la cáscara tratada en el biocomposito a las propiedades mecánicas del polipropileno. Cuando la fractura es perpendicular a la dirección de las fibras, se demuestra que las fibras impiden que haya una ruptura completa del biocomposito, haciendo que se mejoren sus propiedades mecánicas.

Agregado a lo anterior el polipropileno de la microscopía (b) muestra una mayor uniformidad y regularidad en comparación de la microscopía (a), donde hay pequeños desniveles.

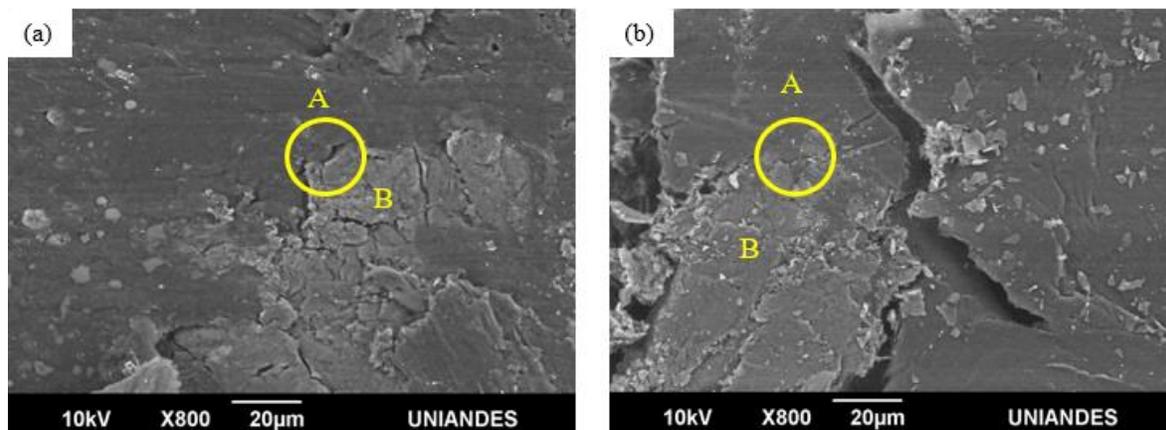
Figura 26. Micrografía biocomposito composición 80/20 x80. a) sin tratamiento. b) con tratamiento



Autor, 2019

A continuación las micrografías tomadas fueron bajo una magnitud de x800 sobre la misma composición (80/20), en las que se ve con mayor detalle la adhesión interfacial. El biocompuesto de la micrografía (a), es decir, con cáscara sin tratamiento muestra el espacio de interface entre el polipropileno (A) y la cáscara (B) que se ha mencionado previamente, derivando a problemas de unión entre las matrices. Mientras que en la microscopía (b) no existe ese espacio de interface, dando a inferir el correcto funcionamiento del SDS. Junto a esto, ambas micrografías evidencian la rugosidad del polipropileno derivado de la técnica usada para la elaboración del material y el uso de polipropileno triturado.

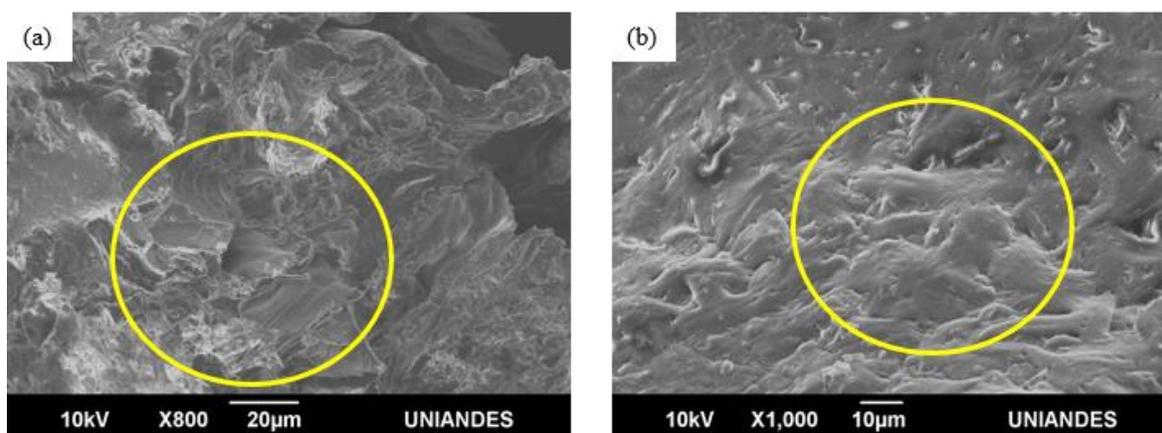
Figura 27. Micrografía biocomposito composición 80/20 x800. a) sin tratamiento. b) con tratamiento



Autor, 2019

Por último se encuentra la composición 70/30, la cual tiene mayor contenido de cáscara. Las microscopías revelan una diferencia en la homogeneidad de las fibras, la microscopía a la derecha se muestra un desprendimiento de la fibra natural dejando el polímero con hundimientos, deformidades y valles, indicados por el círculo amarillo, lo que representa la falta de adhesión de la fibra al polímero. En contraste la microscopía a la izquierda muestra fibras de cáscara cubiertas con el polímero de manera uniforme. Ésta uniformidad significa la eficacia en la interacción interfacial de las fibras, por la adhesión del tenso activo, a pesar de la estar cubriendo la fibra natural.

Figura 28. Micrografía biocomposito composición 70/30. a) sin tratamiento. b) con tratamiento



Autor, 2019

Teniendo en cuenta los resultados mencionados, se determinó que el mejor comportamiento de la cáscara sin importar su masa en el biocomposito, fue la cáscara tratada con SDS. Como se pudo evidenciar ésta cáscara presentó una mejor interacción interfacial con el polipropileno, creando una ausencia de espacio entre las fibras, lo que representa una ventaja para las propiedades del polipropileno. En cuanto a las composiciones, las 90/10 y 80/20, fueron las que presentaron una mejor adhesión, ya que la 70/30 tuvo desprendimiento de fibra debido al método de preparación y elaboración del biocomposito. Cabe resaltar que la composición 70/30 tenía una mayor cantidad de cáscara tamizada, lo que hacía que ocupara mayor volumen en comparación con la proporción de polipropileno. Entre las composiciones 90/10 y 80/20, el comportamiento fue similar, sin embargo la proporción 80/20 tuvo una mejor técnica de moldeo y preparación, evidenciado en la uniformidad del polipropileno. Además la proporción 80/20 demostró la dirección perpendicular entre la cáscara y el polipropileno, posiblemente causado por un mayor contenido de cáscara comparado con la proporción 90/30.

Éste análisis es necesario puesto que se trabajó con fibras que difieren en características, como lo es su polaridad, por esto se hace importante un análisis micrográfico que permita conocer más a fondo si el material elaborado tiene futuro o no dentro del sector de la construcción, un sector que requiere de materiales resistentes y compactos. Por ello, la microscopía electrónica de barrido es una técnica que permite conocer la adhesión interfacial de los bicompositos y la morfología y estructura de las fibras utilizadas, características que dan una aproximación a lo que será la función y desarrollo del material elaborado.

Por una parte, el análisis de las fibras escogidas para el presente proyecto, puede dar una aproximación a lo que será el comportamiento de estas al unir las, principalmente el comportamiento de la cáscara de Cacao tratada y sin tratar, donde se observó un cambio en su morfología y estructura con la adhesión del tenso activo SDS, primordialmente en el aumento de área superficial y la ruptura de las fibras lignocelulósicas. Ésta características observadas llevaron al análisis de los biocompositos para conocer el comportamiento de la unión entre la cáscara con y sin tratamiento con la matriz de polipropileno. Éste análisis a pesar de ser micro y permitir conocer cómo fue la adhesión interfacial entre las matrices, brinda información acerca del comportamiento que pueden llegar a tener a un nivel macro los biocompositos, puesto que como se mencionó al haber una buena interface de adhesión se está aportando una mejoría a propiedades mecánicas de la matriz polimérica como lo es la resistencia.

Ahora bien, las investigaciones existentes frente a la elaboración de biocompuestos de cáscara de Cacao y polipropileno y su respectiva caracterización, son reducidas. La principal fuente de estos biocompositos y su estudio son Koay Seong Chun y Salmah Husseinsyah; el primero de la escuela de ingeniería de la Universidad Taylor y el segundo de la división de ingeniería de polímeros de la Universidad Malaysia Perlis. En sus artículos se encuentra el análisis de los biocompositos, compuesto por polipropileno y cáscara tratada con diferentes tenso activos. Los autores entre las caracterizaciones de los biocompositos, hacen un análisis morfológico que les permite conocer el comportamiento del polímero y a fibra natural con y sin tratamiento.

Entre sus artículos se encuentra “*Influece of Methacrylic Acid Modification on Tensile Properties of Polpropylene/Cocoa Pod Husk Biocomposites*”, en el que hubo una modificación de la cáscara con ácido metacrílico. Su análisis morfológico se basó en el análisis del comportamiento de la cáscara con y sin tratamiento en el biocomposito mediante la técnica de microscopía electrónica de barrido. Sus micrografías mostraron que la cáscara sin tratamiento tiene una baja dispersión en la matriz polimérica, además se evidenciaron partículas desprendidas que indican una baja adhesión interfacial. En contraste, la micrografía que detalla la cáscara tratada y el polipropileno muestra una mejor dispersión y unificación entre las fibras y la matriz sintética. Llegando a la conclusión que el mejor comportamiento y adhesión fue por parte de la cáscara de cacao tratada con ácido metacrílico. (Seong, Husseinsyah, & Osman, 2015)

En un segundo artículo se trata la cáscara de cacao con polipropileno maleado (MAPP), el cual tiene un grupo anhídrido maleico actúa con la estructura de la cáscara. Los resultados morfológicos de éste estudio arrojaron una aglomeración y baja dispersión de la cáscara sin tratamiento sobre la matriz polimérica debido a las características polares de cada una de las fibras, ésta baja adhesión lleva a la presencia de partícula desprendidas que pueden ser causantes de fracturas en el biocomposito. De la otra mano, las micrografías de la cáscara tratada con MAPP muestran una mejor adhesión interfacial entre las fibras naturales y sintéticas, comprobando que la adición del MAPP mejora la interacción interfacial de las fibras. (Seong, Husseinsyah, & Osman, 2015)

Un último artículo estudia el efecto de los tenso activos dodecil sulfato sódico (SDS) y mercaptopropiltrimetoxisilano (MPS). La microscopía de la cáscara sin tratamiento demostró que se crean aglomeraciones dentro de la matriz polimérica, mientras que la micrografía de

la cáscara tratada con ambos tenso activos, muestra una mejor dispersión y carencia de espacios entre la cáscara y el polipropileno. Sin embargo, no se establece la diferencia entre SDS y el MPS en cuanto a la mejoría en la adhesión de la cáscara (Seong & Husseinsyah, 2016). Teniendo en cuenta los resultados obtenidos entre el presente proyecto y los artículos de Seong y Husseinsyah son similares. En ambos se encontraron espacios entre la cáscara sin tratamiento y el polipropileno, haciendo que haya una menor resistencia en el biocomposito. Contrario a esto, la adición del tensoactivo presentó una mejoría en la interacción interfacial entre el polímero y la cáscara, tal como se presencié en el presente proyecto.

Porcentaje de Absorción de Agua.

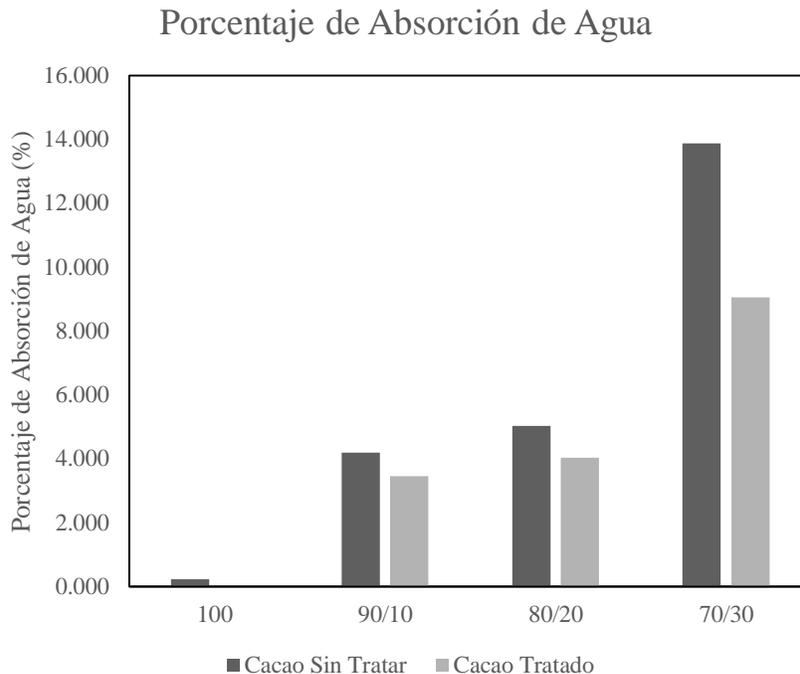
La absorción de agua por parte de los biocompositos elaborados sin el pretratamiento previo, resultan tener una mayor absorción de agua puesto que el cacao absorbe las moléculas de agua gracias sus propiedades hidrofílicas. Como lo indica la tabla 9, el porcentaje de absorción de los bicompositos con el Cacao tratado disminuye, puesto que el tratamiento con SDS hace que éste tenga cadenas alifáticas que reducen las propiedades hidrofílicas de la cáscara de Cacao (Chun & Husseinsyah, 2016). Junto a ello, la tabla evidencia que a medida que aumenta el contenido de Cacao, aumenta el porcentaje de absorción del biocomposito, principalmente en aquellos que donde el Cacao no tuvo un tratamiento previo.

Tabla 9. Porcentaje de absorción del biocomposito

Concentración (p/p)%	Porcentaje de Absorción de Agua (%)	
	Cacao Sin Tratar	Cacao Tratado
100	0.226	-
90/10	4.191	3.461
80/20	5.038	4.039
70/30	13.869	9.059

Autor, 2019

Figura 29. Porcentaje de absorción de agua según composición



Autor, 2019

Dentro de las investigaciones realizadas por Chun y Husseinayah, se encuentran dos artículos del 2016 donde se evalúa la absorción de agua de los biocompuestos a partir de la cáscara de Cacao y el polipropileno, pero con diferentes agentes de adhesión. Para el primer artículo se usó como agente copulante el aceite usado (GCA por sus siglas en inglés) que fue previamente tratado en laboratorio. Entre la caracterización hecha sobre estos biocompositos se encuentra la absorción de agua, según los resultados obtenidos, los biocompuestos con el Cacao tratado con GCA presentó una absorción menor en comparación con los biocompuestos con el Cacao sin tratamiento. La incorporación del GCA representa una capa de ácidos grasos sobre el Cacao que lo impermeabilizan reduciendo su capacidad hidrofílica. Similar a los resultados obtenidos en esta investigación, el estudio demuestra que a mayor contenido de Cacao, mayor será el porcentaje de absorción, a pesar de la presencia del agente de adhesión. (Seong, Husseinayah, & Yeng, 2016)

En un segundo estudio de los mismos investigadores, los agente de adhesión usados fueron el 3-mercaptopropiltrimetoxisilano (MPS) y dodecil sulfato sódico (SDS). Sus resultados fueron similares al estudio previamente mencionado, donde los biocompuestos tratados tuvieron una absorción menor con respecto a los no tratados, así como el aumento de absorción a medida que aumenta la masa de la cáscara de cacao. Sin embargo, al usar dos tipos de agentes de adhesión, el SDS presentó un menor porcentaje de absorción en comparación con el cacao tratado con MPS, indicando que el SDS tiene una mejor eficiencia en la prevención de la difusión de moléculas de agua en el cacao debido a la presencia de cadenas de carbono más largas (Seong & Husseinayah, 2016). Similar a los resultados obtenidos por los autores, el presente proyecto presentó una menor absorción de agua en los

biocompositos elaborados con cáscara tratada. A pesar de ello y con corde a los autores, a medida que aumenta la proporción de cáscara, aumenta el porcentaje de absorción de agua.

Conocer el porcentaje de absorción es importante puesto que representa una de las características una de las propiedades de durabilidad, característico de los materiales de construcción (BREEAM, 2016). En conjunto, las condiciones meteorológicas como precipitación y humedad son condiciones que deben ser consideradas, ya que el material está diseñado para una zona geográfica tropical. Al tener una baja absorción de agua, el material puede ser duradero y soportar las condiciones meteorológicas mencionadas, principales causantes de la degradación de los materiales de construcción. Es importante mencionar que con la presencia de una fibra natural, que presenta propiedades hidrofílicas, la absorción de agua se hace una característica de suma importancia, ya que la fibra puede llegar a absorber agua y degradar el biocompositos.

Objetivo 3: Relacionar las propiedades obtenidas del biocomposito con los criterios de sostenibilidad en materiales de construcción.

Certificaciones en construcción sostenible.

A nivel mundial existen diferentes tipos de certificaciones en construcción sostenible, entre estos se encuentra BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method). Creado por el Building Research Establishment Group (Bre) en el Reino Unido, es el primer método de evaluación de sostenibilidad durante las etapas de diseño, construcción y mantenimiento de las edificaciones a nivel mundial, introducido al mercado en 1990. El alcance de la certificación es la mitigación de los impactos ambientales durante el ciclo de vida de las edificaciones, obtener un reconocimiento mundial por los beneficios ambientales de las edificaciones sostenibles y estimular la demanda y generar valor sobre estas mismas, además de materiales y cadenas de suministro sostenibles. El sistema de evaluación BREEAM está diseñado para diferentes proyectos de construcción como lo son nuevas construcciones, edificaciones en uso, remodelación de edificaciones y comunidades, ésta última, encaminada a la creación de vecindarios, variando según el tipo de edificación. En cuanto a nuevas construcciones, que son de importancia para el presente proyecto, BREEAM abarca el sector residencial, comercial, educacional, instituciones residenciales y hotelería. (Rezaallah & Afghani, 2012)

La certificación trabaja con un sistema de puntaje de 112 puntos que representan el 110% divididos en diez categorías de evaluación, los cuales son: Gestión (12%), Salud y Bienestar (14%), Energía (19%), Peligros (1%), Transporte (8%), Agua (6%), Materiales (12,5%), Residuos (7,5%), Uso del Suelo y Ecología (10%), Polución (10%) e Innovación (10%). Dentro de cada categoría de encuentran los criterios de evaluación para completar un total de 76 criterios, los cuales varían su puntaje según el tipo de edificación. Sin embargo, BREEAM califica según el alcance porcentual de la evaluación. Para clasificar a la certificación se necesita alcanzar un mínimo del 30% sobre el total, a medida que va aumentando el porcentaje se obtiene una mejor calificación, es decir, buena (>45%), muy buena (>55%), excelente (>70%) y excepcional (>85%). (BREEAM, BREEAM International New Construction 2016, 2016).

Para poder ser certificado, BREEAM, cuenta con un grupo de asesores capacitados y entrenados en los criterios de evaluación, que en conjunto con el equipo de diseño y construcción, califican las diferentes categorías de la edificación. Teniendo el puntaje final, el reporte pasa a una evaluación final por parte de Bre quienes otorgan la certificación. Para el cálculo es necesario revisar primero los requisitos de cada categoría, los cuales no tienen valor, pero importan para continuar con el proceso de evaluación. Una vez calificados los criterios de una categoría se debe hallar el aporte porcentual de la categoría al porcentaje total de la evaluación, éste porcentaje debe estar redondeado a dos unidades decimales, mientras que el porcentaje total obtenido luego de la evaluación debe ser promediado a un número entero (Rezaallah & Afghani, 2012). A continuación se presentan los criterios de evaluación de materiales según la certificación, ésta categoría busca reducir los impactos de los materiales de construcción en etapas de diseño, construcción, mantenimiento y reparación. Sumado a lo anterior, se busca la elección de materiales responsables y de bajo impacto ambiental durante su extracción, procesamiento, manufactura y reciclaje (BREEAM, BREEAM International New Construction 2016, 2016). Cabe mencionar que se muestra esta categoría únicamente puesto que es de interés para la presente investigación.

Tabla 10. *Matriz Evaluación de Materiales, Certificación BREEAM*

Materiales		Puntaje
Criterio	Impactos del ciclo de vida	6
Criterio	Abastecimiento responsable de materiales	4
Criterio	Diseño de durabilidad y resiliencia	1
Criterio	Eficiencia del material	1
Total		12

(BREEAM, 2016)

De la otra mano se encuentra el sistema de certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design, por sus siglas en inglés), creado en Estados Unidos por la USGBC (U.S. Green Building Council). Así como BREEAM, tiene como fin hacer de las construcciones más sostenibles, mediante la mejora de las edificaciones durante todo su ciclo de vida, pasando por el diseño, construcción, operación y mantenimiento. Dentro de sus objetivos se encuentra reducir el aporte al cambio climático de sector de la construcción, mejorar la salud humana, proteger y restaurar los recursos hídricos, proteger la biodiversidad y servicios ecosistémicos, promover el uso de materiales sostenibles y regenerativos, construir una economía verde y mejorar la calidad de vida de la comunidad (USGBC, 2019).

LEED se basa en un sistema de puntaje repartido en ocho áreas: Localización y Transporte, Sitios Sustentables, Uso de Agua, Energía y Atmósfera, Materiales y Recursos y Calidad Ambiental Interior, Innovación y Prioridad Regional. Cada una de estas categorías cuentan con criterios y su respectivo puntaje, para un total de 110 puntos, el valor de cada criterio puede variar según el tipo de edificación a evaluar, sin embargo el total de puntos no varía. Esta certificación está dividida en cuatro niveles según el puntaje obtenido: Certificado (40 a 49 puntos), Plata (50-59 puntos), Oro (60-79 puntos) y Platinum (mayor a 80 puntos). (USGBC, 2009)

Como se mencionó previamente una de las categorías del sistema LEED es Materiales y Recursos. Para su calificación se tienen en cuenta la siguiente matriz (ver tabla 11) con sus

respectivos puntajes para proyectos de diseño y construcción. Cabe resaltar que el puntaje varía según el tipo y etapa de la edificación.

Tabla 11. Matriz de Evaluación de Materiales, Certificación LEED

Materiales y Recursos		Puntaje
Requisito	Almacenamiento y recolección de reciclables	-
Requisito	Planificación de la gestión de desechos de construcción y demolición	-
Criterio	Reducción del impacto del ciclo de vida del edificio	5
Criterio	Divulgación y optimización de productos de construcción: declaraciones de productos ambientales	2
Criterio	Divulgación y optimización de productos de construcción: obtención de materia prima	2
Criterio	Divulgación y optimización de productos de construcción: ingredientes de los materiales	2
Criterio	Planificación de desechos de construcción y demolición	2
Total		13

(USGBC, 2019)

A pesar de ser BREEAM y LEED certificaciones en construcción sostenible, su metodología las puede diferenciar. En primera instancia se encuentra el método de punteo, LEED trabaja bajo un total de 110 puntos, mientras que BREEAM trabaja bajo un sistema porcentual en el que cada categoría tiene un peso porcentual sobre el total, sin embargo, en LEED se puede obtener el peso porcentual de cada categoría. Conjuntamente, ambas certificaciones trabajan con categorías similares, a pesar de ello, el peso de cada una sobre el total de evaluación varía. Tal es el caso de las categorías de Energía y Agua, donde tienen un mayor puntaje en LEED, mientras que para BREEAM prima la gestión, los materiales y la salud y bienestar. No obstante, la mayor diferencia entre estas certificaciones es la presencia de asesores o expertos capacitados. Si bien LEED tiene especialistas que pueden ayudar a mejorar y tener control sobre la evaluación de las edificaciones, su presencia en la evaluación no es obligatoria. A diferencia de lo anterior, BREEAM hace de la asistencia de éstos expertos sea de manera obligatoria para la evaluación de la edificación desde la etapa de diseño y construcción. (Menting, 2016)

Matrices de Evaluación del Material Elaborado.

Para la evaluación según los criterios de la categoría “materiales” de cada uno de los certificados mencionados, primero se tienen en cuenta las características físico-mecánicas obtenidas. Gracias a la adhesión interfacial, su porcentaje de absorción de agua y su resistencia obtenida, se decide trabajar con el biocomposito en proporciones 80/20 con cáscara tratada.

A continuación se presentan las matrices de evaluación modificadas según los criterios que aplican al material elaborado. En la tabla 12, se observa la matriz BREEAM, de los cuatro criterios que se aplican en ésta categoría se elimina el impacto del ciclo de vida del material, puesto que es un criterio que requiere un análisis de mayor profundidad. Los criterios que se evalúan son “abastecimiento responsable de materiales” de un puntaje de cuatro, “diseño de durabilidad y resiliencia” de un punto y “eficiencia del material” de un

punto, con un acumulado de seis puntos. Los puntos ya fueron establecidos por la guía en nuevas construcciones internacionales de BREEAM .

Tabla 12. *Matriz de evaluación del material elaborado. Certificación BREEAM*

Materiales		Puntos Disponibles	Puntos Obtenidos
Criterio	Abastecimiento responsable de materiales	4	
Criterio	Diseño de durabilidad y resiliencia	1	
Criterio	Eficiencia del material	1	
Total		6	

Autor, 2019

Por otro lado, para la matriz LEED, se descartan el requisito de planificación y gestión de residuos y almacenamiento y recolección de reciclables, puesto en el presente proyecto no habrá gestión de residuos de construcción y demolición, al igual que no se contempla la recolección de materiales reciclables resultantes de los residuos de construcción y demolición. Similar al criterio de los impactos ambientales durante el ciclo de vida del material en BREEAM, no se tomará en cuenta puesto que se requiere un mayor análisis. Por último el criterio de la planificación de residuos de construcción y demolición no se tomará en cuenta puesto que el material está elaborado de residuos del sector agrícola y la industria polimérica.

Tabla 13. *Matriz de evaluación del material elaborado. Certificación LEED*

Materiales y Recursos		Puntos Disponibles	Puntos Obtenidos
Criterio	Divulgación y optimización de productos de construcción: declaraciones de productos ambientales	2	
Criterio	Divulgación y optimización de productos de construcción: obtención de materia prima	2	
Criterio	Divulgación y optimización de productos de construcción: ingredientes de los materiales	2	
Total		6	

Autor, 2019

Evaluación del Material Elaborado.

A continuación se presenta la evaluación por cada criterio según se respectiva matriz. Para el desarrollo de ésta, se tuvieron en cuenta las guías de calificación de cada uno de los certificados BREEAM y LEED. El material evaluado fue de la proporción 80/20 con cáscara tratada, debido a la adhesión interfacial que presentó, al igual que su resistencia y absorción de agua.

Matriz BREEAM.

El primer criterio “Abastecimiento responsable de materiales” busca reconocer que el origen de los materiales sea responsable, es decir que durante su proceso de extracción y elaboración se haya cumplido con lo establecido legalmente, además de tener una reducción de los impactos ambientales generales en comparación con las actividades convencionales.

La guía BREEAM brinda una serie de pasos que derivan en la puntuación de éste criterio, en primera instancia se debe establecer el uso y locación del material, para éste, se destina el material elaborado en la categoría estructural primario o secundario gracias a sus características de resistencia (BREEAM, 2016). El siguiente paso está en reconocer si la materia prima del material se encuentra dentro del Esquema de Certificación de Abastecimiento Responsable, revisando la tabla de categorización se encaja la materia prima en “Productos cuyo contenido es 100% reciclado” (BREEAM, 2018). Se opta por esta categoría puesto que se encuentra la cáscara de Cacao que como se ha demostrado es un residuo inmediato del beneficio del Cacao; junto a éste, el polipropileno utilizado en el biocomposito proviene de los residuos generados por los habitantes del casco urbano de San Vicente de Chucurí.

La siguiente tabla representa el puntaje otorgado según el porcentaje de materiales responsables dentro de una construcción o materia prima de los materiales.

Tabla 14. *Porcentaje de Materiales Responsables en una Construcción*

% Abastecimiento de materiales responsables	Puntaje
>45	4
>36	3
>20	2
>10	1

(BREEAM, 2018)

Teniendo en cuenta la tabla y la obtención de la materia prima para el biocomposito, se califica éste criterio con 4 puntos. Ya que como se explicó anteriormente, la materia prima de los biocompositos es cáscara de Cacao y polipropileno residual.

El segundo criterio a evaluar, “Diseño de Durabilidad y Resiliencia”, promueve el uso de materiales óptimos, que tengan una mínima frecuencia de reemplazo y de alta durabilidad. Estos materiales deben resistir efectos de degradación como lo son la corrosión, hinchazón o contracción, decoloración, putrefacción, lixiviación, derretimiento, cristalización o abrasión. Además se deben tener en cuenta factores meteorológicos: radiación solar, temperatura, humedad, velocidad del viento y precipitación; biológicos: Vegetación y plagas (roedores o insectos); y contaminantes presentes en la atmósfera y en el componente suelo. (BREEAM, 2016)

Según lo anterior se le otorga un punto a éste criterio, entre las razones de ésta puntuación se encuentran las pruebas de degradación y durabilidad. En el presente proyecto se evaluó la hinchazón del material, donde se obtuvo un resultado óptimo ya que las probetas con cáscara tratada de proporción 80/20 fueron en promedio del 4%. La presencia de fibras naturales hace que el biocomposito absorba la humedad del ambiente, llevando a un aumento de la degradación del material tanto química como enzimática (Castellón, Tejeda, & Tejeda, 2016). Ésta característica es de las de mayor importancia en los materiales de construcción, puesto que el agua es uno de los agentes causantes de la degradación de los materiales. El agua tiene la facilidad de penetrar los poros y grietas de los materiales, causando un aumento de volumen. En conjunto, el agua puede contener sales, causantes del aumento de porosidad, y ácidos, generando la corrosión del material (Ariza, 2012). Al tener la degradación y la

durabilidad una relación indirectamente proporcional, se asume que a menor absorción de agua habrá un menor porcentaje de degradación y por consecuencia la durabilidad del material es mayor.

El último criterio a evaluar es la eficiencia del material, en este se busca la optimización de la eficiencia del material donde se vean reducidos los impactos ambientales de éste mismo. Para esto es necesario tener en cuenta las siguientes etapas para la conceptualización y elaboración o escogencia del material: Preparación, diseño conceptual, desarrollo, diseño técnico y construcción. Teniendo en cuenta las etapas mencionadas y las oportunidades y medidas para la elección de la materia prima del biocomposito, se puntúa este criterio con 1 punto.

En primera instancia se está trabajando con materiales 100% reciclados, materias primas que son considerados residuos para sus productores o consumidores. Por un lado se encuentra la cáscara de Cacao la cual representa el 76% en peso húmedo del fruto, lo que indica que por cada tonelada de Cacao producido se está generando diez toneladas de residuo de cáscara de Cacao (Seong, Husseinsyah, & Osman, 2014). Según la plataforma de datos abiertos del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), para el 2018 San Vicente tuvo una producción de 6.540 toneladas, lo que quiere decir que hubo una generación de cáscara como residuo de 65.400 toneladas (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2018). La segunda materia prima a trabajar es el polipropileno, el cual en el municipio de San Vicente para el año 2015, según el Plan de Gestión Integral de Residuos sólidos, el cual no ha sido actualizado para el presente año, se generaba en el municipio un total de 15 toneladas al mes de diferentes tipos de residuos poliméricos sintéticos. De estas 15 toneladas 9 son de pasta, es decir polipropileno (INCELCON, 2015).

Teniendo en cuenta la producción mensual de cáscara (5.450 ton/mes) y asumiendo los residuos del año 2015 de polipropileno (9 ton/mes), así como la proporción que mejor desempeño mostró durante la adhesión interfacial, resistencia a la compresión y absorción de agua, 80/20. Ahora bien, los bloques de hormigón macizos usados regularmente en la mampostería tienen una dimensión de 9 cm x 20 cm x 40 cm, y un peso promedio de 14 kg (EIROS, 2012). Según el peso mencionado y la proporción establecida para el material de construcción sostenible, se necesitan 11.2 kg de polipropileno y 2.8 kg de cáscara de cacao tratada, quiere decir que al mes se requiere de 1.946 ton de cáscara y 0,80 ton de PP al mes para la elaboración de bloques de PP/cáscara, equivaliendo a 139 unidades. Queriendo decir, que la generación de los residuos puede abastecer lo suficiente la elaboración del material sostenible en San Vicente de Chucurí.

Tomando como base lo anterior, la eficiencia es notoria desde la etapa del diseño del material hasta su desarrollo, ya que el municipio cuenta con las condiciones necesarias para la elaboración del material. Cabe resaltar que se hace aún más eficiente el agregar el tenso activo SDS, puesto que mejora la capacidad de adhesión de la cáscara con el polipropileno. Además la absorción de agua presentada por el biocomposito es un componente más para considerar el material como eficiente.

A continuación se presenta la matriz de evaluación BREEAM con el puntaje establecido por cada criterio. Gracias su puntuación, según la matriz el material es considerable sostenible, puesto que cumple con todos los criterios. Sin embargo para mejorar sus

sostenibilidad o corroborar información, es recomendable conocer los impactos durante su ciclo de vida, y hacer un mayor número de pruebas para conocer a fondo sus propiedades mecánicas, al igual que hacer pruebas de degradación simulando las condiciones meteorológicas en San Vicente de Chucurí.

Tabla 15. Evaluación del Material. Certificación BREEAM

Materiales		Puntos Disponibles	Puntos Obtenidos	Porcentaje Disponible (%)	Porcentaje Obtenido (%)
Criterio	Abastecimiento responsable de materiales	4	4	66,67	66,67
Criterio	Diseño de durabilidad y resiliencia	1	1	16,67	16,67
Criterio	Eficiencia del material	1	1	16,67	16,67
Total		6	6	100	100

Autor, 2019

Matriz LEED.

El primer criterio LEED “Divulgación y optimización de productos de construcción: Declaraciones de productos ambientales” el cual pretende el uso de materiales cuyas declaraciones ambientales estén vigentes y se promueva la disminución de los impactos ecológicos, sociales y económicos durante el ciclo de vida del material (USGBC, 2019). Para esto, LEED otorga un punto de dos al escoger materiales que tengan un informe según norma ISO 14044:2006, correspondiente al análisis del ciclo de vida del material. En este informe se deben contemplar los impactos ambientales potenciales durante el ciclo de vida del material, pasando por etapas como la adquisición de la materia prima, producción, utilización, tratamiento final, reciclado y disposición final del material (ISO, 2006). El segundo punto se otorga si los proveedores demuestran la reducción de impactos del material sin necesidad de tener la certificación (USGBC, 2019).

En este proyecto las declaraciones ambientales durante el ciclo de vida del material no son contempladas, por razones que han sido previamente mencionadas, sin embargo es información que puede ser adquirida al hacer un análisis de ciclo de vida, por ello este criterio es calificado con un punto de dos. Puesto que sin haber hecho un análisis del ciclo de vida y sus impactos, el material tiene la posibilidad de aportar en la minimización de impactos ecológicos en las zonas cacaoteras gracias al aprovechamiento de la cáscara de cacao, que como se ha venido mencionando, pueden generar la propagación de vectores (Villamizar, Rodríguez, & León, 2017), enfermedades a los cultivos, la reducción en la calidad del componente suelo (Ramirez, Valencia, & Lara, 2017) y la afectación de la salud pública de las zonas cacaoteras (Acevedo & Cely, 2016).

En cuanto al aprovechamiento del polipropileno, también se hace un aporte indirecto en la reducción de impactos generados por los residuos poliméricos, entre estos el polipropileno. Entre las mayores preocupaciones por este tipo de residuos se encuentra su tiempo de degradación, la cual es lenta en comparación con la producción del mismo. Dando como resultado el impacto de mayor importancia, la contaminación de mares y océanos, esto se debe a la acumulación de residuos poliméricos en zonas del océano donde la velocidad del

viento y las corrientes oceánicas es nula o baja, creando la llamada “isla de plástico” en el océano pacífico entre Japón y California. La presencia de los polímeros en los mares, océanos, ríos y quebradas, representan un problema para los organismos acuáticos, causándoles muerte o lesiones. En conjunto, la fotodegradación que se da por la luz del sol, hace que los polímeros se desintegren en pequeñas partículas y entren a la cadena alimenticia de los organismos acuáticos, provocando intoxicación, muerte o daños en sus sistemas digestivos (Téllez, 2012).

El segundo criterio LEED, “Divulgación y optimización de productos de construcción: Obtención de materia prima”, promueve el uso de materiales cuya materia prima haya sido extraída de manera responsable. Aquí se tiene en cuenta el sitio de extracción de la materia, buen uso del espacio, el uso de materia provenientes de a agroindustria o materia 100% reciclada (USGBC, 2019). Teniendo en cuenta lo anterior se otorgan dos puntos a este criterio, por un lado se hace uso de un residuo agrícola que se genera durante el beneficio del Cacao, la segunda materia prima del biocomposito, es polipropileno 100% reciclado. Junto a esto, LEED promueve el uso de materia prima que sean de zonas aledañas al lugar de construcción, en un radio de 160 km, el cual permite la disminución de los impactos por transporte de las materias primas (USGBC, 2019).

El municipio de San Vicente de Chucurí para el 2018 contó con una extensión total de 17.019 hectáreas sembradas (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2018) de la extensión del municipio de 119.500 hectáreas (Acevedo & Cely, 2016). Y donde hubo una producción de 6.540 toneladas de Cacao, que se traduce a 65.400 toneladas de residuos de cáscara (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2018), haciendo que haya el suficiente abastecimiento de cáscara para la elaboración del material de construcción, el cual va destinado al mismo municipio. Por el lado del polipropileno como se mencionó anteriormente, para el 2015 se recogió 9 toneladas de residuo dentro del casco urbano (INCELCON, 2015). Teniendo en cuenta los datos presentados, se cumple con los requerimientos de éste criterio, principalmente en que no se supera la distancia recomendada por LEED y además son materias consideradas residuos para los agricultores y para la comunidad del casco urbano.

El último criterio de evaluación “Divulgación y optimización de producto de construcción: Ingredientes de los materiales”, busca promulgar el uso controlado o minimización de sustancias químicas, además de tener un bajo impacto ambiental. Se otorgan puntos cuando el uso es menor del 0.1% (1000 ppm) de sustancia química, además debe haber una declaración del impacto en la salud de las sustancia o cuando se demuestra la optimización de la sustancia (USGBC, 2019). La sustancia química empleada para el tratamiento de la cáscara de Cacao fue el dodecil sulfato sódico (SDS) al 4% en agua destilada, es decir 4 g de SDS en 100 mL de agua destilada, es decir 4000 ppm. Según la ficha de seguridad del SDS, éste tiene una toxicidad aguda por vía oral en inhalación, puede generar irritaciones cutáneas y puede presentar un peligro para los ecosistemas acuáticos (ROTH, 2015). Sin embargo, esta cantidad es si se asume la adhesión del 100% del tenso activo a la fibra. A pesar de ello, la realidad es distinta según Mittal (1981) la adhesión de los agentes tenso activos tienen un adhesión de hasta el 17%, el porcentaje restante se pierde al lavar la fibra y en su secado y tamizado (Mittal, 1981). Teniendo en cuenta lo anterior y asumiendo que hubo una fijación del 17%, el material elaborado tendría una concentración total de SDS de 680 ppm, otorgándole los 2 puntos para este criterio.

La siguiente tabla define los puntajes obtenidos por el material elaborado según cada criterio y su respectivo análisis. Obteniendo un total de cinco puntos sobre seis, el material es catalogado como sostenible, según la certificación LEED. Para mejorar su puntuación en el primer criterio es recomendable hacer un análisis del ciclo de vida no solo del material sino a su vez de las materias primas utilizadas, para así conocer el aporte que se hace al aprovechar estos dos residuos.

Tabla 16. *Evaluación del Material. Certificación LEED*

Materiales y Recursos		Puntos Disponibles	Puntos Obtenidos
Criterio	Divulgación y optimización de productos de construcción: declaraciones de productos ambientales	2	1
Criterio	Divulgación y optimización de productos de construcción: obtención de materia prima	2	2
Criterio	Divulgación y optimización de productos de construcción: ingredientes de los materiales	2	2
Total		6	5

Autor, 2019

Aplicación del Material en la Construcción Sostenible.

En la industria de la construcción, tradicionalmente se han usado materiales de origen pétreo o maderable para la construcción de infraestructuras, materiales cuyas propiedades mecánicas son de alta significancia para la calidad y durabilidad de las edificaciones. Sin embargo, el llamado a la sostenibilidad y sustentabilidad ha hecho que la industria opte por materiales innovadores o con una responsabilidad ambiental en su extracción, pero que así mismo tengan características similares a los materiales tradicionales, entre estas alternativas se encuentran los biocompositos. Estos materiales poliméricos reforzados son conocidos en la industria por tener propiedades como alta resistencia específica, rigidez, durabilidad, rendimiento óptimo, además su fabricación es versátil y en algunas ocasiones sus costos de producción y mantenimiento pueden ser bajos (Humphreys, 2003).

La aplicación que se le ha dado a los biocompositos en la industria va desde la rehabilitación y mejora de infraestructuras o en algunos casos, poco comunes, como estructura base para nuevas construcciones. En la rehabilitación y mejora se utiliza de estos compuestos como una capa protectora de la estructura base, normalmente se adiciona en forma de cables, placas o bloques, para que brinden un mayor soporte y resistencia a la estructura base de la infraestructura (Humphreys, 2003). Funciona creando una unión entre la estructura, que puede estar hecha a base de concreto, acero o madera, esta unión va en una dirección determinada para brindar el apoyo necesario a las estructuras. El biocompuesto proporciona una tensión a la estructura principal sin alterar la rigidez de ésta (Mossallam, 2007). Para nuevas construcciones, los biocompositos han sido empleados en distintos tipos de obras civiles, entre las cuales se encuentran: Techos, puentes peatonales y vehiculares, barandillas, sistemas de construcción, torres modulares de enfriamiento, plataformas industriales, torres de transmisión, estructuras marinas, entre otros (Humphreys, 2003). En edificaciones y viviendas los biocompositos son mayormente implementados como pisos, marcos de puertas y ventanas, muros o techos. (Uddin, 2013)

Teniendo en cuenta lo anterior, los biocompositos tienen una amplia aplicación en la industria de la construcción, sin embargo, el presente proyecto va encaminado hacia la construcción sostenible de viviendas de interés social. Entre los emprendimientos e innovaciones de viviendas de interés social se encuentra la construcción modular. Ésta se basa en la prefabricación de módulos, hechos generalmente de hormigón, acero o madera y que luego son montados según las características del propietario. Entre los beneficios de la construcción modular se encuentra la eficiencia en construcción puesto que se pueden construir viviendas en un corto plazo, economizando los procesos constructivos. Además al estar prefabricados los módulos se ahorra en la inversión de materiales añadidos a las construcciones, y además se reduce la generación de residuos por construcción (Puente, Espitia, & Andrés, 2018).

A parte de la versatilidad de la construcción modular, este método de construcción puede ser considerado sostenible puesto que mantiene un ciclo cerrado de los materiales usados, ya que hay un ciclo de reciclaje perdurable, evitando la generación de residuos de construcción y demolición. No obstante, no solo hay un uso de materiales reciclados provenientes de residuos de construcción o demolición, estos sistemas también hacen uso de materiales naturales como refuerzo a la materia prima principal. Entre estos se pueden encontrar fibras de cáñamo, corcho, madera o barro. En adición, dentro de las características de los módulos se encuentra su bajo peso, haciendo que se reduzca el uso de maquinaria pesada para su transporte, generando un aporte en la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero de la industria. Otra de las ventajas que presenta la construcción modular son sus bajos costos, principalmente por reciclaje de los materiales proveniente primordialmente de la industria de la construcción, además su bajo tiempo de ejecución haciendo más factible éste tipo de construcciones. (Fonseca, 2016)

Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente y las propiedades obtenidas por el material elaborado, se puede establecer una posible aplicación en los sistemas de construcción modular, haciendo que los proyectos de vivienda de interés social sean no solo un beneficio para la comunidad, brindando una vivienda digna, sino a su vez hace que éstos proyectos se encaminen cada vez más a la sustentabilidad y sostenibilidad. Como se ha venido mencionando, éste material está elaborado a partir de materia prima 100% reciclada, lo que hace que posiblemente se reduzca su costo de extracción y producción, reduciendo el costo del material, cumpliendo con uno de los factores primordiales en la elección de materiales para viviendas de interés social, el cual es bajo costo de éstos. Además al estar contemplado para viviendas en San Vicente de Chucurí, como se evidenció en la evaluación de la sostenibilidad del material, los costos de transporte se pueden ver significativamente reducidos.

XI. Conclusiones

De acuerdo con la visita técnica realizada, del beneficio de Cacao en San Vicente de Chucurí se genera una gran cantidad de residuos de cáscara, la cual no es aprovechada por los cacaoteros, además se evidenció una mala gestión de los residuos agrícolas en el municipio, puesto que no hay recolección de éstos. Por su parte, el municipio tampoco hace un aprovechamiento o genera un valor agregado sobre los residuos poliméricos generados en el casco urbano, optando por la venta del material reciclado a terceros. De los residuos poliméricos generados se encuentra el polipropileno, el cual no es aprovechado y posee propiedades resistentes, haciendo que se opte por esta matriz polimérica como segundo componente del biocomposito. En cuanto a viviendas de interés social, actualmente el municipio está ejecutando proyectos de construcción y rehabilitación de viviendas, sin embargo, no hay un acercamiento hacia la construcción sostenible de éstas.

Para el aprovechamiento de la cáscara de Cacao en la construcción sostenible, primero fue necesario su caracterización física y química, para conocer el material de trabajo. En primera instancia, el alto contenido de humedad obtenido (85%) en la cáscara puede ser debido a las características climáticas que se requieren para el crecimiento del *Theobroma cacao L.* en conjunto con las condiciones meteorológicas presentes en San Vicente de Chucurí, entre estas condiciones se encuéntrala humedad relativa, precipitación anual y temperatura media del municipio. En cuanto al contenido de azúcares reductores del 30% en masa, se evidencia una aproximación al alto contenido lignocelulósico, el cual le brinda características resistentes a la cáscara y por consecuencia al biocomposito. Por último el contenido de cenizas corresponde al material inorgánico presente en la cáscara, como sales o minerales, característica que permite conocer la proporción del contenido orgánico e inorgánico tanto de la cáscara como del biocomposito elaborado.

Al igual que la cáscara, la caracterización del biocomposito se hace necesaria puesto que permite conocer sus propiedades y así su aplicación en la construcción sostenible. Antes de esto, se realizó un pretratamiento a la cáscara con el tenso activo dodecil sulfato sódico (SDS), el cual le atribuye propiedades hidrofóbicas a la cáscara, mejorando la adhesión entre las fibras. Para corroborar la mejora de esta adhesión y compararla con la cáscara sin tratamiento previo se realizó la microscopía electrónica de barrido. En ésta se obtuvo que los biocompositos donde la cáscara tuvo el pretratamiento, hubo un aumento en su área superficial y una ruptura en las cadenas lignocelulósicas de la cáscara permitiendo una mejor interface con el polipropileno. Contrario a esto, en los biocompositos donde la cáscara no tuvo tratamiento, se observaron espacios de hasta 15 μm , espacios que pueden representar un punto de ruptura en el material. El porcentaje de absorción de agua presentada por los biocompositos con cáscara tratada fue menor en comparación con los elaborados con cáscara sin tratar, queriendo decir que la adición del SDS le brinda características hidrofóbicas a la cáscara haciendo que absorba un menor porcentaje de ésta. De las composiciones en masa de los biocompositos elaborados sienten el primer porcentaje polipropileno y el segundo cáscara, 70/30, 80/20, 90/10, las dos últimas composiciones presentaron mejor comportamiento tanto en adhesión como en absorción de agua, principalmente en aquellos en donde la cáscara fue tratada.

Por último, el material es considerado sostenible según la evaluación realizada con matrices de las certificaciones BREEAM y LEED en materiales de construcción. En la matriz BREEAM, el material alcanzó el 100% del puntaje establecido, mientras que en LEED logró 5 puntos de 6. Gran aporte a la sostenibilidad del material fue su elaboración a partir de materias primas 100% recicladas y su bajo uso de sustancias químicas. Así mismo, las distancias de transporte son bajas puesto que el material está planeado para su elaboración en el mismo municipio, reduciendo impactos en la emisión de gases de efecto invernadero por el uso de vehículos de carga. Teniendo en cuenta las propiedades del material y sus aplicaciones según la bibliografía, se determinó que el material puede ser aplicado en sistemas de construcción modulares de viviendas de interés social. Estos sistemas se caracterizan por la construcción de viviendas a partir de módulos previamente fabricados, por lo que el material se hace factible, al ser ligero y de fácil ensamble. Al estar prefabricados se facilita su ensamble, reduciendo costos en materiales y mano de obra, además de bajo costo del material por estar elaborado a partir de material 100% reciclado.

XII. Recomendaciones

- Es necesario hacer un diagnóstico de la sostenibilidad que se está realizando en el municipio de San Vicente de Chucurí, además el reconocimiento de las industrias a las que va dirigida dicha sostenibilidad.
- Para la optimización de la elaboración de los biocompositos, se recomienda primero el calentamiento de polipropileno bajo su temperatura vítrea (173 °C), para luego ser mezclado con la cáscara y por último verter la mezcla en la probeta.
- Debido a la presencia de aire en el proceso de moldeo de los biocompositos, se recomienda una metodología de compresión al vacío o inyección, que permita reducir la porosidad del material.
- En la caracterización física y química de la cáscara se recomienda hacer estudios más a fondo de la composición de la cáscara, donde se permita conocer la concentración de celulosa, lignina y pectina, principalmente, debido a que son componentes que brindan resistencia a la cáscara y por consecuencia al bicomposito.
- Se recomienda extender la caracterización física y mecánica del biocomposito, entre esta se encuentran análisis de degradación como lo son la corrosión y decoloración, y pruebas mecánicas como la torsión, resistencia, dureza y tensión.
- Para antes de hacer la evaluación de sostenibilidad del material, es recomendado realizar un análisis del ciclo de vida para conocer sus impactos desde su elaboración. Además se recomienda realizar este mismo análisis en la etapa de disposición del polipropileno y la cáscara de Cacao.
- Es recomendado realizar un estudio económico frente a la elaboración de los biocompositos para conocer su viabilidad económica.
- Debido a la aplicabilidad del material en construcción modular, es recomendado realizar un diseño de vivienda donde se contemplen factores como el clima, vientos, suelo, entre otros, y así conocer la factibilidad de ésta aplicación.

XIII. Bibliografía

- Acevedo, O., & Cely, D. M. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal San Vicente Somos Todos 2016 - 2019*. San Vicente de Chucurí: Consejo Municipal.
- Agricultura, M. d. (s.f.). *Misión y Visión*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2018, de Ministerio de Agricultura: <https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/quienes-somos/Paginas/Quienes-somos.aspx>
- Aguilar, J. (2012). *Métodos de Conservación de Alimentos*. México: Red Tercer Milenio.
- Álfaro, J. M., Limón, B., Martínez, G. Á., & Tijerina, G. (2014). *Ambiente y Sustentabilidad: Por una Educación Ambiental*. Mexico D.F: Grupo Editorial Patria.
- Ambiente, M. d. (06 de Junio de 2003). *Decreto 1505*. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Decretos/dec_1505_060603.pdf
- Andes, U. d. (s.f.). *Microscopía de Barrido de Electrones (MEB)*. Recuperado el 21 de Abril de 2019, de <https://investigaciones.uniandes.edu.co/microscopio-electronico-de-barrido-meb/>
- Andrare, M. Y. (2015). *Sistema constructivo modular con materiales alternativos que favorezca a la flexibilidad en la construcción de vivienda*. México D.F: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Ariza, M. J. (2012). *Absorción de Agua a Presión Atmosférica y por Capilaridad en Materiales Cerámicos de Construcción*. Almería: Universidad de Almería.
- ASTM. (2017). *ASTM E3: Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens*. Pennsylvania: ASTM.
- Badui, S. (2006). *Química de los Alimentos*. Naucalpan de Juárez: Pearson Education.
- Bernal, N., Mantilla, C. M., Rodríguez, L. G., & Peralta, Y. Y. (2014). *Aprovechamiento de la cáscara de cacao y su contenido de pectina en la preparación de mermeladas de tipo comercial*. Bucaramanga: Sena.
- BREEAM. (2016). *BREEAM International New Construction 2016*. Watford: Bre Global Ltd.
- BREEAM. (2018). *GN18: BREEAM Recognised Responsible Sourcing Certification Schemes and BREEAM Scheme Applicability V3.1*. Bre.
- Campos, R., Nieto, K., & Oomah, D. (2018). Cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husk: Renewable source of bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 172-184.
- Carrera, A. I. (2015). *Análisis y Desarrollo para la Fabricación de Bloques de Hormigón como Aislantes Térmicos Basados en la Biomasa de la Cascarilla de Cacao Aptp para Construcción de Edificaciones*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas.

- Castellón, C., Tejeda, L., & Tejeda, L. (2016). Evaluación de la degradación ambiental de bolsas plásticas biodegradables. *Informador Técnico*, 24-31.
- CCCS. (2016). *Consejo Colombiano de Construcción Sostenible*. Obtenido de <https://www.cccs.org.co/wp/acerca-del-cccs/>
- CEPAL. (2018). *Agenda 2030 y los Objetivos del Desarrollo Sostenible*. Santiago de Chile: Naciones Unidas .
- Chacón, A. K. (2013). *Desarrollo de un Aglomerado a Base de Residuo Orgánico de Cascarilla de Cacao y Bolsas Plásticas Recicladas*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Chile, I. d. (2009). *Procedimiento Determinación de Cenizas Totales en Alimentos. Método Gravimétrico*. Santiago de Chile: Gobierno de Chile.
- Chow, C. P., Xing, X. S., & Li, R. K. (2007). Moisture Absorption Studies of Sisal Fibre Reinforced Polypropylene Composites. *Composites Science and Technology*, 306-313.
- Clavijo, J. (2013). *Caracterización de materiales a través de medidas de microscopía electrónica de barrido (SEM)*. Bogotá: Universidad de América.
- Colombia, C. d. (1965). *Ley 31*. Bogotá: Congreso de Colombia.
- Colombia, C. d. (1990). *Ley 29*. Bogotá: Congreso de Colombia.
- Colombia, C. d. (1993). *Ley 101*. Bogotá: Congreso de Colombia.
- Colombia, C. d. (1993). *Ley 99* . Bogotá: Congreso de Colombia.
- Colombia, C. d. (1997). *Ley 388* . Bogotá: Congreso de Colombia.
- Colombia, C. d. (1997). *Ley 400*. Bogotá: Congreso de Colombia.
- Colombia, R. d. (1991). *Constitución Política de Colombia*. Bogotá: Corte Constitucional.
- Colombia, R. d. (18 de Febrero de 2015). *Decreto 0280*. Obtenido de <http://wp.presidencia.gov.co/sitios/normativa/decretos/2015/Decretos2015/DECRETO%20280%20DEL%2018%20DE%20FEBRERO%20DE%202015.pdf>
- CONPES. (2018). *Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Colombia*. Bogotá: DNP.
- CONPES. (2018). *Política Nacional de Edificaciones Sostenibles*. Bogotá: DNP.
- Cortes, W. G., Ibla, J. F., Calderón, L. M., & Herrera, A. F. (2015). Cuantificación de Azúcares Reductores en las Cáscaras de Naranja y Banano. *Revista de Tecnología*, 72-76.
- Deaquiz, Y. A., & Moreno, B. L. (2016). Producción y Biosíntesis de Fibras Vegetales. Una Revisión. *Conexión Agropecuaria*, 29-42.
- Domínguez, M. M., Álvarez, A., Castrejón, T., Granados, M. J., Hernández, F., Alcalá, V., & Tapia, J. C. (2011). Estudio de la cinética de la hidrólisis ácida del bagazo de caña

- de azúcar sin pretratamiento para la obtención de azúcares reductores. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 153-159.
- EIROS. (2012). *Bloques de Hormigón*. EIROS: Prefabricados de Hormigón.
- Enshassi, A., Kochendoerfer, B., & Rizq, E. (2014). An Evaluation of Environmental Impacts of Construction Projects. *Ingeniería de Construcción*, 234-254.
- FAO. (15 de Noviembre de 2002). *Norma de Procedimientos para Muestreo de Productos Vegetales*. Obtenido de https://www.ica.gov.co/getdoc/3e6b53e5-e004-4861-a5a5-1f9740e2710a/guia_para_toma_envio_muestras.aspx
- Farrell, J., & Altieri, M. (1999). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Nordad.
- Fedecacao. (s.f.). *Qué es FNC*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2018, de Fondo Nacional de Cacao: <https://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/fondo-nacional-del-cacao-4/que-es-el-fnc>
- Fonseca, L. (2016). *Diseño de Vivienda de Interés Social Modular para Zona de Emergencia de Alta Vulnerabilidad*. Bogotá D.C: Universidad Piloto de Colombia.
- García, E., & Fernández, I. (2012). *Determinación de la Humedad de un Alimento por un Método Gravimétrico Indirecto por Desecación*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.
- González, M. d., Bernal, B., González, C. E., & Segoviano, N. (2016). Evaluación de ácidos como catalizadores de la hidrólisis de inulina de Agave Tequilana Weber var. Azul. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 33-38.
- Granados Pérez, W., & Muñoz Venegas, C. A. (2018). *Cadena de Cacao: Indicadores e Instrumentos*. Bogotá: Ministerio de Agricultura.
- Gudynas, E. (2009). Desarrollo Sostenible: Posturas contemporáneas y desafíos en la construcción del espacio urbano. *Vivienda Popular*, 12-19.
- Guerrero, A. B. (2014). *Valorización de Biomasa Residual Agrícola para Aprovechamiento Energético. Caso de Estudio: El Oro-Ecuador*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGraw-Hill Education.
- Humphreys, M. (2003). *The Use of Polymer Composites in Construction*. Obtenido de <https://eprints.qut.edu.au/139/1/Humphreys-polymercomposites.PDF>
- IdePlas. (s.f). *Ficha técnica Lamina Polipropileno (PP)*.
- INCELCON. (2015). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS): Municipio de San Vicente de Chucurí, Santander*. San Vicente de Chucurí: Alcaldía de San Vicente de Chucurí.

- Infraestructura, M. d. (2017). *Norma Mínima de Diseño y Construcción de Mampostería*. Managua: República de Nicaragua.
- Ingeniería, E. C. (2008). *Identificación de Plásticos*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- ISO. (2006). *ISO 14044:2006*. ISO.
- Jaimes Suárez, Y., & Aranzazu Hernández, F. (2010). *Manejo de Enfermedades del Cacao (Theobroma cacao L.) en Colombia, con Énfasis en Monilia (Moniliophthora rozeri)*. Bogotá: Produmedios.
- Jimenez, O. A., & Mantilla, C. L. (2016). *Aprovechamiento de la cascara de mazorca de cacao en la elaboración de carbon activo para el tratamiento de aguas residuales*. Bogotá: Unidades Tecnológicas de Santander.
- Kaminski, S., Lawrence, A., & Trujillo, D. (2016). *Guía de Diseño para la Vivienda de Bahareque Encementado*. Beijing: INBAR.
- Leff, E. (2010). *Saber Ambiental*. México: Siglo XXI Editores.
- Majid, R. A., Ismail, H., & Taib, R. M. (2016). Sodium dodecyl sulfate (SDS) as a filler treatment: effects on mechanical, morphological and swelling properties of poly (vinyl chloride) (PVC)/ epoxidized natural rubber (ENR)/kenaf core powder composites. *Materials Research Innovations*, 504-511.
- Mansur, D., Tago, T., Masuda, T., & Abimanyu, H. (2014). Conversion of cacao pod husks by pyrolysis and catalytic reaction to produce useful chemicals. *Biomass and Energy*, 275-285.
- Márquez, B. M. (2014). *Cenizas y Grasas*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.
- Martínez, R., & Martínez, D. (2016). Perspectivas de la Sustentabilidad: Teoría y Campos de Análisis. *Pensamiento Actual*, 123-145.
- Martínez, R., Torres, P., Meneses, M. A., Figueroa, J. G., Pérez, J. A., & Viuda, M. (2012). Chemical technological and in vitro antioxidant properties of cocoa (*Theobroma cacao L.*) co-products. *Food Research International*, 39-45.
- MAVDT. (2004). *Guía Ambiental para el Sector de Plásticos*. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Maya, E. (2014). *Métodos y Técnicas de Investigación*. México D.F: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Menting, J. (2016). *The comparison of LEED and BREEAM to find a universal way of rating sustainable buildings*. Delft: Delft University of Technology.
- Ministerio de Ambiente, V. y. (2007). *Resolución 0601*. Bogotá: República de Colombia.
- Ministerio de Ambiente, V. y. (2011). *Los Materiales en la Construcción de Vivienda de Interés Social*. Bogotá D.C: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

- Ministerio de Vivienda, C. y. (2015). *Decreto 1285*. Bogotá: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2015). *Decreto Número 1077 de 2015*. Bogotá: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2015). *Resolución 549*. Bogotá: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- MinTIC. (2018). *Datos Cadena Productiva Cacao*. Obtenido de <https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/cacao-santander/haeq-jfjrg>
- Mittal, K. (1981). *Adhesion Aspects of Polymeric Coatings*. New York: Plenum Press.
- Mojica, A., & Paredes, J. (2006). *Características del Cultivo de Cacao en Santander*. Bogotá: Banco de la República.
- Montenegro, K. T., Rojas, A. S., Cabeza, I., & Hernández, M. A. (2016). *Potencial de biogás de los residuos agroindustriales generados en el departamento de Cundinamarca*. Bogotá: Universidad EAN.
- Morales, d. l. (2015). *Hidrólisis Ácida de Celulosa y Biomasa Lignocelulósica Asistida con Líquidos Iónicos*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Morales, J. (2005). *Tecnología de los Materiales Cerámicos*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Mossallam, A. (2007). *Composites in Construction*. Fullerton: California State University.
- Municipal, C. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal*. San Vicente de Chucurí: Alcaldía San Vicente de Chucurí.
- Navarro, G., & Navarro, S. (2014). *Fertilizantes: Química y Acción*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Navarro, M., & Mendoza, I. (2006). *Cultivo del Cacao en Sistemas Agroforestales*. El Castillo: Programa para el Desarrollo Rural Sostenible .
- Nyadanu, D., Assuah, M. K., Adomako, B., Asiama, Y. O., & Adu-Ampomah, Y. (2011). Thickness of the Cocoa Pod Husk and its Moisture Content as Resistance Factors to Phytophthora Pod Rot. *International Journal of Agricultural Research*, 310-322.
- Ocampo, J. D., & Ramírez, C. A. (2015). *Estado Actual de Cultivos de Cacao de las Fincas "El Reflejo" y "La Secreta" Ubicadas en el Municipio de Rovira (Tolima) y la Evaluación de la Cáscara Residual del Cacao como Fuente de Azúcares Reductores*. Bogotá: Universidad El Bosque.
- Padrón, G., Arias, E. M., Romero, J., Benavides, A., Zamora, J., & García, S. P. (2004). Efecto de la Cáscara de Cacao en la Obtención de Espumas de Poliuretano para uso hortícola. Propiedades físicas y de biodegradabilidad. *Revista de la Sociedad Química de México*, 156-164.
- Parra Pérez, D. A., & Sánchez Zarate, M. Á. (2012). *Desarrollo Material Polimérico Reforzado con Fibras Naturales*. Bogotá: Universidad EAN.

- Puente, S. E., Espitia, J. L., & Andrés, C. O. (2018). *LA ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN MODULAR EVALUADA DESDE EL TRIANGULO DE LA TRIPLE RESTRICCIÓN Y APLICADA AL SECTOR EDUCATIVO EN COLOMBIA*. Bogotá D.C: Universidad Católica de Colombia.
- Quiroga, R. (2001). *Indicadores de Sostenibilidad Ambiental y de Desarrollo Sostenible: Estado del Arte y Perspectivas*. Santiago de Chile : CEPAL.
- Rachmat, D., Johar, L., & Dewi, D. (2017). Utilization of Cacao Pod Husk (Theobroma cacao.L) as Activated Carbon and Catalyst in Biodiesel Production Process from Waste Cooking Oil. *International Conference on Chemistry an Material Science*, 1-8.
- Ramirez Quintero, A., Valencia González, Y., & Lara Valencia, L. A. (2017). *Efectos de los lixiviados de residuos sólidos en un suelo tropical*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Ramírez, A. (2002). La Construcción Sostenible. *Física y Sociedad* 13, 30-33.
- República, P. d. (1974). *Decreto-Ley 2811*. Bogotá: Congreso de Colombia.
- Rezaallah, A., & Afghani, R. (2012). *LEED and BREEAM: Comparison between policies, assessment criteria and calculation methods*. Milan: Politecnico di Milano.
- Rocha, E. (2011). Construcciones Sostenibles: Materiales, Certificaciones y LCA. *Revista Nodo*, 99-116.
- Rojas, F., & Sacristán Sánchez, E. J. (2013). *Guía Ambiental para el Cultivo de Cacao*. Bogotá: FEDECACAO.
- ROTH. (2015). *Ficha de Seguridad Dodecil Sulfato Sódico*. España: Blotting-Grade.
- Salud, S. d. (1994). *Norma Oficial Mexicana NOM-116-SSA1-1994*. México D.F: Secretaría de Salud.
- Sánchez, J., Soler, J., & Herguido, J. (2018). Hidrólisis ácida de cáscaras de vaina de cacao CCN-51. Optimización del proceso para generación de azúcares reductores. *Jornada de Jóvenes Investigadores del 13A*, 35-36.
- Sánchez, M. Á. (20 de Mayo de 2016). *El impacto ambiental del proceso del compostaje*. Obtenido de Universitat Miguel Hernández: <http://masterresiduos.edu.umh.es/2016/05/20/el-impacto-ambiental-del-proceso-de-compostaje/>
- Seong Chun, K., Husseinayah, S., & Ming Yeng, C. (2016). Effects of coupling agent from waste oil fatty acid on the properties of polypropylene/cocoa pod husk. *Polymer Bulletin*, 3465-3484.
- Seong Chun, K., Husseinayah, S., & Osman, H. (2015). Biocomposites, Influence of Methacrylic Acid Modification on Tensile Properties of Polypropylene/Cocoa Pod Husk. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 296-300.

- Seong Chun, K., Husseinsyah, S., & Osman, H. (2015). Utilization of Cocoa Pod Husk as a Filler in Polypropylene Biocomposites: Effect of Maleated Polypropylene. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 1507-1521.
- Seong, K., & Husseinsyah, S. (2016). Agrowaste-based composites from cocoa pod husk and polypropylene: Effect of filler content and chemical treatment. *Journal of Thermoplastics Composite Materials*, 1332-1351.
- Seong, K., Husseinsyah, S., & Osman, H. (2014). Development of Biocomposites from Cocoa Pod Husk and Polypropylene: Effect of Filler Content and 3-Aminopropyltriethoxylane. *Polymers from Renewable Resources*, 139-156.
- Sísmica, A. C. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*. Bogotá D.C: Ministerios de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Sostenible, C. C. (2012). *Estudios de caso*. Obtenido de CCCS: <https://www.ccs.org.co/estudios-de-caso/proyectos/166-oficinasbancolombia>
- Suárez, J. L., Restrepo, J. W., Quinchía, A., & Mercado, F. A. (2017). Fibras vegetales colombianas como refuerzo en compuestos de matriz polimérica. *Revista Tecnura*, 57-66.
- Susunga, J. M. (2014). *Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y prioritario*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Téllez, A. (2012). *La complejidad de la problemática de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Tirado, D. F., Montero, P. M., & Acevedo, D. (2015). Estudio Comparativo de Métodos Empleados para la Determinación de Humedad de Varias Matrices Alimentarias. *Información Tecnológica*, 3-10.
- Torres, Y. J. (2016). *CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA (THEOBROMA CACAO L) PARA SU USO EN LA OBTENCIÓN DE ETANOL POR VÍA FERMENTATIVA*. Bucaramanga: Universidad Santo Tomás.
- Uddin, N. (2013). *Developments in Fibre-Resinforced Polymer (FRP) Composites for Civil Engineering*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Ultimaker. (2017). *Ficha de Datos Técnicos PP*. Ultimaker.
- UNESCO. (2012). *El Desarrollo Sostenible: Conceptos Básicos, Alcance y Criterios para su Evaluación*. Obtenido de UNESCO: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Havana/pdf/Cap3.pdf>
- Unidad, N. (1992). *Agenda 21*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas: <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter7.htm>
- Unidas, N. (2015). *Objetivos del Desarrollo Sostenible: Información y Guía para las Organizaciones de Voluntariado*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas: https://www.unv.org/sites/default/files/UNV%20QA%20on%20SDGs_web_S.pdf

- USGBC. (2009). *LEED Reference guide for green building design and construction*. Washington: USGBC.
- USGBC. (2014). *What is USGBC*. Obtenido de <https://new.usgbc.org/about>
- USGBC. (2019). *LEED v4 for BUILDING DESIGN AND CONSTRUCTION*. U.S Green Building Council.
- USGBC. (2019). *LEED v4.1*. Obtenido de https://www.usgbc.org/sites/default/files/LEEDv4-1_BD+C_ID+C_SPANISH.pdf
- Villamizar, A. R., & López, L. J. (2017). Cáscara de cacao fuente de polifenoles y fibra: simulación de una planta piloto para su extracción. *Respuestas*, 75-83.
- Villamizar, Y. L., Rodríguez, J. S., & León, L. C. (2017). Caracterización fisicoquímica, microbiológica y funcional de harina de cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad CCN-51. *Cuaderno Activa*, 67-75.
- Vriesmann, L. C., & Oliviera, C. L. (2017). Cacao Pod Husk as a source of low-methoxyl, highly acetylated pectins able to gel in acid media. *International Journal of Biological Macromolecules*, 146-152.
- Vriesmann, L. C., Dias de Mello, R., & Oliveira, C. L. (2011). Cacao Pod Husk (*Theobroma cacao* L.): Composition and hot-water-soluble pectins. *Industrial Crops and Products*, 1173-1181.
- Work, W. J., Horie, K., Hess, M., & Stepto, E. F. (2004). *DEFINITIONS OF TERMS RELATED TO POLYMER BLENDS, COMPOSITES, AND MULTIPHASE POLYMERIC MATERIALS*. Oxford: IUPAC .

