EVALUACIÓN DE UN BIOCOMPOSITO PARA EL MEJORAMIENTO DEL MODELO CONSTRUCTIVO EN EL CASCO URBANO DE NUQUÍ, CHOCÓ

Angie Lorena Jiménez De Los Ríos
Maria Paula Peña Guzmán

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Abril, 2020

Evaluación de un biocomposito para el mejoramiento del modelo constructivo en el casco urbano de Nuquí, Chocó

Angie Lorena Jiménez De Los Ríos
Maria Paula Peña Guzmán

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Línea de Investigación:
Infraestructura sustentable
Gestión para el desarrollo urbano y rural y mejoramiento de la calidad de vida

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2020

Dedicatoria

Al Pacífico por su fascinante cultura,
A Nuquí y su gente que nos acobijó con mares de amor,
Al desarrollo de un pueblo que no reconoce diferencias,
Y su lucha por la libertad, esa misma que hoy une personas y nos vuelve una sola.

A todos los que han descubierto que los sueños empiezan entre palabras,
Y acá surge uno.

Agradecimientos

Expresamos nuestros más profundos agradecimientos principalmente a la comunidad de Nuquí, Chocó por acogernos y colaborarnos en la formulación y desarrollo de este proyecto investigativo.

A nuestro tutor José Francisco Ibla Gordillo por su acompañamiento, motivación y dirección técnica en el proceso y al semillero ARPEMS por su aporte y retroalimentación en el desarrollo del proyecto

A la profesora Carolina Angulo por su dedicación y aporte en la redacción de nuestros resultados y a Carolina Casanova y Zandi Castellanos por su apoyo y guía en el laboratorio.

Finalmente, al programa de Ingeniería Ambiental y a la Facultad de Ingeniería por las herramientas brindadas las cuales posibilitaron la realización de este proyecto

Tabla de Contenido

1. Resumen 10
2. Introducción 11
3. Planteamiento del problema 12
4. Pregunta de investigación 14
5. Objetivos 14
5.1 Objetivo general 14
5.2 Objetivos específicos 14
6. Justificación 15
7. Marco de referencia 16
7.1 Estado del arte 16
7.2 Marco conceptual 19
7.3 Marco teórico 22
7.4 Marco normativo 23
7.5 Marco Geográfico 25
7.6 Marco institucional 27
8. Metodología 28
8.1 Enfoque 28
8.2 Alcance 28
8.2.1 Descriptivo. 29
8.2.2 Correlacional. 29
8.5.1 Objetivo I. 29
8.5.2 Objetivo II. 32
8.5.3 Objetivo III. 38
9 Análisis y resultados 45
9.1 OBJETIVO I: Diagnosticar la condición ambiental de la comunidad enfocada en el modelo constructivo de las viviendas en el casco urbano de Nuquí, Chocó 45
9.1.1 Caracterización del modelo constructivo de la zona. 45
9.1.2 Caracterización de los residuos sólidos con mayor producción en el municipio. 47
9.1.3 Salida técnica. 48

9.1.4 Entrevistas a líderes sociales de la comunidad. 48

9.1.4.1 Percepción del modelo constructivo de la zona 49

9.1.4.2 Percepción de los principales factores que generan la deficiencia en el modelo constructivo de la zona 50

9.1.4.3 Percepción de la degradación ecológica y riesgos a la salud 53

9.1.4.4 Percepción del manejo y aprovechamiento de los residuos de fibra de coco y plástico en el municipio 55

9.1.5 Encuestas a habitantes del casco urbano de Nuquí. 55

9.1.6.1 Percepción del modelo constructivo de la zona 56

9.1.6.2 Percepción de los principales factores que generan la deficiencia en el modelo constructivo de la zona 61

9.1.6.3 Percepción de las posibles variables a modificar en las viviendas 64

9.1.6.4 Percepción del manejo y aprovechamiento de los residuos en el municipio 66

9.1.7 Diagnóstico Ambiental. 67

9.2 OBJETIVO II: Diseñar un biocomposito teniendo en cuenta sus propiedades físicas y térmicas, a partir de los residuos poliméricos y orgánicos seleccionados con mayor producción y consumo en la zona de estudio. 72

9.2.1 Toma de muestras 72

9.2.2 Caracterización de residuos 73

9.2.2.1 Caracterización *Cocos Nucifera* L. 73

9.2.2.1.1 Caracterización química de fibra de coco 74

9.2.2.2 Caracterización Plástico PET. 77

9.2.3 Elaboración de biocomposito 77

9.2.3.1 Tratamiento de biocomposito. 79

9.2.3.2 Caracterización física. 80

9.2.3.2.1 Porcentaje de hinchamiento 80

9.2.3.2.2 Densidad 86

9.2.3.3 Caracterización térmica. 87

9.2.3.3.1 Capacidad calorífica 87

9.3. OBJETIVO III: Establecer la sostenibilidad bajo criterios nacionales e internacionales del material propuesto de acuerdo a su funcionalidad específica en el modelo constructivo del casco urbano de Nuquí, Chocó. 91

9.3.1 Evaluación del desempeño de los materiales 91

9.3.2 Requerimientos del material 92

9.3.2.1 Especificaciones técnicas. 92
9.3.2.2 Especificaciones funcionales. 93
9.3.2.3 Especificaciones basadas en escenarios. 96
9.3.3 Criterios de Evaluación de sostenibilidad 97
9.3.3.1 LEED. 98
9.3.3.1.1 Materiales y recursos 98
9.3.3.2 Cartilla de Criterios Ambientales para el diseño y la construcción de vivienda urbana. 100
9.3.3.2.1 Materiales 101
9.3.3.3 BREEAM. 104
9.3.3.3.1 Rehabilitación y Acondicionamiento 105
9.3.3.3.2 Urbanismo 107
10 Conclusiones 110
11 Recomendaciones 112
12 Bibliografía 113
13 Anexos 128

Lista de Figuras

Figura 1.Estructura general del coco....21
Figura 2. Cabecera Municipal de Nuquí, Chocó....26
Figura 3. Organigrama Institucional....28
Figura 4. Esquema metodológico primer objetivo....31
Figura 5. Clasificación de biocompuestos de acuerdo a la disposición de la fibra....35
Figura 6. Esquema metodológico segundo objetivo....38
Figura 7. Esquema metodológico tercer objetivo....40
Figura 8. Tipologías de las viviendas del casco urbano de Nuquí, Chocó. 45
Figura 9. Sistema de distribución de las viviendas del casco urbano de Nuquí, Chocó. 46
Figura 10. Disposición de residuos en el municipio de Nuquí, Chocó.....47
Figura 11. Evidencia fotográfica de inundación por crecimiento del nivel del Río Nuquí en el Barrio Miraflores.....52
Figura 12. Evidencia fotográfica de la disposición de RCD en el casco urbano de Nuquí, Chocó. ..54
Figura 13. Recuento de edades de la población muestra. 56
Figura 14. Materiales implementados en muros dentro de las viviendas. 58
Figura 15. Materiales implementados en cubiertas de las viviendas. 58
Figura 16. Materiales implementados en pisos de las viviendas. 58
Figura 17. Tipologías de vivienda en el casco urbano de Nuquí, Chocó.....59

Figura 18. Motivo de selección de los materiales utilizados en las viviendas. 60
Figura 19. Condiciones fundamentales para habitar una vivienda. 61
Figura 20. Condiciones que generan detrimento de los materiales de construcción en viviendas. ... 61
Figura 21. Nivel de humedad presentado al interior de las viviendas. 62
Figura 22. Nivel de concentración de calor al interior de las viviendas. 62
Figura 23. Condiciones de deficiencia presentadas en el diseño de las viviendas. 64
Figura 24. Modificaciones integrales realizadas en la vivienda. 65
Figura 25. Factor causal de la modificación. 65
Figura 26. Alternativas de solución predominantes frente a las problemáticas en el modelo constructivo del municipio de Nuquí, Chocó. 66
Figura 27. Dinámica de separación de residuos en los hogares. 67
Figura 28. *Mapa de amenazas por procesos naturales de erosión e inundación del casco urbano de Nuquí, Chocó*. 68
Figura 29. Zonificación de viviendas en riesgo por procesos naturales de erosión e inundación en el casco urbano de Nuquí, Chocó. 70
Figura 30. Tratamiento de residuos de plástico PET en el municipio de Nuquí, Chocó. 72
Figura 31. Disposición de residuos de cultivo de coco en el corregimiento de Coquí, Chocó. 73
Figura 32. Estructura química de la lignina. Fuente: (Paricaguán, B., 2015) 74
Figura 33. Estructura química de la celulosa. Fuente: (Paricaguán, B., 2015) 74
Figura 34. Muestra sin contenido de celulosa. Fuente: Autoras, 2019 75
Figura 35. Muestra sin contenido de lignina. Fuente: Autoras, 2019 75
Figura 36. Plástico PET triturado. Fuente: Autoras, 2019 77
Figura 37. Fibra de coco acondicionada. Fuente: Autoras, 2019 77
Figura 38. Moldes utilizados para la realización de las probetas. 78
Figura 39. Láminas de fibra de coco cruzado para cada probeta. 78
Figura 40. Probetas laminares en sus distintas composiciones. 79
Figura 41. Probetas de pruebas físicas y térmicas en sus distintas composiciones. 79
Figura 42. Prueba de hinchamiento de FC y FCT 80
Figura 43. Resultado prueba de hinchamiento promedio de FC y FCT 81
Figura 44. Prueba de hinchamiento de PET 82
Figura 45. Prueba de hinchamiento proporción 70/30 83
Figura 46. Prueba de hinchamiento proporción 80/20 83
Figura 47. Prueba de hinchamiento promedio para proporción 70/30 y 80/20 85
Figura 48. Densidad promedio para los compuestos PET (100), PET/FC/FCT (70/30) y (80/20). . 86
Figura 49. Termogramas de PET/FC y PET/FCT en proporciones 70/30 y 80/20 88
Figura 50. Diseño de cielo raso en vivienda de tipología tradicional 94
Figura 51. Ámbitos de aplicación de la certificación LEED. 98
Figura 52. Distancia entre etapas de extracción, procesamiento y fabricación de materiales. 100

Lista de tablas

Tabla 1. Marco legal aplicable 23

Tabla 2. Composición de los biocompositos en sus diferentes proporciones 35
Tabla 3. Variables e indicadores 41
Tabla 4. Matriz metodológica. 43
Tabla 5. Listado de preguntas realizadas para entrevistas. 49
Tabla 6. Composición química de fibra de coco (Cocos Nucifera L.). 75
Tabla 7. Densidad para los compuestos PET (100), PET/FC/FCT (70/30) y PET/FC/FCT (80/20). 86
Tabla 8. Resultados de la prueba de calor específico del PET. 88
Tabla 9. Resultados obtenidos para Calor específico de los materiales compuestos con PET y fibra de coco sin tratar/tratada con DSS. 89
Tabla 10. Calor específico para materiales convencionales de construcción. 89
Tabla 11. Valor ponderado para las categorías de los biocompuestos. 92
Tabla 12. Puntaje de evaluación de las categorías para los biocompuestos. 92
Tabla 13. Condiciones técnicas para materiales convencionales de construcción y biocompuestos. 93
Tabla 14. Determinación del peso requerido del biocompuesto con relación al área aplicable dentro de la vivienda. 95
Tabla 15. Peso del coco Cocos nucifera gigante y su composición. 95
Tabla 16. Categorías de calificación de las certificaciones LEED, BREEAM y la Cartilla de criterios ambientales. 97
Tabla 17. Matriz de criterios ambientales LEED v4 HOMES: Residencial. “Materiales y recursos”. 99
Tabla 18. Evaluación criterios aplicables: eje temático “materiales”. 100
Tabla 19. Matriz de criterios ambientales para la producción y uso de la vivienda, eje temático “materiales”. 101
Tabla 20. Aplicabilidad de criterios ambientales para el eje temático "materiales". 101
Tabla 21. Clasificación BREEAM ES. 104
Tabla 22. Criterios aplicables del esquema de certificación: Rehabilitación y Acondicionamiento, categoría "Materiales". 107
Tabla 23. Puntaje de criterios, esquema de certificación: Urbanismo. 109

Lista de Anexos

Anexo 1. Árbol de problemas 128
Anexo 2. Formato de encuestas a los habitantes del casco urbano de Nuquí, Chocó. 128
Anexo 3. Resultados complementarios de la determinación de contenido de fibra de coco. 130
Anexo 4. Resultados complementarios del porcentaje de hinchamiento de los materiales. 131
Anexo 5. Resultados complementarios de la Capacidad calorífica de los materiales 133
Anexo 6. Termogramas de Tiempo vs. Temperatura de los biocompuestos PET/FC 70/30-80/20 y PET/FCT 70/30-80/20. 135
Anexo 7. Resultados complementarios de Calor específico del PET y biocompuestos. 136
Anexo 8. Mapa del área sembrada de producción Cocotera en el departamento del Chocó para el año 2017. 136
Anexo 9. Proyección de la producción de Coco en Nuquí, Chocó para el año 2020. 137

1. Resumen

La presente investigación tiene como objeto evaluar un biocomposito mediante el aprovechamiento de residuos agrícolas y domésticos con alta generación en la zona, específicamente cultivo de coco y botellas polietileno tereftalato (PET), que propenda al mejoramiento del modelo constructivo del casco urbano de Nuquí, Chocó, el cual se ha visto restringido por condiciones características de la zona. Para su desarrollo, se efectuó un diagnóstico ambiental, con el que se logró determinar principalmente la interacción entre los fenómenos naturales y procesos constructivos, usando como método de recolección de datos la aplicación de encuestas dirigidas a los habitantes y entrevistas semiestructuradas a líderes comunitarios. Se elaboraron cuatro biocompositos con fibra en condiciones naturales y tratadas con el acoplante dodecil sulfato de sodio, manteniendo dos proporciones en su composición 80/20 y 70/30; una vez sometidos a pruebas físicas y térmicas, se determinó el PET/FCT (70/30) como aquel con mejor desempeño. A partir de los resultados, se estableció el potencial de aplicabilidad del material como cielo raso, dada su baja densidad (0,8759 g/cm^3), una adecuada resistencia a la absorción de agua (7,244%), una alta capacidad calórica (1,9 J/g°C) y entre otras propiedades reconocidas en la caracterización química y física de la fibra de coco y el PET. Finalmente, se realizó una evaluación al biocompuesto mediante criterios de sostenibilidad de las certificaciones LEED y BREEAM y la Cartilla de Criterios Ambientales, evidenciando su posicionamiento como un material sostenible que permite mejorar las condiciones que restringen el modelo constructivo en el Municipio de Nuquí, Chocó.

Palabras claves: Modelo constructivo, Biocomposito, Fibra de coco, Polietileno tereftalato (PET).

Abstract

The aim of this research is to evaluate a composite developed through the use of high generation of agricultural and solid urban waste in the area, specifically from coconut crop and Polyethylene Terephthalate (PET) bottles, which purpose is to improve the constructive model of the Nuquí, Chocó urban zone, that has been restricted under particular conditions in the area. For its development, an environmental diagnosis was carried out, which allowed to mainly determine the interaction between natural phenomena and construction processes, by the application of surveys aimed at the population resident and semi-structured interviews with community leaders as method of data collection. Four composites were produced from coir under natural conditions and chemically treated with the coupling agent sodium dodecyl sulfate, composed in two proportions: 80/20 and 70/30; once physical and thermal tests were applied to them , PET/FCT (70/30) proportion was determined as the one with the best performance. Based on the results, its potential applicability is defined as false ceiling, in view of its low density (0,8759 g/cm^3), low moisture absorption (7,244%), a high calorific capacity (1,9 J/g°C) and among other properties recognized in the chemical and physical characterization of coir and PET. Finally, an assessment of the sustainability was held by the criteria of the LEED and BREEAM certifications and the “Cartilla de Criterios Ambientales”, wherein the material fulfil as a sustainable material with the potential to enhance the severe conditions that restrict the constructive model of Nuquí, Chocó.

Key words: Constructive model, Biocomposite, Natural fibers, Polyethylene Terephthalate (PET)

2. Introducción

Los modelos constructivos actualmente presentan consecuencias que pueden afectar en el ambiente, esto se debe principalmente a la deficiencia en el uso e implementación de prácticas adecuadas. Se evidencia que las industrias de construcción sumado a la operación de edificios abonan un 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, además de esto, al finalizar su vida útil poco aprovechamiento se hace de los desechos de demolición (Rocha, E., 2011). Adicionalmente la extracción de materias primas conlleva a una contaminación significativa en el recurso hídrico, suelo y aire lo cual afecta directamente a los distintos ecosistemas. Razón por la cual, surge la necesidad de crear e implementar nuevos materiales que propendan a reducir las afectaciones medioambientales que se asocian y manifiestan como resultado de la industria de construcción (Gómez, J., 2009).

Se tiene que la selección de materiales a implementar está determinada por factores económicos, técnicos, estéticos y estructurales, sin embargo, no se toman en cuenta las características referentes a la sostenibilidad (Rocha, E. 2011). Es por esto, que en algunos territorios se está implementando el uso de fibras vegetales como alternativa en insumos para construcción, sin embargo en algunos casos estos materiales no cuentan por sí solos con propiedades adecuadas para su implementación en el sector constructivo, ahora bien, para poder aumentar los beneficios de sus propiedades se puede elaborar un material compuesto por una fibra natural como refuerzo de una matriz polimérica, conocido también como biocomposito; esto debido a la facilidad en su procesamiento, costo más asequible, baja densidad y una elevada productividad, ofreciendo así propiedades específicas como alternativa para materiales de construcción, permitiendo el incremento paulatino de uso aplicativo en este campo y disminuyendo significativamente el impacto generado por esta industria (Gómez, J., 2009; Velásquez, S., Peláez, G., Giraldo, D., 2016).

Se tiene además que dentro de las estrategias para combatir las afectaciones de la actividad constructora se encuentra la aplicación de criterios de sostenibilidad para el diseño, construcción y operación de los edificios, teniendo en cuenta los insumos, materiales y recursos utilizados para todas las etapas; estos criterios propenden a la disminución de gasto de recursos naturales, reutilización de recursos, gestión adecuada del ciclo de vida de la construcción y una minimización de gasto energético, todo esto encaminado a disminuir los impactos ambientales a los ecosistemas lo cual permite regenerar sus hábitats y adicionalmente a las matrices agua, aire y suelo (Durán, L., 2017).

Por consiguiente, en el presente trabajo investigativo se realizó una recopilación y análisis de información del modelo constructivo en el casco urbano de Nuquí, Chocó, y conforme a sus falencias se evalúa la viabilidad de la implementación de un biocompuesto con uso en las viviendas del casco urbano, que cumpla con las necesidades que se presentan en la zona de estudio; el compuesto es elaborado de materiales endógenos de la zona: una matriz polimérica de tereftalato de polietileno (PET) recolectada a partir de residuos urbanos, reforzada con la fibra extraída del mesocarpio del Coco de desechos agroindustriales. Para este propósito se tienen en cuenta las condiciones geográficas, climáticas y meteorológicas de la zona, las cuales limitan el modelo constructivo, en especial a los materiales de construcción y a su vez las condiciones sociales y económicas que restringen el desarrollo de la comunidad, en donde indirectamente se puede atender otro grave problema de la zona que es la acumulación de residuos por falta de gestión en el municipio, mitigando así el impacto ambiental inducido por el hombre (Alcaldía Municipal de Nuquí, 2016).

CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS INICIALES

3. Planteamiento del problema

La industria constructora a lo largo del tiempo se ha posicionado como uno de los pilares imprescindibles para el desarrollo de las civilizaciones, siendo primordial en la economía a nivel mundial y una demanda social tanto para países, como comunidades y familias; sin embargo, esta también es catalogada como una de las actividades que más carga de contaminantes genera ambientalmente frente a otras industrias, consumiendo grandes niveles de materiales y energía desde la extracción de las materias primas, la fabricación de los materiales, así como el uso de los mismos en las actividades de construcción civil (Pacheco, C., Fuentes , L., Sánchez, É., Rondón, H., 2017).

De igual forma, se destinan cerca de la mitad de los recursos naturales que el hombre consume a dicha industria y a grosso modo, poco más del 70% de la energía mundial se emplea en torno a esta industria (Oteiza y Tenorio, 2007). Además, según la UNEP, de seguir siendo una sociedad consumista para el año 2023 cerca del 72% de la superficie terrestre se verá amenazada teniendo en cuenta que los impactos provocados por el uso del suelo se relacionan frecuentemente con el crecimiento continuo de las áreas urbanas, que traen consigo problemas de calidad del agua, gestión de residuos, contaminación del aire y disminuyen la calidad de vida en los habitantes de la comunidad, sobre todo en las poblaciones vulnerables (Alarcón, 2006; UNEP, 2002).

Estas razones, han acrecentado la preocupación sobre el modelo constructivo y sus efectos en el ambiente, remarcado en los países en vía de desarrollo como Colombia, en donde las deficiencias en las estrategias de inversión, financiamiento, gobernanza, la falta de políticas que regulen la provisión de vivienda, las condiciones de vulnerabilidad y precariedad y su consecuente construcción de viviendas informales, no permiten satisfacer las necesidades de supervivencia del país. Considerando lo anteriormente dicho, se ven limitaciones en los métodos de innovación e implementación de materiales de construcción que permitan mejorar la calidad de vida de los habitantes, donde la sostenibilidad es un paso clave conforme a la satisfacción óptima de estas necesidades sin repercutir negativamente tanto en la salud de las personas, como en el medio ambiente (Du Plessis, C., 2002).

Cerca del 86% del total de la población colombiana, cuenta con las categorías más bajas de clasificación de vulnerabilidad en 639 municipios, dentro de los cuales se encuentra el municipio de Nuquí, Chocó, en donde se evidencian factores como desprotección social, violencia, marginalidad y desplazamiento de los habitantes, en donde los índices de pobreza e insalubridad, junto con las bajas oportunidades de empleo estable van en constante aumento, esta última con un 68,74% de dependencia económica y un 97,33% de empleo informal (Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó., 2018; Defensoría del Pueblo, 2016; Departamento Nacional de Planeación, 2008). Estas situaciones son las que condicionan los procesos constructivos del municipio al igual que el diseño arquitectónico y urbano, dado que estos responden a las dinámicas sociales, culturales y económicas que se desarrollan dentro del territorio.

Estas condiciones de vulnerabilidad y de adaptabilidad social determinan la ausencia de conocimiento de las características geotécnicas y parámetros climáticos de la zona constructiva del municipio, lo que provoca la ubicación de las viviendas dentro de zonas que presentan altos riesgos por amenazas: sísmica, climática (vendavales y fuertes vientos), deslizamiento particularmente en las

riberas del río Arusí, así como de inundación producto del ascenso de niveles freáticos teniendo que el casco urbano de Nuquí, Chocó colinda con ríos y esteros, y se encuentra en inmediaciones con el mar y a su vez, las altas precipitaciones de la zona con valores entre los 5.000-7.000 mm anuales, siendo considerada esta como una de las regiones más húmedas de Colombia. Por último, se perciben fenómenos de erosión fluvial y costera, los cuales se acrecientan en el casco urbano por la dinámica del Río Nuquí que desemboca en el Océano Pacífico. Los eventos catastróficos a causa de estas amenazas, han dejado al menos 1431 viviendas afectadas (Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó., 2015; Defensoría del pueblo, 2016). Se debe agregar que dichas condiciones dificultan la selección de los materiales de construcción debido al acelerado y progresivo deterioro de los mismos.

Ahora bien, es importante destacar el aislamiento geográfico del municipio y su efecto en la disponibilidad de materiales y sus altos costes de transporte, lo cual condiciona la escogencia de los materiales por otros con menor cantidad de agregados en su composición y consecuentemente, aumenta los riesgos de afecciones o desplomes en la cimentación de las viviendas dada la incidencia de la localización en terrenos de alto riesgo.

En cuanto a las tipologías de las viviendas se presenta que las de tipo tradicional y autóctono, se manifiesta un mayor deterioro con respecto a las viviendas modernas, pues las propiedades de la madera y su interacción con las condiciones de temperatura, contenido de humedad y presencia de oxígeno en el medio, originan procesos de pudrición y ataque de insectos; de igual forma, debido a defectos constructivos que se presentan en las viviendas como goteras, inmunización nula o deficiente, roturas en las cañerías, capilaridad, entre otras, se induce el crecimiento de hongos y esporas. Habría que decir también que la presencia de grietas, rajaduras y deformaciones en las construcciones de madera, son producto de la naturaleza higroscópica del material (Zepeda, R., 2008).

Habría que decir también que las viviendas de tipo moderno pueden presentar problemas, considerando el uso predominante de bloques de arcilla-concreto y las características de sus suelos al ser parte del Chocó Biogeográfico, pues estos son únicos en el mundo y presentan cierto nivel de dificultad en su manejo por ser suelos laderosos, pantanosos, húmedos-inundables y con poco drenaje; por tal motivo, se generan alteraciones de las condiciones naturales del terreno para que el suelo pueda resistir la estructura, daños infraestructurales periódicos y la producción de focos de humedad interna en las estructuras debido a las infiltraciones y fenómenos como el ascenso capilar (Zepeda, R., 2008). A su vez, se presenta una alteración en las propiedades físicas y mecánicas de la estructura de las viviendas debido a la exposición de sulfatos, cloruros, CO_2 y otras posibles reacciones químicas por la composición de los materiales que al ser en mayor medida extraídos de las playas del municipio, suponen un tipo de exposición severa a estos compuestos, llegando a afectar de manera irreversible al material, pudiendo limitar su funcionamiento (Vásquez, J., Ovalle, H., 2018).

Consecuentemente, los costes se incrementan considerablemente dados los movimientos de tierra que se deben realizar por las condiciones del terreno, así como la sobrecarga de trabajo y la ausencia de mano de obra calificada entorpecen los tiempos de ejecución de las obras, lo que produce un aumento entre el 20% a 35% de los gastos (Alcaldía de Municipal Nuquí, Chocó., 2018;Vásquez, J. et al. 2018).

Aquello mencionado con anterioridad no sólo provoca daños en el inmueble, sino que, a su vez implican altos riesgos a la seguridad y salud de los nuquiseños, pues provoca la aparición de distintas enfermedades respiratorias y otras asociadas a la “enfermedad del constructor”, en donde se encuentra una probabilidad del 32% de contracción de cáncer a causa del asbesto utilizado, los químicos y las

radiaciones a las que se expone el constructor de la vivienda. De igual forma, se presentan altos índices de siniestralidad a causa de la informalidad de la construcción (ELF. s,f ; Posada, M., .et.al., 2013).

Es por esto que la problemática principal del presente trabajo investigativo, radica en las deficiencias cualitativas y cuantitativas que presentan el modelo constructivo de Nuquí, Chocó, condicionado por las vulnerabilidades, las condiciones socioeconómicas de los habitantes y el olvido por parte de las instituciones estatales; centrándonos en la implementación de materiales no compatibles con las condiciones ambientales particulares de la zona, lo que provoca el desgaste y degradación acelerada en los materiales que llevan a cambios periódicos de la estructura, y que a su vez, representan gran cantidad de residuos de construcción y demolición producidos en el municipio.

A partir de lo anterior, se reconoce la necesidad de la implementación de un material de construcción sostenible que mejore la calidad de vida de los habitantes en la cabecera municipal de Nuquí, Chocó, adaptándose a las condiciones climáticas y meteorológicas de la zona, a la economía de los pobladores de la zona de estudio, y a su vez, que permita la recuperación del equilibrio entre la tipología de las viviendas y su identidad cultural, que se han venido perdiendo progresivamente, y que simultáneamente se aproveche uno de los residuos orgánicos arraigado a su cultura y característico de la región, el coco.

4. Pregunta de investigación

¿Cómo a partir de la elaboración de un material de construcción sostenible se puede mejorar la calidad de vida de los habitantes, contemplando las condiciones ambientales de Nuquí, Chocó?

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

Evaluar un biocomposito que permita el mejoramiento del modelo constructivo en el casco urbano de Nuquí, Chocó.

5.2 Objetivos específicos

i. Diagnosticar la condición ambiental de la comunidad enfocada en el modelo constructivo de las viviendas en el casco urbano de Nuquí, Chocó.

ii. Diseñar un biocomposito teniendo en cuenta sus propiedades físicas y térmicas, a partir de los residuos poliméricos y orgánicos seleccionados con mayor producción y consumo en la zona de estudio.

iii. Establecer la sostenibilidad bajo criterios nacionales e internacionales del material propuesto, de acuerdo a su funcionalidad específica en el modelo constructivo del casco urbano de Nuquí, Chocó.

6. Justificación

La construcción sostenible contraria a la construcción tradicional, se apropia de algunas estrategias como lo son: hacer más utilizando menos, reducción del consumo energético, reducción de la contaminación y peligros para la salud, cero desperdicio y producción local, flexible y de pequeña escala (Acosta, D. 2003), las cuales toman en cuenta el ciclo de vida de los materiales desde el diseño hasta la demolición y/o disposición de los residuos, con la finalidad de priorizar el reciclaje, reuso y recuperación de materiales frente a la tendencia tradicional de la extracción de materias primas naturales y de fomentar la utilización de procesos constructivos y energéticos basados en productos y en energías renovables (Susunaga, J., 2014).

Se identifica a partir del diagnóstico una situación ambiental en donde se reconoce una deficiencia en el modelo constructivo relacionado a los materiales implementados en las viviendas del casco urbano de Nuquí, Chocó, junto con una inadecuada disposición y manejo de residuos sólidos en el municipio reconocido a partir de la visita técnica, razón por la cual, éste proyecto nos abre campo hacia una oportunidad para determinar cómo mediante la evaluación de un nuevo material de construcción se pueden mejorar otros factores económicos, sociales y ecológicos relacionados a viviendas urbanas, lo cual compensa a su vez el precario manejo de los residuos sólidos y la ausencia de un sistema para la adecuada disposición y/o aprovechamiento de los mismos en la zona de estudio.

Para lograr esto se busca cumplir con algunos Objetivos del Desarrollo Sostenible "ODS". De esta manera el actual trabajo de investigación aporta al ODS 9 *(Industria, innovación e infraestructura),* pues a través de avances tecnológicos se busca dar solución a conflictos económicos y ambientales, propiciando nuevos empleos y la mejora del gasto energético; en el contexto de este estudio, refiriéndose a que las viviendas aseguren fiabilidad, sostenibilidad y que su calidad proporcione una resiliencia de la misma, de acuerdo con la capacidad de cada zona enfocándose en un acceso equitativo para las personas. Adicionalmente aporta al ODS 11 (*Ciudades y comunidades sostenible*), pues se busca un cambio de la perspectiva en la forma de construir y administrar las zonas urbanas, con lo que se hace posible proporcionar viviendas seguras, asequibles y favorecer las viviendas marginales de manera inclusiva y participativa por parte de los habitantes. Paralelamente con el ODS 12 (*Producción y consumo responsables)* se busca reducir la huella ecológica a través de una transición en el consumo de bienes y recursos, para que exista una gestión adecuada de los mismos y por consiguiente de la generación y eliminación de residuos, propendiendo hacia un reciclaje y reducción de éstos a través de su reincorporación en la industria constructiva en la zona (Programa de las naciones unidas para el Desarrollo, s.f.).

De esta manera, teniendo en cuenta que el residuo de plástico polietileno tereftalato "PET", que se consume y dispone con mayor predominancia en el municipio junto con el residuo de cáscara de coco, representan una gran problemática por acumulación y volumen; es por esto que mediante su aprovechamiento, posibilitan el diseño de un biocomposito con potencial uso como material de construcción en la zona de estudio, que supla los requerimientos y necesidades de sus habitantes y que además permita la disminución de consumo energético durante la producción del material tanto por la obtención de las materias primas como por la metodología planteada, lo que permite a su vez disminuir la corriente de desechos en la zona, y por consiguiente minimizar inconvenientes relacionados a la proliferación de malos olores y plagas por la inadecuada disposición estos residuos en el municipio, en donde predomina la incineración o enterramiento de los mismos por parte de los habitantes pues no existe un método adecuado de recolección y gestión de éstos (Briones, M.. 2014; Uribe, C.. 2012).

Paralelamente se añade un valor agregado a estos residuos tras su aprovechamiento pues contribuye a la reducción de costos por el uso de técnicas innovadoras, en primera instancia por la materia prima que será adquirida y/o producida a nivel local, teniendo en cuenta el aislamiento geográfico que presenta la zona de estudio y la forma de adquisición de dichos materiales y, como segunda medida, la reducción de costos por transporte de materiales convencionales desde lugares distantes y la energía que ésto conlleva (Susunaga, J., 2014; Uribe, C., 2012; Vargas, Y., Pérez, L.. 2018).

Este proyecto está diseñado para que el biocompuesto requiera de un proceso de producción sencillo, el cual puede llevarse a cabo sin precisar de mucha experiencia, lo cual además de brindar mayor confort, salud y bienestar, disminuirá costos por inversión en la construcción pues los propietarios pueden construirlo por sí mismos; esto en función de que la alternativa de solución se adapte y no comprometa sus tradiciones ni aspectos culturales y que adicionalmente tenga en cuenta los requerimientos necesarios conforme a las condiciones ambientales de la zona (Briones, M., 2014; Susunaga, J., 2014).

Cabe destacar que el estudio es un aporte desde la academia para el análisis de un material a partir de la incorporación de una matriz vegetal y una matriz polimérica contemplando dos proporciones en el diseño experimental (80% PET-20% fibra) y (70% PET- 30% fibra) mediante la evaluación de algunas propiedades físicas, químicas y térmicas para identificar el potencial de aplicación en el modelo constructivo actual de la comunidad y que pueda mejorar la calidad de vida de las personas; sin embargo, este trabajo investigativo no tiene como objetivo la implementación del material de construcción dentro de la comunidad.

El concepto de este proyecto investigativo surge bajo el marco de investigación del semillero ARPEMS (Aprovechamiento de Residuos Poliméricos en la Elaboración de Materiales Sostenibles) del programa de Ingeniería Ambiental, dentro del cual se pretende estudiar nuevos biocompositos diseñados, elaborados y aplicados en el marco de construcción sostenible. Esto con la finalidad de contribuir al desarrollo de comunidades poco estudiadas y relegadas geográfica y gubernamentalmente, partiendo de la identificación de una problemática presentada a nivel socioeconómico, político y ecológico para la formulación de una alternativa que incorpore técnicas e instrumentos fundamentados en el manejo y aprovechamiento de residuos sólidos y producción más limpia, los cuales permiten la formulación de una alternativa más viable y razonable en aspectos técnicos y de gestión, que se ajuste a las condiciones en las que se encuentra inmersa comunidad de estudio. Con este proyecto, se logró afianzar el conocimiento recopilado a lo largo de la carrera debido a las diferentes etapas que se emprendieron para su desarrollo, puntualmente de su planteamiento como una alternativa a su desarrollo de manera experimental.

7. Marco de referencia

7.1 Estado del arte

Son pocas las comunidades que se encuentran dentro de las condiciones geográficas y climáticas con las que cuenta la cabecera municipal de Nuquí, Chocó, las cuales pueden limitar el desarrollo social, económico, técnico y ecológico de la comunidad. Explícitamente para este caso, se hace referencia a las problemáticas ligadas al modelo constructivo de la zona que condicionan la seguridad

y calidad de vida de los habitantes del municipio. Se tiene entonces que a través de diferentes estudios podemos consolidar la dinámica entre dichos riesgos y limitantes, en contraste con alternativas de construcción sostenibles que mejoren su calidad de vida.

En primera instancia, Manuel Argüello-Rodríguez por medio de su documento *"Riesgo, vivienda y arquitectura"* (2004), nos muestra la relación entre los riesgos en las viviendas y los factores ambientales que los determinan en Latinoamérica con punto focal en Costa Rica. Se evidencia que la construcción de las viviendas se ha desarrollado como una demanda social primordial, así como un determinante en la economía a nivel mundial, sin embargo, se evidencia que a través de los años, los procesos de poblamiento siempre han estado dentro de inmediaciones riesgosas, teniendo en cuenta la búsqueda de lugares que proporcionan una fácil obtención de recursos básicos de supervivencia por parte de las comunidades, y esto ocasiona la extracción desmedida de dichos recursos. Dentro de estos fenómenos de poblamiento, se presenta una dinámica particular entre las poblaciones más pobres y vulnerables, ya que estas cuentan con poco apoyo institucional y la precisión de capacidad de control por parte de las instituciones es insuficiente; de igual forma, se evidencia la falta de soporte técnico y financiero por parte de las instituciones gubernamentales, lo que afecta considerablemente la construcción de las viviendas dado que en ocasiones, los habitantes cuentan únicamente con sus ahorros o aportes por parte de vecinos o amigos para la construcción de las mismas y ello, generalmente provoca que los pobladores opten por medidas alternas, como lo es la autoconstrucción de sus viviendas con poca o nula implementación de conocimientos técnicos y sin criterios en la gestión del riesgo de desastres.

A su vez, se presentan los escenarios en los que los programas gubernamentales o privados no cuentan con las previsiones elementales frente a impactos de eventos destructivos antrópicos o naturales. Teniendo en cuenta los factores plasmados, el autor afirma que, dentro de las comunidades más pobres y vulnerables, tanto la localización de las viviendas en terrenos con altos riesgos, la deficiente calidad de los materiales implementados, su inadecuado uso y el desconocimiento de técnicas constructivas, propenden a que las viviendas se transformen en un refugio que puede terminar siendo una "trampa mortal" para los habitantes de las mismas.

Ahora bien, es importante entender el papel que tienen los fenómenos climatológicos, que inciden en el cambio de las variables meteorológicas y producen uno de los fenómenos naturales que mayor incidencia tiene dentro de la destrucción y degradación de las viviendas dentro del casco urbano de Nuquí, Chocó, estopor medio del estudio *"Análisis de aspectos que incrementan el riesgo de inundaciones en Colombia"* (2012) por Karime Sedano Cruz, Yesid Carvajal Escobar y Álvaro Javier Ávila Díaz, en el año 2012 se logra entender las dinámicas ambientales de inundación dentro de la zona de estudio, pues al encontrarse ubicado espacialmente en el trópico, adquiere un ciclo hidrológico dinámico y de igual forma, al estar este en confluencia con cuerpos de agua como el mar pacífico, el río Nuquí, la quebrada Ancachí y el estéreo Muertero y dentro de áreas de planicie inundable y al producirse una distribución espacio-temporal de la precipitación, temperatura y otras variables climatológicas, causan las periódicas inundaciones dentro del municipio; a pesar de que estos eventos son históricos y reiterativos, Colombia no cuenta con un mecanismo legal en la evaluación y control de riesgo a inundaciones; habría que mencionar además, que dentro de los materiales de construcción empleados se evidencia un precario control de su degradación ambiental, una ejecución improcedente de obras civiles e inadecuada gestión de suelos por usos no controlados y habitabilidad en zonas de alto riesgo a desastres naturales, se generan las condiciones de insalubridad e inseguridad para los habitantes de las viviendas. Es por este motivo, que se hace necesaria la toma de acciones pertinentes por parte de los entes territoriales en aumentar la seguridad

del asentamiento humano en zonas de alto riesgo y así como por parte de los pobladores del municipio, determinar las zonas no aptas para habitabilidad, que pueden representar riesgos para su seguridad y, que de esta forma, se permitan hacer efectivos los derechos constitucionales a una vivienda digna.

Conforme a las alternativas de construcción sostenibles que se encuentran, según Fábio Tomczak, Thais Helena Demétrio Sydenstricker & Kestur Gundappa Satyanarayana, en su artículo científico *"Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part II: Morphology and properties of Brazilian coconut fibers" (2007),* en las últimas décadas, ha surgido el uso de fibras lignocelulósicas como refuerzo a materiales poliméricos en reemplazo a fibras sintéticas, esto teniendo en cuenta características, tales como: la abundancia de dichos materiales, su biodegradabilidad, su baja densidad, nula toxicidad, disminución de la abrasividad en los equipos de procesamiento de plástico, potenciales propiedades mecánicas, disminución del peso del material y su bajo costo, pues se disminuye entre un 17-40% del costo en comparación con las fibras de vidrio; a su vez, se ha de tener en cuenta que su durabilidad se prolonga dependiendo del tipo de fibra, su cosecha y procesamiento de los materiales. Gracias a estas técnicas, se logra impulsar cada vez más el desarrollo sostenible en diferentes sectores económicos, que paralelamente propenden al mejoramiento de la calidad de vida de una comunidad, y a la generación de nuevos empleos.

Con respecto a las aplicaciones de la fibra de coco, los autores Tran Nam, Shinji Ogihara, Nguyen Tung y Satoshi Kobayashi con su artículo científico *"Effect of alkali treatment on interfacial and mechanical properties of coir fiber reinforced poly(butylene succinate) biodegradable composites" (2011)*, ponen en evidencia la amplia implementación de dicha fibra en la industria automotriz, ya que teniendo en cuenta que su ángulo microfibrilar es alto, el alargamiento a la rotura se incrementa, permitiendo que sea de gran utilidad en sistemas de amortiguación (ej. cojín de asiento para automóvil). A su vez, estos autores concuerdan con Flower, P., Hughes, J. y Melias, R. con su trabajo investigativo *"Review Bio Composites: Technology, Environmental Credentials and Market Forces"* (2006) hacen referencia a que la fibra de coco cuenta con ventajas como su resistencia a la intemperie, a la abrasión, a los hongos, a las bacterias y a la putrefacción gracias a su alto contenido de lignina, haciendo que el compuesto sea más rígido y resistente; por otro lado es un excelente aislante acústico y térmico, así como un material ignífugo; en este último artículo se menciona además, que a pesar de que la fibra de coco marrón o también llamada "brown fiber" por el momento es la más usada en el campo ingenieril, sus distintas variaciones en las propiedades hacen que su uso en el sector constructivo sea poco frecuente.

No obstante, el autor Majid Ali a través de su trabajo investigativo *"Coconut Fibre – A Versatile Material and its Applications in Engineering*" (2010), plasma las diferentes aplicaciones de distintos tipos de compuestos en la industria constructora, dentro de los cuales se presenta la investigación de John, V., Cincotto, M., Sjostrom, C., Agopyan, V y Oliveira, C. (2005) en la producción de yeso y su refuerzo con fibras de coco, en el que se revisó su estado, tras 12 años de haberse implementado y el estado de las fibras no presentaba daño alguno. De igual forma, se plasma la utilización del coco como refuerzo de cemento y mortero aplicados tanto a losas de piso como a material para techo, en donde para los casos de estudio de los autores Aziz, M., Paramasivam, P y Lee, S. (1984) y Ramakrishna y Sandararajan (2005), se concluyó que las longitudes óptimas de las fibras se encuentran entre 2,5-3,75 cm, su volumen óptimo puede ser entre 2,5 a 7,5 y una presión de fundición entre 0,15 MPa a 1,67 MPa; a su vez, este último artículo llegó a la conclusión que entre todas las fibras evaluadas, el coco fue el único que no presentó fracturas, reteniendo porcentajes más altos de su resistencia inicial en comparación con las otras fibras.

La gran mayoría de los artículos revela que estos materiales reducen sustancialmente su costo en contraste con s los materiales disponibles localmente, siendo factibles particularmente en países en desarrollo. A su vez, Li Z, Wang L y Wang X (2007) estudiaron el refuerzo de mortero con esteras de malla de fibra de coco no tejida, encontrando que los compuestos reforzados por tres capas de malla con bajo contenido de fibra, mejoran la tensión de flexión máxima en un 40%, fueron 25 veces más fuertes en resistencia a la flexión y aproximadamente 20 veces más en ductilidad. También se encuentran estudios en donde se incorporó la fibra en sistemas de paneles de paredes y tableros, dentro de los estudios destaca el de Mohammad Hisbany Bin Mohammad Hashim (2005), pues encontró que dentro de paneles de pared hecho de yeso y cemento como aglutinantes y fibra de coco como refuerzo, la resistencia a la compresión aumentó con la adición de las fibras pero su contenido de agua y el aumento en la densidad también disminuye la resistencia a la compresión y con respecto al contenido de humedad no se encontraron cambios significativos pero este aumentó en transcursos de tiempos prolongados. Simultáneamente, en el documento "*Coir based building and packaging materials : final report of project" de* Snijder, M., Keijsers, E., Van den Oever, M., y Van Dam, J. (2006), se evidencia que la cáscara de coco es un excelente material en la producción de tableros sin aglomerantes, pudiendo competir fácilmente con placas comerciales debido a su buen rendimiento mecánico en condiciones estándares y de humedad y la disminución en costes de producción. A su vez, Villa, K. et al en el año 2019 afirmaron que la fibra de coco tiene muy buenas propiedades como aislante térmico y propiedades aceptables como aislante acústico, considerando el impacto positivo que puede tener en el confort térmico de la estructura.

Cabe mencionar que si bien el aprovechamiento de la cáscara de coco residual ha sido ampliamente estudiado en diferentes campos aplicativos, la información y estudios relacionados a la fibra de coco aplicados al sector constructivo, es limitada.

7.2 Marco conceptual

Dentro del desarrollo humano de los individuos que conforman una comunidad, el concepto de **"Hábitat"** juega un papel sumamente importante, pues se refiere tanto a las acciones físico-funcionales e instrumentales de la vivienda, la ciudad y los territorios, así como también abarca su representatividad como lugar de reconocimiento e identidad individual y colectiva; de esta forma, los espacios humanos se transforman en espacios de significación y sentido, apoyados vastamente e inseparablemente en espacios y lugares urbanos físicos y por esta razón, es un marco que permite definir la calidad de vida dentro del contexto del desarrollo humano territorial (Giraldo, F., Bateman, A., Torres, J., 2004). Partiendo de esta perspectiva, según las Naciones Unidas (como se citó en Giraldo, F et al., 2004), el **"Hábitat Urbano"** se concibe como la concentración de personas en las ciudades, dentro de las cuales se comprenden los procesos dañinos de crecimiento, de producción y consumo, uso del suelo y de degradación de su estructura física, condicionando como se mencionó previamente, su entorno y desarrollo intrínsecamente relacionado con la calidad de vida de los habitantes.

Lo anteriormente mencionado se relaciona estrechamente con el acondicionamiento de un espacio propio al ser humano, por eso se hace referencia al **"Sistema Constructivo" o "Modelo Constructivo"** del cual hacen parte; éste es un término de vital importancia en el análisis de los sistemas y procedimientos constructivos, definiéndose como el "Conjunto de reglas o principios sobre una materia racionalmente enlazados entre sí", en donde a su vez, se puede entender como "El conjunto de elementos y unidades de un edificio (o casa) que forman una organización funcional

como una misión constructiva común", por ende estos sistemas se encuentran constituidos por unidades, las cuales a su vez por elementos y estos de igual forma, se constituyen de ciertos materiales, los cuales requerirán de un diseño que responda a las exigencias de su función, a las condiciones a las que se encontrará expuesto y que sea acorde al cumplimiento de su función en torno a la calidad (Monjo Carrió, J., 2005).

Partiendo del último punto, los **"Materiales"** está definido según la Real Academia Española como "Cada una de las materias que se necesita en una obra, o el conjunto de ellas". De igual forma, puede decirse que de los materiales implementados en una construcción, depende la salud de sus habitantes y el consumo de energía requerido en su servicio (Khatib, J., 2016); así mismo, la escogencia preliminar de dichos materiales es de vital importancia en el nivel de calidad ambiental del proyecto y para dicho fín, se deben tener en cuenta ciertas características, entre las cuales se encuentra la durabilidad, definida como "la capacidad de una entidad para realizar una función en determinadas condiciones de uso y mantenimiento, hasta alcanzar el límite de su estado", relacionándose a su vez con la difusión de especies dañinas en los materiales de construcción (como por ejemplo, los fenómenos que se pueden generar en presencia de ciertas sustancias) (Khatib, J., 2016).

Como resultado de estas dinámicas mencionadas con anterioridad, surgen distintos materiales sostenibles, entre ellos los **"Biocompuestos"** los cuales en términos generales, son materiales compuestos elaborados de fibra natural y polímeros no biodegradables derivados del petróleo como PP, PE y epoxis o biopolímeros como la polilactida (PLA) y los Polihidroxialcanoatos (PHA), los cuales son usados en gran variedad de sectores productivos siendo la construcción, agroindustria, biomedicina, conservación de alimentos algunos de los más representativos (Mohanty, A., 2005).

Para el caso de las **"fibras vegetales"**, son compuestos que combinan celulosa, hemicelulosa y lignina derivados ya sea de la hoja (como la sisal), la estopa (evidenciándose el algodón) o las frutas (por ejemplo, la fibra de coco), caracterizándose por ser biodegradables y carbono positivas, absorbiendo así más CO_2 del que generan, y a su vez, estas son susceptibles a la reducción del peso del material hasta en un 40% y al mejoramiento de la resistencia a la flexión, con características adicionales como su baja densidad, rigidez, ductilidad, bajo costo y sostenibilidad. (De Paola, S. et al., 2013).

En el caso de la fibra o estopa de coco, la especie *Cocos nucifera* Linn, es una palma de clima tropical que puede vivir más de 100 años y alcanzar alturas de 20-30 metros. Esta especie presenta dos variedades (alto/gigante y enano) y es de la cual proviene el fruto de coco, el cual está compuesto por tres capas distintas: el exocarpio o epicarpio que inicialmente es verde pero con su madurez adquiere un color marrón o rojizo, esta cubre la siguiente capa que es el mesocarpio también conocida como la estopa y es la región fibrosa que tiene un grosor aproximado de 1-5 cm, presentando cada fibra un diametro que varía de 0,1- 1,5 mm y el endocarpio que es una capa dura o cáscara que cubre el fruto el cual a su vez en su cavidad contiene el agua de coco. Este puede alcanzar un peso de más de 2,5 kg (Hooda, V., Sharma, G., Tyagi, N., Hooda, A., 2012; Siriphanich, J. et al., 2011).

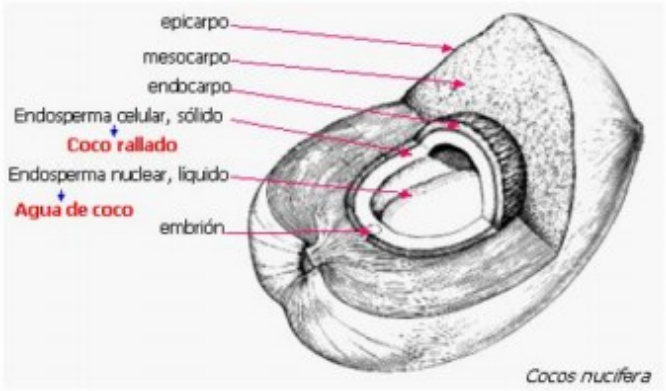


Figura 1.*Estructura general del coco*
Fuente: (Pineda, A., Navarrete, J.. 2018)

Paralelamente los materiales **polímeros** se componen de la unión de cientos de moléculas pequeñas (monómeros) formando cadenas largas. Estos puede clasificarse según su origen: natural (producidos por organismos vivos) o sintéticos (polimerización por reacción química) y según su respuesta termo mecánica: termoplásticos (soporta altas temperaturas), termoestables (no pueden ser nuevamente procesados tras su conformación), elastómeros (pueden deformarse hasta más de un 300%), adhesivos (alta extensibilidad y adhesión) y fibras. Dentro de los polímeros de uso común se encuentran los plásticos, los cuales cuentan con distintos beneficios por su bajo costo, propiedades aislantes, disminución de ruido, resistencia mecánica ante deformaciones entre otras que permiten su diversidad de aplicaciones y usos (Herminda, E., 2011)

Dentro de las resinas poliméricas existentes, el **Polietilen tereftalato (PET),** es uno de los termoplásticos semicristalinos con mayor abundancia y es el único polímero saturado que forma películas y fibras con alto carácter comercial. Para su sintetización, se utilizan principalmente los monómeros etilenglicol (EG) con el ácido tereftálico purificado (TPA) o tereftalato de dimetilo (DMT) en presencia de un catalizador, sin embargo, este último se ha relegado dadas las características del TPA; de igual forma, para la modificación de sus características, se incorporan distintos ácidos dicarboxílicos y dioles alifáticos o aromáticos y para la formación de sus cadenas, se precisa principalmente de dos reacciones: (1) esterificación de grupos carboxilo con grupos terminales hidroxilo, y (2) transesterificación (transalcoholisis) de glicol ésteres terminados en grupos hidroxilo. Este polímero, es comercialmente utilizado en fibras para ropa, líquidos y contenedores de alimentos y se caracteriza por su ligereza, poseer un alto potencial en su desempeño mecánico, puntualmente en su resistencia a la tracción y al desgarro, así como una difusión de humedad considerablemente baja, excepcional resistencia química y estabilidad dimensional, alta resistencia al envejecimiento térmico, buena apariencia estética, gran potencial de reciclabilidad, disponibilidad económica y fácil procesamiento (Mandal, S., Dey, A., 2019).

Por tanto, los biocompuestos presentan características favorables debido a sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, pues en vista de que la fibra brinda un refuerzo al plástico, estos dos compuestos mezclados permiten un efecto de mejoramiento por el aprovechamiento en conjunto de sus propiedades, que le confiere al material una mayor durabilidad y resistencia, además de propender al cuidado del medio ambiente debido a que tiene menor impacto en este, pues al estar compuesto de material vegetal se elimina en menor tiempo del entorno natural, así como el bajo costo que supone la realización de este tipo de materiales (Ramos, C., Caro, J.. 2014).

7.3 Marco teórico

A causa del desmedido crecimiento poblacional y su consecuente demanda de recursos naturales con el fin único de la satisfacción de necesidades, se generaron distintos impactos que han ido deteriorando el ambiente progresivamente por el agotamiento de recursos; es por tal motivo, que se presentó la necesidad de emplear una herramienta que reúne tanto los aspectos ecológicos como los del desarrollo cuando se relaciona con una actividad que puede impactar de alguna forma a una comunidad o grupo de personas, y es allí donde surge el término **"Desarrollo Sostenible"**, definido comúnmente de acuerdo con el Informe de Brundtland en la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo como: "El desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades"; en donde se encuentra la sostenibilidad basada en tres principios básicos:

i. Medio Ambiente: en el que se indica la protección y restauración de los recursos naturales, hábitats y sus respectivos ecosistemas (Khatib, J., 2016).
ii. Social: en la cual se debe hacer énfasis en en la responsabilidad social ética, la promoción de la igualdad, el bienestar y la justicia social (Khatib, J., 2016).
iii. Económico: donde se hace hincapié en la distribución equitativa y justa de los recursos económicos (Khatib, J., 2016).

De esta forma, se generaron distintos acuerdos y convenciones que aportan progresivamente al compromiso global guiados a dar cumplimiento a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, planteado recomendaciones específicas como el aumento de legislaciones y regulaciones a sectores que deban implementar fuertes acciones de cumplimiento, obedeciendo las mismas para alcanzar dichos objetivos teniendo en cuenta la gran cantidad de impactos que desencadena. Un ejemplo claro es la industria constructiva, la cual consume grandes cantidades de materias primas, en donde la extracción, el procesamiento, y el transporte de estas emite altos niveles de CO_2 a la atmósfera, siendo participe de la contaminación del medio ambiente y de repercusiones sobre los humanos (Khatib, J. 2016. pg 14); por lo cual se evidenció que el consumo de dichos recursos no puede mantenerse en los niveles actuales y es de allí donde proviene el término de **"Construcción Sostenible"**, aquella referida a las mejores prácticas embebidas en el ciclo de vida de las edificaciones teniendo el cuenta su diseño, construcción y operación; aportando de manera concisa a la minimización del impacto del sector constructivo en problemáticas ambientales causadas de forma directa e indirecta por sus actividades, como lo es el cambio climático por las emisiones de efecto invernadero, el consumo de recursos mencionado con anterioridad, acidificación de la biota, toxicidad (ecológica y humana), deforestación y pérdida de tierra cultivable ligándose a la consecuente pérdida de biodiversidad y el agotamiento de recursos hídricos (Khatib, J. 2016. pg 14,15); pretendiendo tener como objetivos principales la racionalización, el ahorro, la conservación y la mejora (Gracia, J., 2015).

A través del tiempo se ha venido incrementando el aprovechamiento de residuos agroindustriales para incorporarse como materia prima en la elaboración de otros materiales y productos, es por ello que se hace referencia a la *"**Gestión de los residuos sólidos"*** pues son aquellas operaciones guiadas al adecuado manejo en términos económicos y ambientales de los residuos generados en un determinado lugar, teniendo en cuenta algunos aspectos significativos como lo son las características de los residuos, su volúmen, procedencia, posible recuperación y su costo adicional implicado (Andre, F., 2015); de esta manera se promueve el uso de prácticas como la reducción y/o reciclaje, adicional a la promoción de buenas prácticas por parte de la comunidad para la que exista una disminución en la corriente de residuos generados y por tanto un uso eficaz y eficiente de recursos, potencializando su valor comercial (Cruz, S., Ojeda, S., 2013).

7.4 Marco normativo

Tabla 1. *Marco legal aplicable*

Tema	Normativa	Descripción de la norma
Política ambiental Nacional	Ley 9 de 1979	Por la cual se dictan medidas sanitarias. Hace referencia a especificaciones de localización, de manera que se eviten riesgos y peligros por condiciones externas naturales y/o antrópicas, garantizando la seguridad de las edificaciones.
	Constitución política de 1991	Art. 79: La ley garantiza la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarle, promoviendo el derecho a gozar de un ambiente sano. Art. 80: El Estado debe planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución, así como cooperar con otras naciones en la protección de los ecosistemas fronterizos.
	Ley 388 de 1997	Establece el POT (Plan de Ordenamiento Territorial), como instrumento a los municipios para promover el ordenamiento territorial de los mismos, mediante mecanismos en 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.
	Decreto 1600 de 2005	Por el cual se reglamentan las disposiciones sobre licencias urbanísticas, reconocimiento de edificaciones y legalización de asentamientos humanos. Para mejoras y reparaciones locativas que propicien viviendas con condiciones de higiene, manteniendo las características funcionales, estructurales y de distribución.
	Política de Gestión Ambiental Urbana (2008)	Busca establecer principios e instrumentos de política pública para poder administrar y manejar el medio ambiente dentro de las áreas urbanas, teniendo en cuenta sus problemáticas actuales y sus atributos específicos.
	Agenda 21 (2012)	Emitida por el MADS. Busca promover las edificaciones sostenibles mediante establecimiento de parámetros ambientales para su diseño y construcción, ayudando al planteamiento del diseño del reglamento técnico de eficiencia energética para vivienda, con el fin de hacer uso adecuado y racional del recurso; Propende a la integración al desarrollo de ciudades sostenibles.
	Decreto 1285 de 2015	Modifica Decreto Único Reglamentario del Sector 65 Vivienda, Ciudad y Territorio, el cual hace énfasis en los direccionamientos de construcción sostenible para edificaciones, permitiendo el manejo de responsabilidad ambiental y social que contribuya al mejoramiento de la calidad de vida de la población.

	Normativa	Descripción de la norma
	CONPES 3919 (2018) Política Nacional de Edificaciones Sostenibles	Su objetivo es fomentar la integración de criterios de sostenibilidad conforme al ciclo de vida de las edificaciones, para que se logre cambiar el modelo de construcción sostenible mediante la transición, seguimiento, control, incentivos económicos.
	Cartilla de Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana (2012)	Publicada por el MADS y el Viceministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Hace referencia a los criterios de sostenibilidad ambiental que sirven como guía para la optimización del ciclo de vida de las edificaciones, tomando en cuenta los diversos impactos asociados al tipo de materiales que se utilizan actualmente en la construcción convencional. Se realiza una serie de propuestas ligadas a los criterios ambientales, planteando los lineamientos que se deben seguir para cada uno.
Sellos Nacionales	Sello ambiental Colombiano (Creado bajo la resolución 1555 de 2005)	El MAVDT en conjunto con el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo lo crean para ser una certificación del cumplimiento oportuno de criterios ambientales además del establecimiento y puesta en marcha de un sistema de gestión ambiental para que estos criterios se cumplan. Este sello puede ser dado a un producto o servicio que haga uso adecuado de los recursos naturales que requiere, uso de materias primas que no tienen repercusiones negativas en el ambiente, implementación de procesos productivos con rendimiento energético bajo o uso de energías renovables, apropiación de sistemas de reciclaje, reutilización, biodegradabilidad o uso de materiales con empaques.
	Sello ambiental colombiano para edificaciones sostenibles	En conjunto con el MAVDT, el ICONTEC, empresarios, universidades y gremios se logró llevar a cabo la implementación del sello en mención. Este sello se confiere a aquellas edificaciones que se establezcan con criterios de sostenibilidad, se dictaminan las pautas y requerimientos de calidad, seguridad, y protección ambiental y salubridad. No es aplicable a viviendas.
Certificación	LEED "Leadership in energy and environmental designs"	El sistema LEED surgió bajo la organización "United States Green Building Council"; fomenta el desarrollo de edificaciones basados en criterios de sostenibilidad y alta eficiencia; esto permite generar entornos ambiental y socialmente responsables, que permitan el mejoramiento de la calidad de vida de sus usuarios. Evalúa para 9 categorías los criterios de calidad.
	BREEAM "Building Research Establishment's Environmental Assessment Method"	Surge por la organización BRE, el objetivo principal de este sistema es la investigación, la asesoría y el desarrollo de experiencias para el sector constructivo, por medio de la evaluación de sostenibilidad ambiental en edificaciones en las fases de diseño, ejecución y mantenimiento para cada tipología de uso, buscando promover el mejoramiento de la calidad de vida de sus usuarios, teniendo en cuenta además una valoración económica, de manera que sean mejoras rentables.

Fuente: Autoras, con referencia de Consejo Nacional de Política Económica y social, 2018; García, A., 2016; MAVDT, 2008; MAVDT, 2008; MAVDT, 2012; Ministerio de Vivienda, ciudad y Territorio, 2015; Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá. D.C. 1997; Susunaga, J. 2014

Se puede concluir que en cuanto a lo referente a la construcción sostenible dentro del territorio colombiano, que en el marco normativo se han implementado mecanismos que articulan legislación ambiental, urbanística y de planeación urbana; sin embargo no evidencia la fortaleza de planeación y gestión en esta actividad productiva, pues existe una ausencia por parte del Estado, el cual debe de prevenir, reducir y mitigar, además de promover soluciones y alternativas que favorezcan los procesos constructivos, responsables con el medio ambiente, que velen por la seguridad de las personas y promuevan la economía (Mauricio, O., Pérez, M., García, F.. 2015); esto condiciona a que los procesos constructivos en gran medida se den de manera tradicional, siendo poco sensibles hacia el adecuado uso y protección de recursos naturales y medio ambiente; esta dinámica está dada también por falta de incentivos por parte del Gobierno colombiano para que exista emprendimiento en cuanto a construcciones sostenibles y esto implica además apoyo en materia de investigación e innovación para el mejoramiento del ciclo de vida de las viviendas. Existe una limitación relacionada a criterios técnicos, pues estos están basados en mayor medida en ahorro de agua y energía en las edificaciones y dejan de lado algunos otros aspectos de gran relevancia para que la edificación sea sustentable (García, A., 2016).

7.5 Marco Geográfico

El municipio de Nuquí pertenece al departamento del Chocó, ubicado hacia el occidente de Colombia, a 5 m.s.n.m sobre la vertiente occidental de la serranía del Baudó, con coordenadas geográficas 5° 42” de latitud norte y 77°16” de longitud oeste, limitando al Norte con el Municipio de Bahía Solano, por el Sur con el Municipio Bajo Baudó, al Occidente con el Océano Pacífico (mar de Balboa) y al Oriente con el Municipio del Alto Baudó. El municipio cuenta con una extensión total de 956 (Km2), en donde 70 (km2) corresponden a la cabecera municipal Nuquí y 886 (Km2) a territorio rural (Alcaldía municipal de Nuquí, Chocó., 2016; IDEAM, 2010).

El municipio tiene una población de 8.576 habitantes, de los cuales, el 43% (3.753) habita en la cabecera municipal y el 57% (4.823) en la zona rural. Igualmente, de la población total, 4.348 de los pobladores pertenecen al género femenino y 4.228 al masculino, en donde la población potencialmente activa de empleo corresponde a un número de 4,626 individuos, que sustentan o soportan a un número de 3.950 ciudadanos inactivos (0-15 años y mayores de 60 años) (Alcaldía municipal de Nuquí, Chocó., 2016).

Cabe mencionar que debido a la localización geográfica del Pacífico colombiano dentro de la Zona de Convergencia Intertropical, y de esta forma, el municipio ubicado dentro de la región del Chocó Biogeográfico, se caracteriza por tener fenómenos que interactúan entre sí, los que produce situaciones meteorológicas tanto regionales como locales particulares, de modo que conllevan a una compleja climatología dentro del municipio, la cual a su vez, se encuentra influenciada por factores como lo son la interacción entre el agua de río, el agua de mar, pantanos y llanuras de desborde, así como la configuración de su relieve que ocasiona movimientos de aire de forma vertical y horizontal, corrientes de convección ascendentes, la distribución y orientación de las serranías y valles y su tupida vegetación (Merlano, J., Harders, F., 2009)

Se encuentran ecosistemas de Bosque Muy Húmedo Tropical, Bosque Pluvial Tropical y Bosque Húmedo Tropical, con dos zonificaciones climáticas (Cálido Perhúmedo y Cálido Superhúmedo), así como ecosistemas de selva húmeda caracterizados por cielos encapotados, altas pluviosidades y, consecuentemente adaptados a las constantes dinámicas de agua freáticas y de inundación, precipitaciones anuales totales que superan los 5.000 mm y en lugares específicos (sur-occidente) valores de hasta 7.000 mm anuales; de igual forma, cuenta con un temperatura media de 24-26 °C y una humedad relativa media por encima de 85% aproximadamente, un brillo solar que oscila entre 52 y 100 horas mensuales (noviembre como el mes más bajo y febrero el más alto), una alta nubosidad entre 5 y 7 octas y cuenta con 11 cuencas hidrográficas, de las cuales el río Nuquí y la quebrada Acanchí, interactúan directamente con el municipio (Alcaldía municipal de Nuquí- Chocó, et al., 2005; IDEAM, 2010).

Figura 2. Cabecera Municipal de Nuquí, Chocó
Fuente: Autoras, 2020

7.6 Marco institucional

Para el desarrollo del proyecto se tiene en cuenta, como se muestra en la Figura 3, aquellas instituciones de orden nacional e internacional bajo las cuales se enmarca el mismo y con las que se trabaja de la mano para la adquisición de conocimiento de la zona de estudio y la temática principal de construcción sostenible que engloba el proyecto:

En el caso de las instituciones nacionales, aquellas que están relacionadas más directamente con el proyecto son: a.) La Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó, que al ser órgano rector en la planificación del territorio, influye directamente sobre la planificación del modelo constructivo de la zona, así como un canal directo de información para llevar a cabo el proyecto investigativo (Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó., 2018); b.) el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, pues al ser una entidad pública a nivel nacional, fomenta el desarrollo sostenible a partir del fortalecimiento del desempeño ambiental de los sectores productivos, como articulador entre estos sectores y los diferentes actores para la implementación y seguimiento a las políticas y lineamientos ambientales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020); c.) el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio que teniendo en cuenta que entre sus funciones directas se encuentra la planeación y desarrollo urbanístico en materia de vivienda, para el mejoramiento integral de barrios y la calidad de vivienda, urbanismo y construcción de vivienda sostenible, permite y contribuye al mejoramiento de la calidad de vida de la ciudadanía (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2020); y para finalizar, d.) el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS), el cual tiene como misión un propósito de asegurar, con mejores prácticas de urbanismo y construcción sostenible, entornos prósperos, ambientalmente responsables, inclusivos y saludables para todos. Este dirige, además, la industria de construcción a la sostenibilidad integral y crecimiento verde (CCCS, 2016).

Por otra parte a nivel internacional se tienen en cuenta algunas instituciones enfocadas hacia la construcción sostenible: a.) U.S Green Building Council (USGBC), es el consejo de construcción verde de los Estados Unidos, el cual promueve la sostenibilidad en el diseño, construcción y funcionamiento de los edificios en EE.UU y a través de la creación de la certificación LEED, pretenden transformar la forma en que se diseñan, construyen y operan los edificios y las comunidades y de esta forma, permitir un entorno ambiental y socialmente responsable, saludable y próspero (U.S Green Building Council, 2020.); b.) Building Research Establishment Group (Bree), fue la primera organización orientada a la investigación en el sector de la edificación en el mundo (BREEAM ES, 2020) y se concibe como un centro de ciencias de la construcción multidisciplinario que tiene como misión mejorar los edificios y la infraestructura por medio de la investigación y la promoción de conocimiento, creando para el año de 1999 la certificación BREEAM, el cual por medio de sus estándares aspira a la mejora continua del rendimiento e innovación en el sector constructivo (BREEAM UK, 2020)

Figura 3. *Organigrama Institucional*
Fuente: Autoras, 2019

8. Metodología

Inicialmente se identificó una problemática dada en un área específica del país que estuviese relacionada con déficit de calidad de vivienda por uso inadecuado de materiales de construcción, posteriormente se eligieron los objetivos con los que se iba a cumplir paulatinamente el objetivo principal del proyecto, dando solución a esta problemática por medio de la implementación de técnicas e instrumentos pertinentes para el desarrollo del mismo.

8.1 Enfoque

El presente estudio es de enfoque mixto, pues integra el enfoque cualitativo y cuantitativo. Inicialmente se presenta un enfoque cualitativo, pues se parte de la integración de los datos recolectados a partir de una descripción sistemática de la situación actual en el municipio de estudio conforme a su modelo constructivo y con base en la información, determinar una situación ideal a través de su análisis para mejorar el confort y seguridad de los habitantes, comprendiendo las necesidades de éstos; adicionalmente se requiere del enfoque cuantitativo pues la elaboración del material con potencial aplicación en la industria de construcción, suponiendo unas características en su composición, que se evaluaron mediante pruebas de laboratorio para determinar algunas de sus propiedades y así determinar la viabilidad del material. Este enfoque requiere mayor esfuerzo en cuanto a recursos económicos, tiempo y conocimiento puesto que implica un mayor contenido de información al integrar el enfoque cualitativo y el cuantitativo (Sampieri, R., Fernández, C., Baptista, M., 2014).

8.2 Alcance

Para la realización del trabajo investigativo se determinó que este tiene un alcance descriptivo y correlacional:

8.2.1 Descriptivo.

Se busca detallar las características de la comunidad de estudio, en este caso, la cabecera municipal de Nuquí, Chocó y de esta manera, se realizó un análisis de la situación actual conforme al modelo constructivo de la zona identificando las variables y conceptos relevantes, para permitir así dimensionar el problema basándose en su cultura, materiales de construcción de uso actual, situación estructural de las viviendas en el casco urbano de la zona, condiciones de las viviendas, entre otros y cómo esto repercute en la calidad de vida que tienen los habitantes, permitiendo así dar una alternativa de solución a partir del uso de residuos poliméricos de mayor disposición y fibras vegetales con abundante presencia en la zona (Sampieri, R et al ., 2014).

8.2.2 Correlacional.

Su finalidad es conocer la relación existente entre dos o más variables, en este caso, la caracterización física, química y térmica de la matriz polimérica, las fibras vegetales, su incorporación en la elaboración del biocompuesto y el modelo constructivo de la zona urbana del municipio de Nuquí, Chocó, para que de esta manera se pueda mejorar la calidad de vida de la comunidad interviniendo en los materiales de construcción que se usan cotidianamente en el lugar (Sampieri, R et al., 2014).

8.3 Método

Se implementó el método analítico-sintético, por el cual se descompuso el objeto de estudio en distintas variables, las cuales se estudiaron individualmente para lograr entender la dinámica de cada una de ellas de manera precisa, y posteriormente, poder estudiarlas integradamente, llevando a cabo un estudio holístico (Morán, G., Alvarado, G., 2010).

8.4 Unidad de análisis

La investigación tuvo como objeto de unidad de análisis la evaluación de un biocompuesto realizado a base de fibra de coco extraída del mesocarpio del fruto y una matriz polimérica de PET, como potencial aplicación en la industria constructora dentro del casco urbano de Nuquí, Chocó (Sampieri, R et al ., 2014)..

8.5 Técnicas e instrumentos

Dentro del trabajo investigativo se implementaron técnicas de tipo cualitativo y cuantitativo, precisadas en cada objetivo específico junto a los instrumentos utilizados (Sampieri, R et al ., 2014).

8.5.1 Objetivo I.

Diagnosticar la condición ambiental de la comunidad enfocada en el modelo constructivo de las viviendas en el casco urbano de Nuquí, Chocó

El primer objetivo tiene un diseño cualitativo, con un alcance de tipo explicativo y correlacional, ello teniendo en cuenta que por medio del presente se llevó a cabo un diagnóstico inicial en la comunidad del casco urbano de Nuquí, Chocó, específicamente en el Barrio La Unión, Bella Vista y Miraflores, por medio de la descripción sistemática de las características de la comunidad de estudio y de esta manera, realizar un análisis de la situación actual conforme al modelo constructivo de la zona identificando las variables y conceptos relevantes, permitiendo así dimensionar el problema, y cómo éstas variables pueden repercutir en la calidad de vida que tienen los habitantes; adicionalmente

evidenciar la problemática conforme a la inadecuada disposición y aprovechamiento de los residuos sólidos de la zona, específicamente los residuos poliméricos (PET) y la fibra de coco, siendo esta última la fibra vegetal seleccionada para el actual estudio y así mismo, identificar cuál es el manejo dirigido a la situación en mención por parte de la comunidad (Sampieri, R et al ., 2014). De esta forma, las actividades a realizar en este objetivo sirven para definir las preguntas de investigación de carácter relevante y con ello, lograr responder y mejorar dichos aspectos, en donde se tuvo en cuenta las siguientes técnicas e instrumentos:

8.5.1.1 Análisis documental

Se recurrió al análisis documental dado que esté permite describir y representar la información levantada de forma unificada y sistemática. Como primera medida, se procedió a realizar una revisión bibliográfica mediante la exploración, clasificación y categorización de los datos extraídos de bases de datos, estudios y documentos municipales (PGIRS, POT, etc), entre otros, y de esta forma, se efectuó un tratamiento documental, es decir, extraer de manera científico-informativa la información que permite comprender y describir la problemática de estudio de manera detallada (Aguilar, F., 2014; Dalle, P., Boniolo, P., Sautu, R., Elbert R., 2005; Dulzaides, M., Molina , A., 2004).

8.5.1.2 Observación participante

Posteriormente, se ejecutó una visita de campo en la cual se aplicó la técnica de observación participante, contemplándose inicialmente una aproximación directa al fenómeno de estudio por medio de registro fotográfico, notas de campo y grabaciones que permitieron el direccionamiento hacia la alternativa de solución (Aguilar, F., 2014).

8.5.1.3 Encuestas y entrevistas semiestructuradas

Para la recolección de la información de las variables bajo estudio, se acudió a su conversión en preguntas configuradas por encuestas y entrevistas. Por consiguiente, mediante la aplicación de estudio de casos, con la ayuda del análisis de personas y unidades sociales se realizaron encuestas a los habitantes del barrio La Unión, Bella Vista y Miraflores (Anexo 2), seguida por entrevistas semiestructuradas a líderes comunitarios; su aplicación permitió consolidar un análisis y un diagnóstico final de la problemática en torno al modelo constructivo de la zona (Dalle, P. et al, 2005).

Para la selección de número de muestras para las encuestas se aplicó la fórmula de Murray y Larry, la cual es una de las más recurrentes para datos como los que se necesitan:

$$n\frac{N * Z^2 * p * q}{d^2 * (N-1) + Z^2 * p * q}$$

Ecuación 1: Número de muestras de la población de estudio
Fuente: (Spiegel, M., Stephens, L., 2009)

Donde:
N= Población finita; *Z*= Nivel de confianza (95%) = 1,96; *p*= Probabilidad de éxito (0.5); *q*= Probabilidad de fracaso (0.5); *d*= Error máximo permisible (entre 0.01 y 0,1)

Se tomó un valor para error máximo permisible de 0,1 y teniendo en cuenta el número de habitantes de la cabecera municipal (3753 hab) pues no se contó con el número de viviendas totales dentro del

casco urbano; de esta forma se determina que la población de muestra es muy grande conforme a las condiciones presentadas en el municipio para la ejecución de las encuestas, debido a disponibilidad de tiempo por parte de las personas, por lo cual se realizó un ajuste en el valor y se contempló el análisis con un total de 30 personas, y esto mediante la aplicación a solo una persona por vivienda.

8.5.1.4 Zonificación de viviendas en riesgo por amenazas naturales

Una vez identificados en la caracterización del área de estudio, los fenómenos naturales principalmente incidentes en damnificar el modelo constructivo del casco urbano de Nuquí, Chocó, se realizó una zonificación de la interacción de estos fenómenos y la ubicación de las viviendas en la zona de estudio por medio de herramientas transversales como lo son los SIG y las técnicas participativas; estas técnicas permiten sectorizar las zonas más vulnerables del municipio de manera precisa y de esta forma, identificar potenciales oportunidades en el mejoramiento de las problemáticas que presenta el modelo constructivo de la zona (Rodríguez, A., Lozano, L., Sierra, P., 2012).

8.5.1.5 Análisis de datos

El análisis de datos recolectados a partir de las encuestas y entrevistas se efectuó por medio de la depuración y posterior codificación de la información a partir de la agrupación de los mismos en categorías y de allí se prosiguió para el caso de las encuestas a la realización de una tabulación tipo distribución de frecuencias (Microsoft Excel) y se midió cada dato por medio de la utilización de herramientas de gráficos (Sigmaplot); a su vez, para las entrevistas se procedió a integrar la información por medio de una relación de categorías y luego, para ambos casos se realizó el respectivo análisis y presentación de la información (Díaz, V., 2009; Fernández, L., 2006).

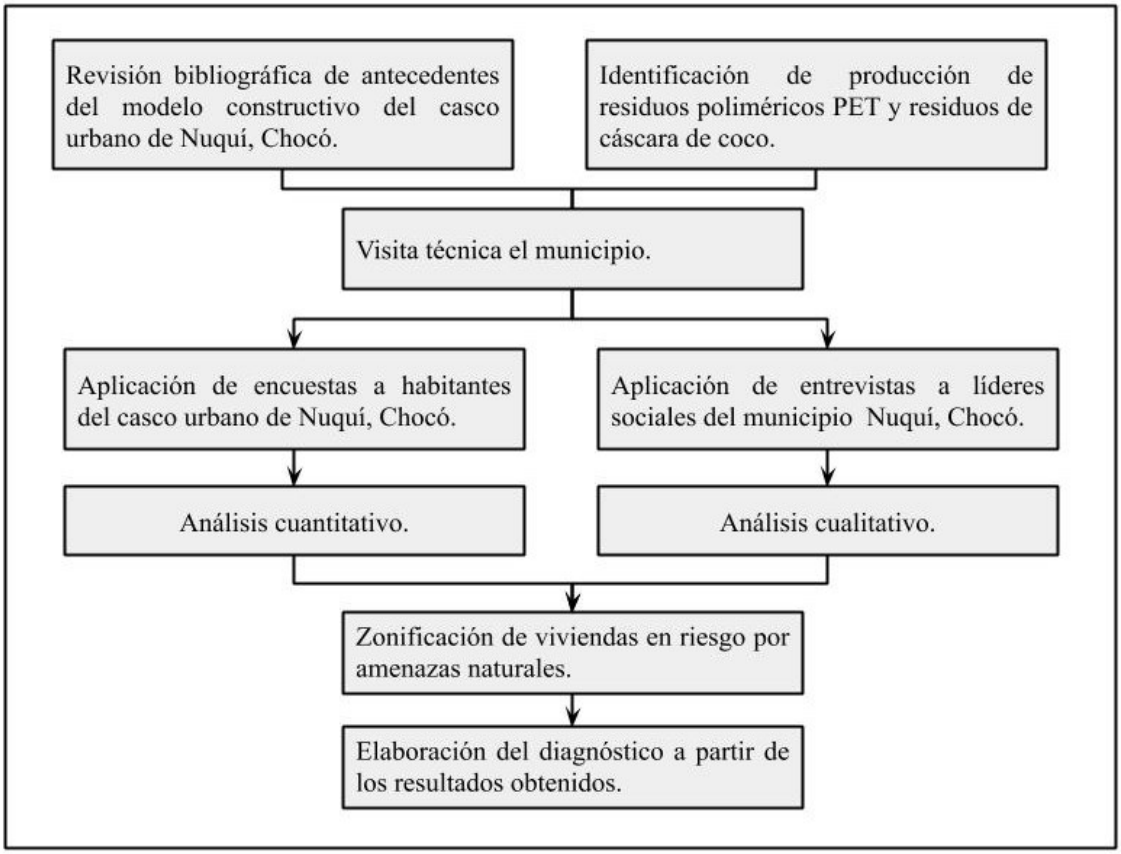


Figura 4. *Esquema metodológico primer objetivo*
Fuente: Autoras, 2019

8.5.2 Objetivo II.

Diseñar un biocomposito teniendo en cuenta sus propiedades físicas y térmicas, a partir de los residuos poliméricos y orgánicos seleccionados con mayor producción y consumo en la zona de estudio.

El desarrollo del segundo objetivo tiene un enfoque cuantitativo, pues se procede a realizar el diseño de un material de construcción sostenible que se adapte a las exigencias identificadas en el análisis ambiental de la zona de estudio previamente identificado, por medio del cual se contrastaron diferentes variables que condicionan el modelo constructivo del casco urbano de Nuquí, Chocó. Por su parte, el alcance de este objetivo es de tipo correlacional, pues analizó la relación entre las propiedades físicas, químicas y térmicas, y a partir de las mismas se aproximó el desempeño del material (Sampieri, R et al ., 2014). A continuación, se evidencian las técnicas e instrumentos para el desarrollo del procedimiento que se encuentran a continuación de manera explícita:

8.5.2.1 Recolección de muestras:

Se realizó la visita inicialmente al centro de acopio de materiales reciclables "RedCiclamos" ubicado en el barrio Miraflores en el casco urbano del municipio y paralelamente se realizó la visita al corregimiento de Coquí, al suroccidente del casco urbano, donde se realiza el aprovechamiento de fruta de coco con fines productivos. De esta manera se tomaron muestras de plástico PET y cáscara de coco residual respectivamente, en el cual se siguió el protocolo de la cadena de custodia de la muestra, es decir, aplicando un manejo de muestras con los cuidados mínimos para evitar su contaminación (Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, D. C., 2008)

8.5.2.2 Caracterización Química de la fibra vegetal

Se determina la composición química de las fibras del coco para así poder identificar la variación de sus propiedades, en este caso se determinan aquellos compuestos predominantes (celulosa y lignina) y otros materiales de menor proporción (extraíbles), pues su contenido influye en gran medida en sus propiedades, en donde destaca el comportamiento mecánico de la fibra (Enciso, M., 2018).

8.5.2.2.1 Extraíbles:

Los extraíbles son compuestos químicos que se deben de eliminar previamente al realizar pruebas adicionales, pues debido a su composición pueden alterar las cantidades de otros compuestos estructurales en la biomasa. Se realizó de acuerdo con el estándar TAPPI T-264 *"preparación de la madera para el análisis químico"*, de esta manera, la eliminación de extraíbles se realizó mediante dos fases, en la primera, se realiza una eliminación de resinas, ácidos grasos, esteroles, ceras y grasas mediante el uso de acetona y en la segunda, por medio del empleo de agua destilada caliente se eliminan los taninos, gomas, azúcares y materia coloreada que son aquellas sustancias solubles en agua (Álvarez, A., Pizarro, C., Folgueras, M., 2013).

Inicialmente se tomó una cantidad de 7,5 g de fibra, ubicándose en un cartucho de extracción Soxhlet con 200 ml de acetona durante un periodo de 7 h, en constante ebullición; posteriormente, se extrajo la muestra y se lavó con agua caliente para eliminar la acetona, se transfirió a un Erlenmeyer (1L) y se añadieron 500 mL de agua destilada hirviendo, nuevamente permaneciendo en constante ebullición por 1 h. Llegados a este punto, se filtró y lavó con agua caliente y luego, se dejó secar la muestra de fibra. (Álvarez, A. et al., 2013). Finalmente, se determinó el contenido de extraíbles mediante la Ecuación 2.

$$\%\, Extraíbles = (7.5 - P.M.)/7.5 \times 100\%$$

Ecuación 2. Determinación de porcentaje de extraíbles en muestra de coco

Donde:
P.M.= Peso de la muestra libre de extraíbles (g).

8.5.2.2.2 Lignina:

El contenido de este polímero dentro de la fibra permite crear un material notablemente resistente a los impactos, compresiones y flexiones, propiciando la presencia de propiedades idóneas en la fibra. De esta manera su determinación se realizó mediante la norma técnica (ANSI/ASTM D1106-56).

Se tomó 1 gramo de muestra libre de extraíbles y se depositó en un vaso de precipitado de 100 ml se añadió 15 ml de ácido sulfúrico al 72 % y después, se agitó en baño maría a 20 °C durante 2 h en una plancha calefactora con agitación. Seguidamente, se transfirió el contenido a un erlenmeyer de 1000 mL y se diluyó al 3% con 560 mL de agua destilada, posteriormente se hirvió a reflujo por 4 horas en un balón condensador y se decantó hasta dejar escasa diferencia entre las dos fases. Por último, se filtró la solución, se continuó con el lavado de agua caliente y finalmente, se llevó a secado a 80 °C ± 5 °C hasta conseguir peso constante (Fonseca, M., 2006). A partir de la Ecuación 3, se determinó el porcentaje de lignina.

$$\%\, Lignina = (Peso\ Bruto - Peso\ Tara) \times 100\%$$

Ecuación 3. *Determinación de porcentaje de extraíbles en muestra de coco*

8.5.2.2.3 Celulosa:

Este procedimiento se realizó mediante el estándar (ANSI/ASMT D1103-60). Inicialmente se transfirió 1g de fibra libre de extraíbles a un vaso de precipitado, al cual se le agregaron 10 mL de NaOH al 17.5 %, se agitó y luego se dejó en reposo por 2 min; nuevamente, se aplicó agitación y se dejó en reposo por 3 min. En seguida, se añadió 5 mL de NaOH al 17.5 %, se agitó y se dejó reposar por 5 min (esto se realiza dos veces), reiteradamente se agregaron 5 mL de NaOH al 17.5%, y una vez más, se agitó y se dejó reposar por 30 min en baño maría a 20°C ± 3°C. Se agregaron 30 mL de agua destilada, se agitó y se dejó reposar por 1 hora. Se filtró al vacío con papel filtro previamente tarado, con una solución de 33 mL de agua destilada y 25 mL de NaOH al 17.5 %, se lavó con 30 mL de agua destilada y se dejó de aplicar vacío. Se agregó 15 mL de ácido acético al 10 % y luego de 3 min, se aplicó vacío nuevamente y se lavó con 50 mL de agua destilada esta vez aplicando vacío. Finalmente la muestra se puso a secar en una cápsula de porcelana a una temperatura de 80 °C ± 5 °C por 4 horas y se transfirió a una desecadora durante 15 min; se repitió el secado hasta el peso constante de la muestra (Fonseca, M., 2006). Se precisó el porcentaje de celulosa mediante la Ecuación 4.

$$\%\, Celulosa = \frac{[PMi - PMf] * PML}{Pi} x\ 100\%$$

Ecuación 4. *Determinación de porcentaje de extraíbles en muestra de coco*

Donde:
PMi: Peso muestra inicial (g); *PMf:* Peso muestra final (g); *P.M.L:* Peso de madera libre de extraíbles (g); *Pi:* Peso de madera antes de la extracción (g)

8.5.2.3 Elaboración del biocompuesto

8.5.2.3.1 Pretratamiento de la fibra vegetal

Inicialmente al obtener la cáscara que es donde se encuentra unida la fibra de coco (FC), esta se fraccionó en varias unidades para facilitar la extracción de la misma, la cual se realizó manualmente haciendo uso de tijeras y cuchillo, con el objetivo de que fuese más sencilla la separación de la fibrillas individuales del mesocarpio, peinándolas de tal manera que quedaran lo más lisas posible; posteriormente se sumergieron durante 24 hrs en agua destilada, se extrajeron y lavaron, para luego secarse inicialmente en un horno circulatorio a 70 °C $\pm$ 5 °C por 72 hrs para que su porcentaje de humedad fuese muy bajo o nulo y se pesó. Nuevamente se dejó secar por 24 hrs más a la misma temperatura para disminuir aún más el porcentaje de humedad, ésto se realizó hasta alcanzar peso constante (Escudero, J., Aristizabal, J, 2016) .

Para la modificación de la superficie de las fibras, se aplicó un tratamiento químico a éstas con dodecil sulfato de sodio (DSS), lo cual mejora la adhesión interfacial entre la fibra y el polímero y la resistencia al agua (Li, X et. al. 2009). Estas se sumergieron a temperatura ambiente en una disolución con concentración del (4% p/v) durante 1 h manteniendo una agitación constante y posteriormente se dejó en reposo durante 12 hrs, una vez realizado el lavado, se dejan secar las fibras durante 24 horas en un horno circulatorio a 70 °C $\pm$5 °C, obteniendo de esta forma las fibras de coco tratadas (FCT) (Karthikeyan, A., Balamurugan, K., & Kalpana, A. 2014).

8.5.2.3.2 Pretratamiento del polímero

Se les realizó un lavado con agua y jabón a las botellas a utilizar, para poder retirar impurezas, residuos, suciedad, etiquetas y posteriormente se secaron y se cortaron en trozos pequeños haciendo uso de una trituradora industrial encontrada en las instalaciones del laboratorio de diseño industrial de la Universidad El Bosque para facilidad de su manipulación y agilización del procedimiento. Se prefirió que todas la botellas fueran transparentes para manejar una homogeneidad en el color final del pellet.

8.5.2.3.3 Desarrollo del biocomposito

Con el fin de elaborar un compuesto fibroso (Figura 5), las fibras se recortaron acorde a las dimensiones de las placas de molde de las probetas o pellets, establecidas conforme a los diferentes estándares por las normas técnicas nacionales e internacionales para la comprobación de la calidad del material. El corte de las fibras y su orientación en forma de tejido con capas de orientación vertical y horizontal, reforzadas con superbonder para simular una especie de cruce o tejido entre ellas, se concertaron con el fín de brindar una mayor resistencia al impacto del material (Karthikeyan, A. et al., 2014), al estar estas fibras presentes con un porcentaje no mayor al 65% para no disminuir las propiedades y características del biocompuesto (Olivares, S., Galán, C., Roa, J., 2003). Además, se tendrán diferentes probetas con proporciones matriz/fibra variada (Tabla 2), tanto como para el biocomposito sin tratamiento como para el que cuenta con tratamiento con DSS para evaluar las propiedades de los mismos.

Figura 5. *Clasificación de biocompuestos de acuerdo a la disposición de la fibra*
Fuente: (Olivares, M., Galán, C., Roa, J.. 2003)

Tabla 2. *Composición de los biocompositos en sus diferentes proporciones*

Componente	**Composición N. 1 (%)**	**Composición N. 2 (%)**	**Composición N. 3 (%)**
Fibra de coco	20	30	0
Plástico PET	80	70	100

Fuente: Autoras, 2019

Para cada uno de los moldes con y sin tratamiento y su respectivas proporciones se realizaron triplicados de probetas además de probetas con plástico al 100 %, teniendo así un total de 45 probetas, 15 para cada tipo de molde, en cada caso 3 probetas PL, 3 probetas PET/FCT 70%-30% , 3 probetas PET/FCT de 80 % - 20 %, 3 probetas PET/CF 70 % - 30 % y 3 probetas PET/CF de 80 % - 20 %.

Una vez se contó con las fibras cruzadas tanto tratadas como no tratadas, con su masa correspondiente a cada proporción, se precalentaron dos placas de manera simultánea, a las cuales se les adicionó antiadherente (silicona ultra rápida SIMONIZ ®) para que su desmolde no implique el daño del material; se ubicó la mitad del peso total del plástico en cada placa, todo esto dentro de una mufla a 270 °C hasta que el plástico alcanzara una temperatura ideal para su manipulación y lograr distribuirlo uniformemente en las placas con ayuda de una espátula y microespátula. Posteriormente, se tomó una de las placas y se ubicaron las capas de fibra cruzada dependiendo del porcentaje de fibra dentro del composito que varían conforme a las dimensiones que se busquen, en este caso en concreto tres y dos láminas para las proporciones 70/30 y 80/20 respectivamente, esto se realizó aplicando presión con el fin de llenar las cavidades lo mayormente posible, eliminando las posibles burbujas que se podían formar dentro del material; se esperó a que se enfriara la primera placa, se desmoldó y se introdujo de manera invertida en la segunda placa con plástico, de forma en que las fibras quedaran localizadas hacia adentro del molde, haciendo presión sobre la placa superficial para lograr la unión entre las dos láminas (Santamaría, J., 2015)

8.5.2.4 Caracterización física y térmica

Se realizó la caracterización tanto de los materiales previos a su combinación (PET y fibra de coco) y una vez realizado el compuesto, en sus diferentes combinaciones. Se tiene entonces que para la fibra de coco se realizó la prueba de hinchamiento y en el caso de la matriz polimérica se efectuaron las de densidad, hinchamiento y capacidad calorífica; una vez elaborado el compuesto se llevó a cabo su respectiva caracterización física y térmica. Estas pruebas se realizaron con el propósito de contrastar los resultados de las materias primas individualmente y las del material final, con el fin de determinar las potenciales mejoras del material final teniendo en cuenta las proporciones establecidas y el tratamiento de la fibra con DSS, de manera que se llegase a precisar si existe o no una optimización de sus propiedades para un potencial aplicativo en el modelo constructivo de la zona.

8.5.2.4.1 Caracterización Física

8.5.2.4.1.1 Densidad:

Esta prueba se realizó según el estándar internacional NTC 290, el cual permite determinar el grado de uniformidad de las diferentes muestras. Se procedió a tomar las probetas con dimensiones 1,2 cm x 2,7 cm x 13 cm y se rectificó la masa de cada una de las muestras con una balanza analítica marca Ohaus de referencia L28412282600, la cual cuenta con una incertidumbre 0,0001, teniendo en cuenta que para cada tipo de material la prueba se realizó de manera triplicada, es decir, tres probetas de dimensiones 1,2 cm x 2,7 cm x 13 cm tanto para las pruebas en la matriz polimérica de PET y los compuestos PET/FCT-FC en todas sus proporciones; ello con el fin de asegurar la precisión de los resultados. A continuación, se procedió a medir las dimensiones de cada pellet con un calibrador digital con incertidumbre de $\pm$ 0,001 y con dichos valores, se procedió a tomar la densidad de cada una de las muestras con su respectivo valor de incertidumbre, usando la Ecuación 5 (Igartúa, D. V., Moreno, K., Piter, J. C., Monteoliva, S., 2015; Addleson, L.,1983).

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Ecuación 5. Densidad del material.
Fuente: (Addleson, L., 1983)

Donde:
ρ= Densidad del material (g/cm^3); m= masa del material (g); v= volumen del material (cm^3)

8.5.2.4.1.2 Prueba de hinchamiento

La prueba de hinchamiento permite conocer el porcentaje de humedad que puede retener un material; en el caso concreto del estudio, teniendo en cuenta las condiciones geográficas y climáticas características de la zona, hasta qué punto y de qué manera el PET y fibra de coco, de manera individual y conjunta pueden absorber agua del medio. La prueba se realizó por triplicado con el fin de asegurar la precisión de los resultados, siguiendo como referencia la metodología del estándar internacional ASTM D-570 98, y haciendo uso de probetas con dimensiones 1,2 cm x 2,7 cm x 13 cm.

Se procedió entonces a verter agua destilada en un un vaso precipitado situado en una placa calefactora a una temperatura de 60 °C con agitación constante de 150 rpm. Se dispuso en cada caso las fibras, los compuestos de PET y PET/FCT-FC en cápsulas de plástico numeradas para la toma de resultados, estas con presencia de pequeñas y uniformes perforaciones para prevenir la dispersión de las muestras en el agua. Las muestras fueron pesadas previo a la inmersión y en intervalos de tiempo de 30 min y una (1) hora hasta completar un total de seis (6) horas de prueba, realizando un secado superficial antes de tomar el registro en la balanza analítica, descrita con anterioridad. Finalmente, se determinó el porcentaje de hinchamiento con la Ecuación 6. para cada periodo de tiempo y por medio del software Sigma Plot, se graficó la ganancia de peso en función a la raíz del tiempo en horas, de cada una de las muestras (Enciso, M., 2018; Basaldúa, F., 2016).

$$Mt = \frac{Mt - M0}{M0} \times 100$$

Ecuación 6. Porcentaje de hinchamiento.
Fuente: (Enciso, M., 2018)

Donde:
M_t= Masa de la probeta en un tiempo t del ensayo (g); M_0= Masa de la probeta seca o Masa de la probeta en el tiempo inicial del ensayo (g)

8.5.2.4.2 Caracterización Térmica

8.5.2.4.2.1 Capacidad calorífica

La técnica experimental capacidad calorífica, permite determinar la cantidad de energía en forma de calor que requiere un cuerpo para aumentar 1 °C, a partir de lo cual se logra llegar a precisar la cantidad de calor absorbida o liberada por una sustancia (Suriñach, Baro, Bordas, & Clavaguera, 1992) y por tanto, dentro de la presente investigación, evaluar cuánta energía en forma de calor puede captar la estructura al momento de ser implementada. El procedimiento constó inicialmente en sumergir el material dentro de agua destilada en un vaso precipitado de 500 mL a temperatura de ebullición, llevando el registro de temperatura con un termómetro y con presión atmosférica local (560 mmHg). Paralelamente se pesó e introdujo una muestra de aproximadamente 1 gramo de agua en un calorímetro, manteniendo agitación constante, y mediante un Termopar Data Logger CENTER 374 se tomó registro de su temperatura cada 30 seg durante 3 min, ello con el fin de obtener el valor de temperatura inicial del agua. Luego, transcurridos 40 minutos de la inmersión del material en agua a punto de ebullición, se transfiere el sólido al calorímetro, se aísla y se toma de igual manera el registro de la temperatura cada 10 segundos durante los siguientes siete (7) minutos. A partir de las mediciones se elaboró un termograma del cual se obtuvo T del ensayo en cada una de las matrices poliméricas de PET y las combinaciones de biocompuestos, utilizado en la Ecuación 7. para obtener el calor específico de cada material:

$$Cp = \frac{M_{Agua} \times Cp_a \times \Delta T_{agua}}{M_{Sólido} \times \Delta T_{Sólido}}$$

Ecuación 7. Capacidad Calorífica.
Fuente: (Montoya, J., 2012)

Donde:
M_{Agua}= Masa del agua (g); $M_{Sólido}$= Masa del sólido (g); Cp_a= Capacidad calorífica del agua (J/g°C); ΔT_{Agua}= Diferencial de temperatura (°C); $\Delta T_{Sólido}$= Diferencial de temperatura (°C).

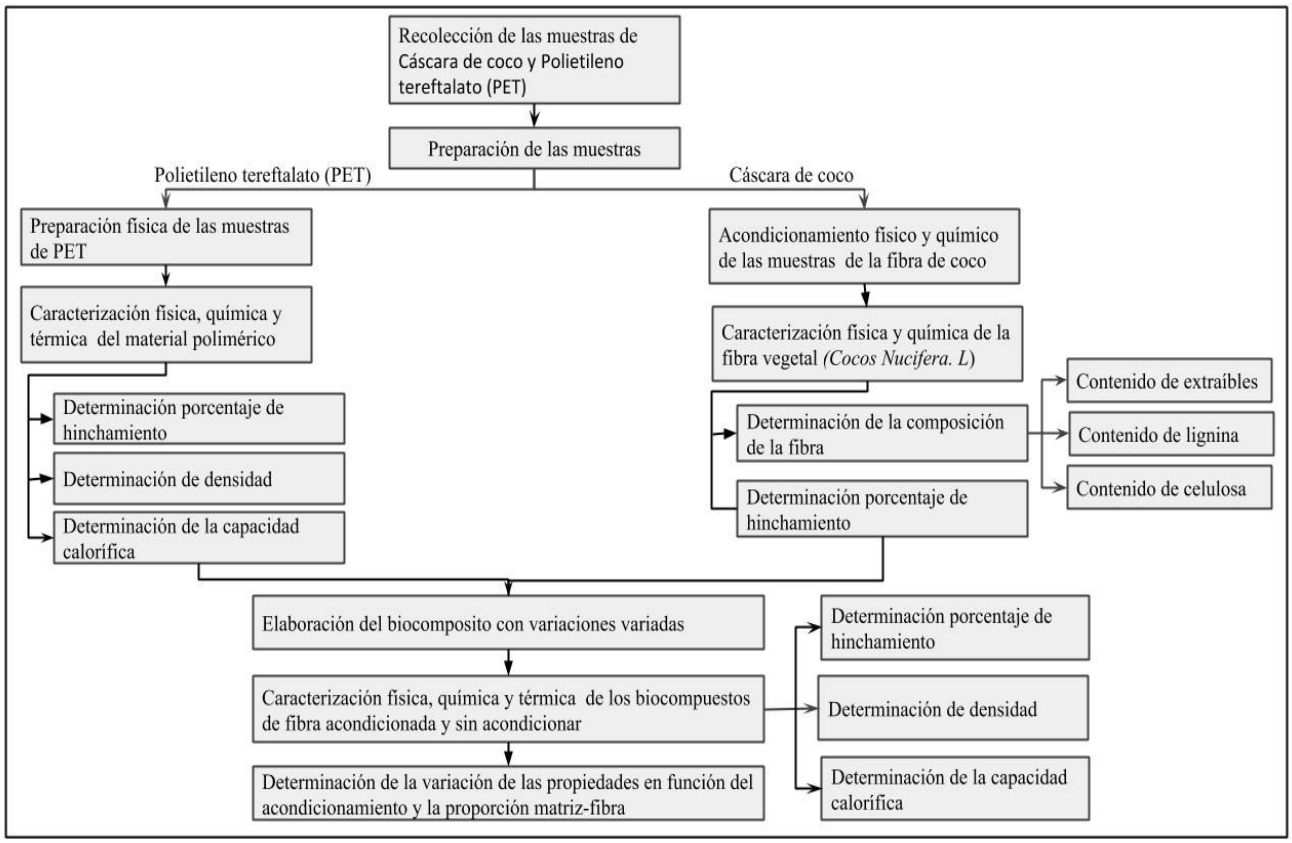


Figura 6. *Esquema metodológico segundo objetivo*
Fuente: Autoras, 2019

8.5.3 Objetivo III.

Establecer la sostenibilidad bajo criterios nacionales e internacionales del material propuesto, de acuerdo a su funcionalidad específica en el modelo constructivo del casco urbano de Nuquí, Chocó.

El enfoque que se implementó en la realización del presente objetivo fue mixto, pues se recurrió a referentes teóricos y estándares voluntarios, como lo son los criterios de sostenibilidad para edificaciones LEED y BREEAM, junto con la Cartilla de Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana; sin embargo, para realizar el análisis del cumplimiento de dichos criterios, al igual que en la evaluación de criterios de funcionalidad del material en torno a la caracterización física, química y térmica recopiladas en el objetivo anterior, se requirió de un diseño cuantitativo, pues se precisó de métodos de cuantificación para describir las relaciones entre las variables. A su vez, el alcance del proyecto se define como correlacional al requerir de la interacción de cada una de las variables determinadas con anterioridad y lograr dar un concepto final del material en términos de función, aplicación y sostenibilidad. A continuación, se evidencian las técnicas e instrumentos utilizados en detalle:

8.5.3.1 Análisis documental

Consistió en seleccionar los atributos categóricos previamente identificados para los diferentes materiales evaluados, es decir, las propiedades de los biocompositos en sus diferentes composiciones y posteriormente, se asignó una puntuación porcentual en rangos de 0-10, teniendo en cuenta el nivel de significancia, el cual se estimó acorde a la influencia de dicho atributo en el desempeño del material en torno a las condiciones que mayor influencia tienen en la degradación del material, identificadas con anterioridad; finalmente, por medio de un análisis descriptivo se identificó el material con mayor rendimiento a largo plazo. Esta técnica, permite seleccionar el material con mejor rendimiento en aplicaciones de la industria constructiva dentro de la zona de estudio (Zenaida, M., 2012).

8.5.3.2 Requerimientos del material

Se determinaron los requerimientos de funcionalidad del material a partir de la selección de las especificaciones más relevantes en torno a su aplicabilidad, dentro de las que se encuentran las especificaciones técnicas, funcionales y basadas en escenarios. Para las especificaciones técnicas, se procedió a correlacionar ciertos atributos categóricos de las propiedades de los materiales tradicionales y convencionales de mayor implementación en el casco urbano de Nuquí, Chocó, en contraste con los obtenidos para el biocompuesto seleccionado y de esta forma, evaluar tanto la aplicabilidad y correspondiente funcionalidad del material; posteriormente, se evaluó la interacción del material y su entorno inmediato para obtener de esta forma, las especificaciones basadas en escenarios (Lutters, E., 2019).

8.5.3.3 Matrices de criterios de sostenibilidad LEED, BREEAM y Cartilla de Criterios Ambientales para el diseño y la construcción de vivienda urbana

Las certificaciones “LEED” y “BREEAM”, así como la guía de buenas prácticas “Cartilla de Criterios Ambientales para el diseño y la construcción de vivienda urbana”, constan de categorías para la evaluación de sostenibilidad en edificaciones, es por ello que se seleccionaron aquellas que son aplicables y que aportan significativamente en la evaluación del material en torno a las condiciones ambientales de la zona. De esta forma, se seleccionó la categoría de Materiales para todos los esquemas de certificación seleccionados, y en cuanto a la certificación BREEAM, se escogieron adicionalmente las categorías de Economía y Comunidades. Teniendo en cuenta los resultados de sostenibilidad, funcionalidad y respectiva aplicabilidad, se determinó la adaptabilidad del material a las condiciones sociales, económicas y ecológicas dentro de la zona de estudio.

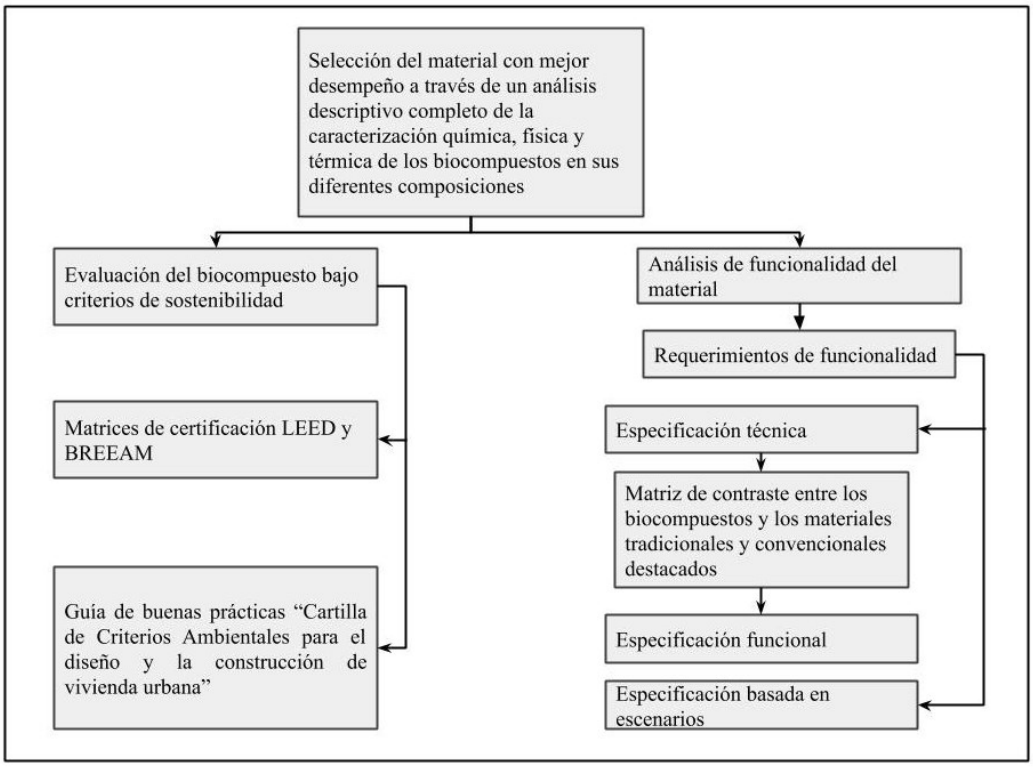


Figura 7. *Esquema metodológico tercer objetivo*
Fuente: Autoras, 2019

Como se evidencia en la Tabla 3, se presentan los indicadores de tipo cualitativo y cuantitativo por objetivo específico, correspondientes a mediciones realizadas por las autoras, así como apreciaciones cualitativas de la información levantada en el diagnóstico ambiental.

Tabla 3. *Variables e indicadores*

Objetivo específico 1: *Diagnosticar la condición ambiental de la comunidad enfocada en el modelo constructivo de las viviendas en el casco urbano de Nuquí, Chocó.*

Dimensión	**Variable**	**Aspecto**	**Indicadores de evaluación cuantitativos y cualitativos**
Ecológico	Condiciones geográficas y climatológicas	-Elementos y factores climatológicos	-Precipitación. (mm/año) -Humedad relativa. (%) -Temperatura media anual (°C). -Brillo solar (hora/mes). -Altitud (m.s.n.m).
Social	Vulnerabilidad física	Amenazas por fenómenos naturales	-Nivel de sismicidad en la zona de estudio (Escala Macro sísmica Europea). -Percepción del movimiento (sismicidad). - Susceptibilidad de inundación. -Nivel de inundación percibido. -Nivel de erosión fluvial y costera.
	Confort habitacional de las viviendas	Condiciones geográficas y climatológicas	-Nivel de concentración de calor en las viviendas (%). -Nivel de humedad presente al interior de las viviendas (%).
	Calidad de vida	Salud	Tipos de enfermedades reportadas en las entrevistas a causa de los incorrectos procesos constructivos.
Técnico	Modelo constructivo	Tipología	-Tipos de viviendas.
	Modelo constructivo	Calidad	-Déficit cualitativo y cuantitativo. -Cambios realizados en las viviendas (%) y razón de cambio (%). -Condiciones deficientes en las viviendas (%). -Personas que necesitan un cambio de procesos y materiales de construcción (%). -Condiciones del entorno que pueden afectar el desempeño de los materiales de construcción (%).
Económico	Vulnerabilidad económica	Vivienda	-Incidencia económica en la selección de materiales de construcción y en las condiciones fundamentales de vivienda (%).

Dimensión	Variable	Aspecto	Indicadores de evaluación cuantitativos y cualitativos
Objetivo específico 2: Diseñar un biocomposito teniendo en cuenta sus propiedades físicas y térmicas, a partir de los residuos poliméricos y orgánicos seleccionados con mayor producción y consumo en la zona de estudio.			
Ecológico	Impacto al medio	Residuos sólidos	-Cantidad de residuos sólidos de plástico PET generados anual. -Cantidad de residuos sólidos de fibra de coco generados anual.
Técnico	Calidad del material	Desempeño del material	-Hinchamiento del material (%). -Capacidad calorífica (J/g°C). -Densidad del material (g/cm^3).
Objetivo específico 3: Establecer la sostenibilidad bajo criterios nacionales e internacionales del material propuesto, de acuerdo a su funcionalidad específica en el modelo constructivo del casco urbano de Nuquí, Chocó.			
Ecológico	Criterio de sostenibilidad del material	Impacto ambiental y aprovisionamiento responsable del material.	-Cantidad en masa de elementos aprovechados necesarios según la aplicación del material (g). -Cantidad de materias regionales extraídos, procesadas y fabricadas in situ (g).
Social	Criterio de sostenibilidad del material	Participación	-Nivel de participación de la comunidad en el proyecto.
Económico	Criterio de sostenibilidad del material	Beneficio económico	-Oportunidades de empleo con la aplicación del proyecto. -Potencial económico del material en la región.
Técnico	Criterio de sostenibilidad del material	Aislamiento	-Resistencia térmica del material (K·m/W).
	Criterio de sostenibilidad del material	Modulación de elementos de construcción	-Dimensiones del material minimizando desperdicios.
	Funcionalidad y aplicabilidad del material	Desempeño del material	-Nivel de mejora en propiedades físicas, químicas y térmicas del material en contraste con materiales tradicionales y convencionales implementados en la zona. -Contraste cantidad de materia prima necesaria y disponible (g). -Eficiencia del material en torno a unidades de material producido conforme a la cantidad de residuos generados. -Degradabilidad del material.

Fuente: Autoras, 2019

Tabla 4. *Matriz metodológica.*

Alcance: Mixto (Cualitativo y cuantitativo)			
Objetivos específicos	**Actividades**	**Técnicas**	**Instrumentos**
Diagnosticar la condición ambiental de la comunidad enfocada en el modelo constructivo de las viviendas en el casco urbano de Nuquí, Chocó.	Revisión bibliográfica y antecedentes del modelo constructivo de la zona.	Etnografía y análisis de resultados.	Bases de datos, libros, documentos técnicos y estudios municipales (PGIRS, POT, etc.).
	Identificar la producción de residuos poliméricos PET y residuos de coco en el municipio.	Análisis de datos.	Estudios municipales (PGIRS, POT, etc.)
	Visita técnica.	Observación participativa	Notas de Campo, fotografías.
	Aplicación de entrevistas a líderes sociales.	Análisis resultados de encuestas, estudio de casos.	Formato de preguntas.
	Aplicación de encuestas a habitantes.	Análisis estadístico de resultados	Formato de preguntas, Tablas en excel, gráficos.
	Zonificación de viviendas en riesgo por amenazas naturales.	Sistema de información geográfica, observación participativa	ArcGis, Cartografía social.
Diseñar un biocomposito teniendo en cuenta sus propiedades físicas y térmicas, a partir de los residuos poliméricos y orgánicos seleccionados con mayor producción y consumo en la zona de estudio.	Recolección de muestras del polímero y la fibra vegetal de estudio.	Muestreo.	Bolsas herméticas, notas de campo, fotografías.
	Caracterización fibra vegetal (*Cocos nucifera L.) y* material polimérico.	Revisión documental.	Bases de datos, libros.
	Caracterización de la composición de la fibra vegetal.	Determinación de contenido de extraíbles, método TAPPI T-264.	Equipo soxhlet, filtro al vacío, estufa, balanza, reactivos.
		Determinación del contenido de lignina, método ANSI/ ASTM D1106-56.	Equipo soxhlet, filtro al vacío, estufa, balanza, reactivos.
		Determinación del contenido de celulosa, método ANSI/ASMT D1103-60.	Vaso precipitado, reactivos, estufa, placa calefactora.

	Actividades	**Técnicas**	**Instrumentos**
	Preparación de las muestras (pretratamiento)	Lavado, tratamiento de DSS a la fibra, secado, trituración	Horno, balanza analítica
	Elaboración de biocompositos.	Diseño estructural con moldeo y compresión.	Mufla, placas de alumínio, antiaderente.
	Determinación de propiedades físicas, químicas y térmicas al material.	Determinación de densidad, Estándar internacional IRAM 9554.	Balanza analítica, calibrador digital.
		Determinación del porcentaje de hinchamiento, ASTM D-570 98	Placa agitadora, balanza analítica, vaso precipitado
		Determinación de la capacidad calórica.	Termómetro, Termopar Data Logger CENTER 374 y Calorímetro.
Establecer la sostenibilidad bajo criterios nacionales e internacionales del material propuesto, de acuerdo a su funcionalidad específica en el modelo constructivo del casco urbano de Nuquí, Chocó.	Determinación del material con mejor desempeño en función de la proporción matriz-fibra.	Análisis de documental.	Matriz evaluación de categorías.
	Determinación de funcionalidad del material.	Análisis descriptivo, comparación y contraste	Matriz de correlación de información.
	Evaluación de la sostenibilidad del material.	Certificaciones (LEED y BREEAM) y la Cartilla de criterios Ambientales.	Matrices de evaluación de criterios de sostenibilidad.

Fuente: Autoras, 2019

CAPÍTULO II. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE NUQUÍ, CHOCÓ

9 Análisis y resultados

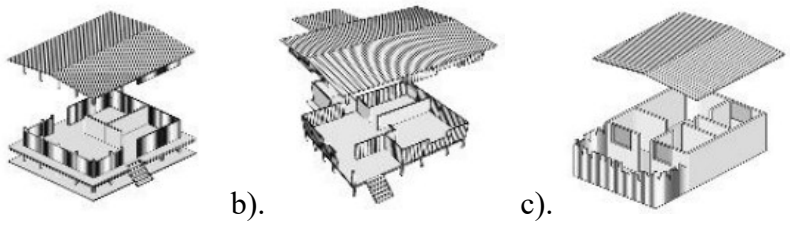
9.1 OBJETIVO I: Diagnosticar la condición ambiental de la comunidad enfocada en el modelo constructivo de las viviendas en el casco urbano de Nuquí, Chocó

Se presenta a continuación la descripción y análisis desarrollado para determinar las condiciones más representativas relacionadas al modelo constructivo de la cabecera municipal de Nuquí, Chocó.

9.1.1 Caracterización del modelo constructivo de la zona.

Se exponen algunos antecedentes que permiten tener un panorama de aproximación al modelo constructivo del casco urbano de Nuquí, el cual, paulatinamente, ha presentado cambios asociados a métodos y materiales de construcción conforme al paso del tiempo.

La tipología de los asentamientos del Pacífico Colombiano (Figuras 8a, 8b, 8c) presentan algunas similitudes en su modelo, para la cabecera municipal de Nuquí este presenta tres tipologías de viviendas: tradicional, moderna y aquella que está dada por una transición de vivienda autóctona a tradicional; esta última evidenciada en aquellas familias que, por circunstancias económicas y sociales, por efectos de la violencia, han causado desplazamientos voluntarios o forzosos (Mosquera, G., 2010).



a). b). c).

Figura 8. *Tipologías de las viviendas del casco urbano de Nuquí, Chocó. a). Autóctona; b). Tradicional; c). Tradicional a moderna*
Fuente: (Medina, D. 2018)

En la distribución de los espacios (Figura 9) predomina la implementación de una fachada principal con dos ventanas, cada una con una cubierta; a su vez se cuenta con una entrada posterior que conduce al patio y algunas viviendas tienen antejardín o patios exteriores. Por otro lado, las viviendas manejan una proporcionalidad entre el área construida y el número de personas que ocupan la vivienda, en términos de la distribución espacial y su funcionalidad (Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó, 2018).

Conforme a algunos antecedentes estudiados, en las construcciones del Pacífico se identifican tres tipos de materiales para uso en construcción: materiales autóctonos que se adecuan conforme al tipo de construcción, materiales tradicionales (obtenidos de la selva) estos se pulen y modifican por las familias y materiales industriales o modernos (cemento, tejas de asbesto y/o zinc) (Maya, L., 2003).

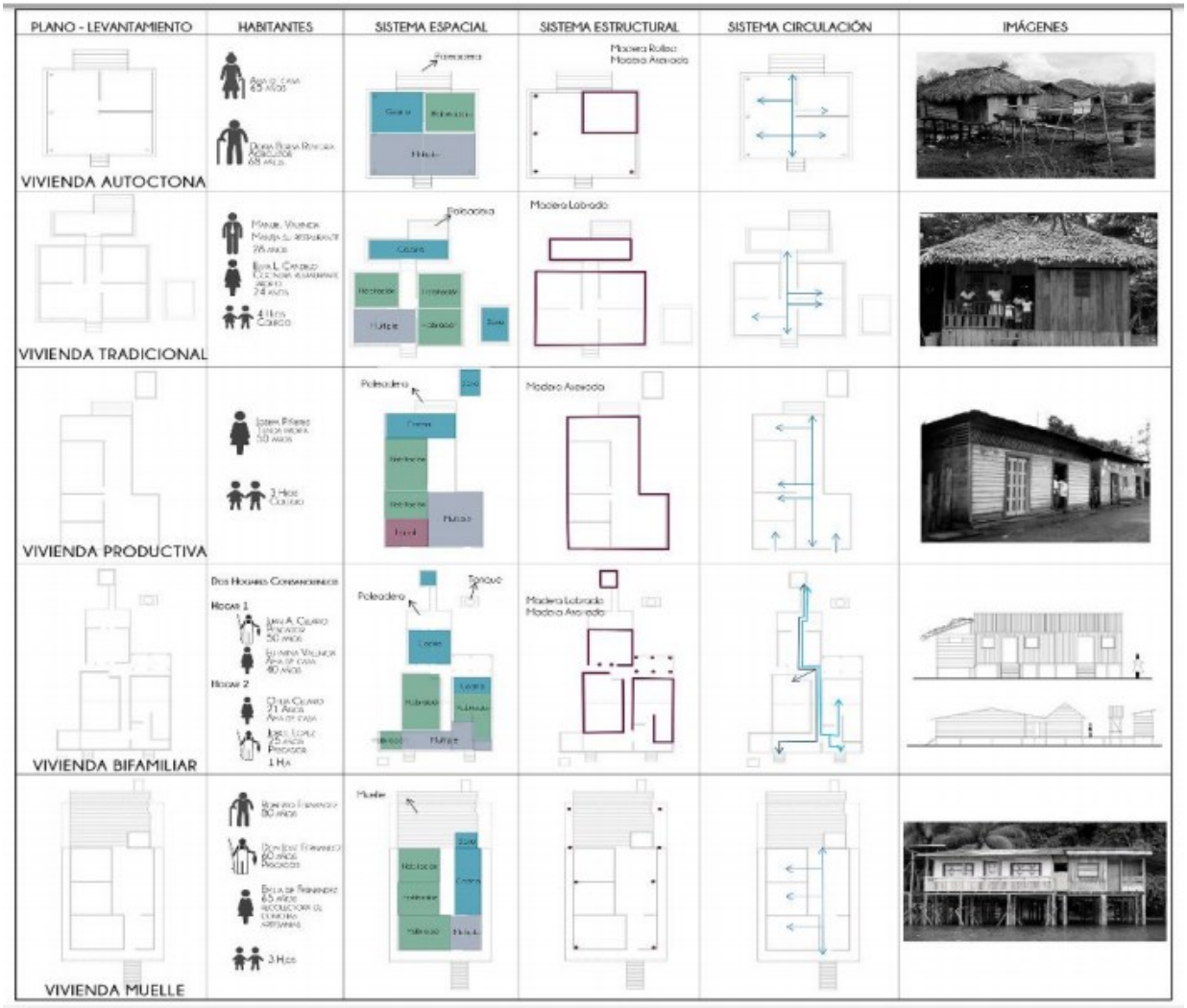


Figura 9. *Sistema de distribución de las viviendas del casco urbano de Nuquí, Chocó.*
Fuente: Medina, D., 2018

De acuerdo con un estudio realizado por la Alcaldía del municipio de Nuquí, en el casco urbano se manifiestan deficiencias cualitativas para un total de 446 viviendas dentro de las cuales predominan problemas asociados a fallas estructurales de las viviendas, daño en los materiales constructivos (madera y paja), diseños infraestructurales, y distribución de los espacios en el caso de los baños (Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó, 2018).

Se evidencia, además, por medio de una encuesta realizada a los habitantes del municipio por Daniela Medina (2018) en el documento "*MUELLE TURÍSTICO Y PESQUERO RISCALES DE NUQUÍ Proyecto para el desarrollo de comunidades pesqueras"*, que el material de construcción de las viviendas con mayor uso para la planta es la madera, baldosa u otro tipo de recubrimiento, mientras que en el caso de los muros se denota como principal el uso de ladrillo. Ahora bien, para la cubierta o techo se presenta como material predominante teja de zinc. Esto indica que siguen existiendo materiales de viviendas provisionales y algunos de estos no son aptos teniendo en cuenta las condiciones de la zona, ya que propician un deterioro acelerado (Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó., 2018).

Según el estudio de Medina, D., para la distribución y espacio de las viviendas se señala que una predominan las casas de una sola planta, prima además la tenencia de la vivienda propia adquirida desde el lote, con un número promedio de cuatro personas en la vivienda, y 3 habitaciones dentro de la misma y se resalta la respuesta de 1 baño con 1 sanitario por vivienda; consecuentemente se presenta que el nivel de satisfacción de la vivienda es alto en un 51,3%, medio en un 32.3%.

En contraste con lo anterior, se plantean algunas problemáticas relacionadas a la vivienda, como lo son las inundaciones que abarcan un 64%; en particular, las inundaciones respecto a su ubicación se presentan como un factor de riesgo, ya que pueden inducir a deficiencias cualitativas y cuantitativas en las viviendas, teniendo en cuenta las elevaciones del nivel del agua de las fuentes hídricas aledañas al casco urbano, lo que origina la presencia de humedad en las viviendas (Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó., 2012) Adicionalmente, se presenta una problemática debido a la escasa ventilación e iluminación dentro de las mismas (Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó., 2018; Maya, L., 2003; Medina, D., 2018).

9.1.2 Caracterización de los residuos sólidos con mayor producción en el municipio.

De acuerdo con el PGIRS 2016- 2027 del municipio, se evidencia que los residuos con mayor generación en la zona son los de origen orgánico (mancha, coco y limón) y reciclables (botellas plásticas PET, latas y plásticos laminares). Aun así, la información recopilada no presenta una aproximación real a la situación actual de la zona en cuanto a la totalidad de residuos generados, pues en primera instancia ACUANUQUÍ S.A. que es la empresa prestadora de servicio de aseo y encargada de recopilar, analizar y brindar datos, muestra en su informe que con respecto a sus 689 suscriptores para el área urbana, solo 123 participaron del proceso de caracterización, lo que significa un 17,9% del porcentaje total de suscriptores, excluyendo poco más del 80% de los residuos totales; y en el caso del área rural, este no cuenta con la prestación de servicio de aseo, en donde a pesar de realizar una caracterización para los dos corregimientos con mayor producción de residuos sólidos (Arusi y Jurubirá), se suprime información referente a los demás corregimientos.

En segunda instancia se expone que algunos de los residuos son aprovechados por parte de los habitantes como abono orgánico para los cultivos de la zona, y a su vez se disponen por medio de quemas o enterramientos en los patios de sus casas o en otros lugares (Corporación Misión Vida, 2016), lo que disminuye el total de residuos generados en el municipio, expresado en un incorrecto valor reportado para la zona.

Figura 10. *Disposición de residuos en el municipio de Nuquí, Chocó.*
Fuente: (Corporación Misión Vida, 2016)

De esta manera se parte del diagnóstico expuesto en el PGIRS 2016- 2017, que nos brinda un panorama inicial para la escogencia de residuos orgánicos y reciclables con mayor presencia en la zona, en este caso los residuos de coco para la fibra, el cual representa un peso de 24106 g/mes y el plástico PET con un valor de 24100 g/mes (Corporación Misión Vida, 2016).

9.1.3 Salida técnica.

Para la adecuada recopilación y análisis de datos inherentes a la investigación que se ha desarrollado a lo largo de este documento, se llevó a cabo una visita técnica al municipio de Nuquí, Chocó, lo que nos permite construir una aproximación real en torno al modelo constructivo en el casco urbano, por medio de una metodología aplicada y descriptiva, haciendo uso de encuestas y entrevistas a los habitantes y líderes comunitarios del territorio.

Adicionalmente, mediante observación participativa se evidenciaron algunas dinámicas dentro del área de estudio respecto a algunos tratamientos y disposiciones que se les aplica a los residuos sólidos en el municipio. Se identifica, a partir de las conversaciones con los líderes comunitarios y técnicos de la zona, que el coco es una de las plantaciones predominantes en el municipio. A partir del tamaño del fruto se evidencia una considerable masificación de los residuos en las zonas de plantación y en las urbes de los corregimientos donde se encuentran ubicadas. En relación con los plásticos generados, según los datos reportados por el centro de acopio de plásticos de Nuquí, el plástico PET es uno de los residuos con mayor generación de la zona teniendo en cuenta que por seguridad alimentaria, muchos de los residuos que llegan al municipio son empacados en plástico, predominando el uso de botellas de este material.

9.1.4 Entrevistas a líderes sociales de la comunidad.

Las entrevistas se efectuaron a modo de conversación con líderes comunitarios del municipio de Nuquí, Chocó, entre ellos Fawer Lerma, Smith Valencia y el pescador y transportador Danubio Pandales, este último desempeña uno de los roles con mayor influencia dentro de la comunidad al ser su profesión de alta importancia económica y cultural y por tal motivo, conocedor de las dinámicas a grandes rasgos dentro del territorio (Medina, D., 2018). Por otro lado, se contó con el aporte del funcionario público Alberto Perea, ingeniero civil que desempeña el cargo de asistencia al área de secretaría de planeación e infraestructura del municipio y Omar Reyes Moreno, arquitecto y especialista en ingeniería de construcción.

Las personas seleccionadas como partícipes en las entrevistas permiten reconstruir una percepción ambiental consolidada en torno al modelo constructivo y sus deficiencias, asociado a las dinámicas sociales y culturales, así como los factores económicos y el reconocimiento técnico que influyen en la toma de decisiones en torno a la infraestructura, locación y materiales de construcción y a su vez, se pueden evidenciar las perspectivas desde los entes territoriales.

Tabla 5. *Listado de preguntas realizadas para entrevistas.*

Preguntas de Entrevistas
Viviendas
¿Cuáles considera usted que son los principales factores que generan la deficiencia en el modelo constructivo de la zona?
¿Cuál es la alternativa que las entidades gubernamentales proponen y ofrecen como solución a la problemática actual en torno a las condiciones y características del déficit cualitativo y cuantitativo de las viviendas?
¿Qué alternativas de solución se han propuesto o puesto en marcha frente al tema de materiales de construcción de las viviendas en el casco urbano del Municipio?
¿De dónde provienen los materiales de construcción de sus viviendas?
¿Considera usted que la ubicación de las viviendas se encuentra acorde a lo establecido en el POT del municipio, cumpliendo con el uso y vocación del suelo u otras contradicciones tales como zonas de alto riesgo mitigable o no mitigable?
¿Considera que el desgaste de los materiales utilizados en sus viviendas, debido a las condiciones climáticas y tiempo de uso, pueden generar o desprender residuos o contaminantes que pueden afectar o modificar el medio ambiente y/o generar enfermedades en quienes ocupan las viviendas?
¿De qué manera plantean su vivienda en el momento previo a construirla, comprarla o arrendarla?
Residuos
¿Existe aprovechamiento de los residuos de fibra de coco en el municipio? ¿De qué manera?
¿Cómo se efectúa la disposición de los residuos plásticos del municipio? ¿Qué tratamiento se les realiza?

Fuente: Autoras, 2019

De acuerdo con las entrevistas, se seleccionaron percepciones específicas por parte de los entrevistados.

9.1.4.1 Percepción del modelo constructivo de la zona

Dentro de la tipología de las viviendas, se manifiesta que el espacio es un factor muy importante entre los pobladores, así lo comentan Danubio Pandales y Smith Valencia: "*Para construirla se piensa en que tenga un buen patio atrás, como adelante, siempre buscando que tenga un buen espacio para construir de pronto más piezas*", de igual forma recalca que es importante *"que tenga un buen baño, que tenga buenas visualidades y que tenga buena ventilación".* Fawer Lerma reafirma y añade que *"el espacio es muy importante porque acá las casas se hacen con espacio con el fin de criar gallinas, tomar sol en el patio. Tener una casa amplia, es muy importante y no un espacio reducido porque esa es la forma de vivir acá"*.

También se evidencia que para los pobladores del municipio, la idea de arrendar las viviendas se hace casi nula, pues según explican Fawer Lerma y Danubio Pandales: *"La idea es de construirla porque uno la construye a su manera y a su gusto, y no pensar en arrendarla porque eso es un problema también con la gente; uno se hace su terreno y la construye, aunque existen algunos que la compran pero son pocos porque siempre se piensa es en construir"*.

La distribución espacial de las viviendas, como expresa el líder comunitario Fawer Lerma, se constituyen en promedio "de 3 a 4 piezas, con dos baños, con dos puertas: una es la entrada y la otra

es la del patio; también hay casas de 1 o 2 pisos"; el incremento del número de pisos, en cierto modo tiene como causalidad el flujo de gente que entra al municipio y la respuesta de los pobladores ante la necesidad de generar más ingresos hacia las familias, pues según explica el líder:"hay mucha casa de 2 pisos por el tema de demanda que hay aquí, viene mucha gente y el que va a venir a trabajar por 1 o 2 años, venir a pagar un hotel le quedaba muy costoso, entonces se empezaron a arrendar cuartos".

Por otro lado, Omar Reyes, arquitecto y especialista en ingeniería de construcción de la zona afirma y explica que "la tipología se divide en zona de cocina, zona de habitaciones y patio, en Nuquí siempre vas a encontrar un patio en las casas y en el patio se acostumbra a tener una segunda cocina en donde se elaboran las labores de mariscos y esas cosas, y esa es como la cocina principal".

Cabe resaltar que la economía es un factor decisivo en los espacios que incluyen los pobladores dentro de sus viviendas, pues según cometa Fawer Lerma: *"aquí todo es muy costoso, la gente acá tienen casas con patio, largas y grandes, pero consideran más que todo el tema de economía, obviamente cada uno tiene una idea de su casa y dependiendo de la economía que tenga, la desarrolla".*

Desde hace algún tiempo se está realizando la transición de las casas de tipo tradicional a moderna, procurando cambiar la madera por el concreto, como lo explica Smith Valencia: *"la mayoría de las personas están construyendo con materiales de afuera"* y Danubio Perea asegura que un ejemplo de los materiales que se están empezando a implementar es *"el superboard o lámina de fibrocemento, que es un material parecido al PVC y en algunos lugares lo están empezando a utilizar no solo en los techos, sino también como refuerzo en las paredes, al igual que el Eternit".* En cuanto a los materiales de transición autóctono-tradicional, se presenta que estos se están dejando a un lado, como lo recalca Fawer Lerma "*por ejemplo*, *la paja ya casi no se está implementando";* sin embargo, a partir de la observación participativa, las notas de campo y el registro fotográfico, se evidencia que las casas en madera siguen siendo numerosas, y la apreciación de su afectación por las condiciones climáticas y geográficas en mayor grado que las de cemento.

La procedencia de estos materiales de construcción utilizados dentro del municipio, según comenta Danubio Perea: "si es material como cemento, varilla, alambre y tejas, vienen de Buenaventura, pero el material de balasto, es decir, los agregados se sacan de nuestro medio, de la selva y las arenas de la playa y el río. La madera, algunos traen importado el pino inmunizado, que es el machimbre, de Buenaventura también, pero póngale que el 85% de esta madera se saca de nuestros medios, como el guayacán y chachajo". Fawer Lerma, por su parte, afirma que en cuanto a los ladrillos "hay una pequeña ladrillera, ellos hacen ladrillos y cierto tipo de ladrillo se consigue por ese medio, pero por ejemplo otros tipos como el farol, los transportan desde Buenaventura, pero realmente los hacen en Cartago, Valle".

Omar Reyes también asegura que "la arena de concreto o arena de pega es extraída de las playas del casco urbano de Nuquí y la grava o materiales más gruesos, se extraen de playa olímpica", también asegura que han intentado extraer estos materiales del río, pero "es un material muy contaminado, es decir, que viene con barro o arena barrosa y con esas condiciones no sirve para construir".

9.1.4.2 Percepción de los principales factores que generan la deficiencia en el modelo constructivo de la zona

Dentro de los factores que generan deficiencias en el modelo constructivo, los representantes de la comunidad resaltan dos aspectos importantes. Como primera medida la economía de los pobladores

en torno a la asequibilidad de los materiales de construcción, suponiendo a su vez costes elevados, como Smith Valencia indica: *"Construir acá sale muy costoso, en materiales de cemento salen aún más caro porque los materiales de cemento hay que pedirlos a Buenaventura y eso tiene un costo; puede que el material salga más barato allá pero el costo del transporte incrementa en gran medida y en madera también sale un poco costoso porque un día de motosierra cuesta un dinero bastante alto".*

El transporte de este tipo de mercancías, también se convierte en una limitante, puesto que dentro del municipio el valor de la gasolina se encuentra en aproximadamente en $17.000/galón; costes que gran parte de la población no puede cubrir, como resalta Danubio Perea: "*el gasto de gasolina es mayor porque cuando la marea sube, se dificulta el desplazamiento de la lancha por el choque de las olas con el bote y esto hace que el motor tenga que hacer un mayor esfuerzo y que se gaste más gasolina. También tengan en cuenta que Buenaventura está como a 17 horas en barco de carga, calcule cuánto cobran por ese transporte*".

Consecuentemente, este factor incide considerablemente en la seguridad y calidad que proporcionan los materiales de construcción a la vivienda, pues según explica Alberto Perea, *"aquí hay dos sectores, clase baja y media. Los que no cuentan con los recursos económicos, trabajan duro para conseguirlo y tratan siempre de que las cosas se hagan pero económicamente, pero esa construcción económica no queda con toda la seguridad porque le van a reducir al cemento, le van a reducir al hierro, como también hay otra parte de la población si pueden construir con toda la seguridad y con el diseño estructural o de mezcla que se necesita".*

Otro factor importante, que tiene incidencia en la aceleración de la degradación de los materiales, es la falta de pretratamientos que se les aplica. En el caso de la madera se da una nula inmunización en la mayoría de los hogares, y como relata Smith Valencia: "*cómo no inmunizamos hay un animal que se llama comején y se come la madera y comienza a dañarla",* permitiendo el ataque de muchos organismos como hongos (xilófagos y cromógenos), insectos y perforadores marinos (moluscos y crustáceos), disminuyendo la vida útil del material (Remacha, G., S,f).

En última instancia, los aspectos climatológicos y la ubicación espacial de las viviendas, limita en gran medida la estabilidad de las mismas, teniendo en cuenta que como Fawer Lerma y Smith Valencia afirman "*la humedad es agresiva independientemente de donde se construya*", y esto afecta considerablemente la duración de los materiales de construcción, reflejándose esto en un claro ejemplo proporcionado por Fawer Lerma: *"si vas a hacer una construcción y dejas un cielorraso o una plancha a la intemperie y le cae agua, inmediatamente se empieza a deteriorar haciendo que la vida útil disminuya rápidamente",* estos factores determinan en materiales como la madera que "*a la vuelta de 4 o 5 años ya hay que volver a construir porque ya la madera se deterioró totalmente".*

Otro tema importante, sin duda, es que las inundaciones dentro del municipio representan uno de los factores que mayor afectación proporciona a las viviendas y sus materiales (Figura 9); según Danubio Perea, esta se da porque *"la entrada de las lanchas a alta velocidad provocan mucho oleaje y esto hace que se vaya deteriorando la orilla del pueblo teniendo también en cuenta los cambios en la marea cada seis horas volviendo las mareas altas y correntosas, y el río, hace que se desborde la orilla del pueblo porque cuando crecen mucho, van derrumbando"* junto a las características que hacen plano e inundable sus paisajes, las lluvias torrenciales y la superación de la capacidad de retención de humedad del suelo y los cauces (Alcaldía municipal de Nuquí, Chocó., 2015).

Figura 11. *Evidencia fotográfica de inundación por crecimiento del nivel del Río Nuquí en el Barrio Miraflores.*
Fuente: Autoras, 2019

Las inundaciones causan en los terrenos del municipio fenómenos de licuación que, junto con las amenazas de desplazamiento y fallas del terreno, generan a su vez fallas estructurales de las viviendas ubicadas en dichas zonas inundables, en las que resultan más afectados los barrios Miraflores y Bellavista (Alcaldía municipal de Nuquí, Chocó., 2015).

Estos fenómenos y las características de los suelos del municipio, condicionan las técnicas de construcción empleadas, pues según comenta Fawer Lerma: *"El terreno es realmente fangoso y tiene fallas naturales lo que hace que no sea firme, por esto normalmente para hacer una construcción solidificada y que se mantenga toca hacer excavaciones profundas, hacer pilotes y cimentar muy bien; estas prácticas no se tenían en cuenta anteriormente por parte de los pobladores y por eso, se fracturaban las casas cuando pasaba maquinaria pesada por obras de construcción en proceso, en donde también influyen las fallas del terreno".*

De igual forma, teniendo en cuenta la autoconstrucción generalizada dentro del municipio, la falta de técnicas constructivas adecuadas genera como consecuencia fallas estructurales y desgaste acelerado de los materiales de construcción, pues según explica Omar Reyes, *"las personas que construyen no tienen el conocimiento de cuanto es el recubrimiento del hierro, entonces a veces lo dejan muy expuesto y por eso se genera corrosión muy rápido; lo mismo sucede con el cemento".* Adicionalmente, los materiales de arena y grava que se extraen han permanecido por largos periodos de tiempo en contacto con el salitre y según comenta el arquitecto *"a esa arena le echan agua de 3 a 6 meses, hay personas que la dejan un año, pero a pesar de que le pongan mucha agua dulce, nunca se le va el salado, con el tiempo inicia a caerse, a soltarse y empieza a botar una especie de sal y se va despolvando";* esto hace visible que gran parte de las problemáticas se focaliza en las técnicas empleadas en las autoconstrucciones.

Por otro lado, dentro del modelo constructivo se percibe una ubicación riesgosa de las viviendas en vista de las diferentes amenazas que se presentan dentro del territorio: amenaza sísmica, amenaza por inundación, amenaza por deslizamiento, amenaza climática, que comprende los vendavales y fuertes vientos, y amenaza por erosión (Alcaldía municipal de Nuquí, Chocó., 2015); los riesgos se presentan sobre todo en las viviendas ubicadas alrededor de la orilla del río y mar, explica Danubio Perea: *"por ejemplo las que están cerca al mar, cerca al malecón que se está construyendo, no se estan tan mal, pero las de la esquina del pueblo, en la desembocadura prácticamente, al estar*

alteradas por la marea constantemente, muchas de las viviendas que están ahí se han carcomido e incluso caído".

Así mismo, Fawer Lerma comenta que: *"la gente normalmente no tiene en cuenta si es una zona de riesgo mitigable o no mitigable, algunos ven solamente un pedazo de terreno donde se puedan meter",* tomando posesión de cualquier terreno debido a que prevalece la necesidad de establecer un lugar en el que vivir, sobre la ubicación de la vivienda, desconociendo o aceptando las consecuencias futuras que implica esa locación; tampoco existe un control por el ente territorial, pues como Omar Reyes argumenta: *"la alcaldía no ha optado por reacomodar esas personas de ese sitio de riesgo y es un peligro inminente".* Así mismo, Alberto Perea desde la percepción de la secretaría de planeación, opina que *"si, es la gente que no cumple con la norma del plan de desarrollo pues no cumplen con la licencia y todos los papeles requeridos".*

9.1.4.3 Percepción de la degradación ecológica y riesgos a la salud

Es pertinente abordar el tema del desarrollo de gérmenes y patógenos dentro de las construcciones al estar dentro de un ambiente húmedo, algunas características de este tipo emergen en el ambiente, según declara Fawer Lerma: *"el olor de las viviendas, a veces no es bueno".* Estos olores son producto de las emanaciones de hongos y bacterias, los cuales resultan nocivos para los habitantes de la comunidad, en tanto propician la aparición de enfermedades, como lo explica Fawer Lerma, pues *"hay viviendas que son muy frías a pesar de que aquí hace mucho calor, y son muy frías por el tema de humedad, porque se infiltra y generan enfermedades o alergias como la rinitis".* Dentro de estas sintomatologías se presentan gripes, tos, asma, rinitis, reumatismo, eczemas, migrañas, alergias, trastornos gastrointestinales, entre otros (Fournier, R., 2008). Desde el punto de vista de Óscar Reyes, *"la enfermedad de la construcción también la desarrollan los habitantes de la vivienda porque por ejemplo, se tiene un espacio cerrado del material de concreto y por las condiciones climatológicas empieza a caerle agua y viento, hace que los habitantes que están ahí se enfermen y empiecen a sufrir de pulmonía".*

A lo anteriormente mencionado, se añade que la inadecuada disposición de los residuos de construcción y demolición (RCD) dentro del municipio, implica el desarrollo de potenciales focos generadores de enfermedades y contaminación, como por ejemplo las enfermedades por vectores que brotan del estancamiento de aguas lluvias en llantas, tanques o escombros, así lo expone Danubio Pandales comentando que: "*el material que están llevando para la construcción de la pista del aeropuerto, al dejarlos acumulados como por ejemplo los tanques que almacenan el agua, lo que hacen es construir viviendas para los zancudos".* Esto posibilita que se presenten enfermedades cardiorrespiratorias a causa de la dispersión de material particulado, lo que afecta en gran medida a los pobladores, pues según Smith Valencia, *"cuando dejan los materiales por ahí tirados, pueden traer infecciones y pueden afectar",* evidenciándose que los periodos de construcción se pueden extender a causa de las fuertes precipitaciones y las limitaciones económicas (Bustos, P. et al., 2017).

Con respecto a la contaminación de los ecosistemas, Danubio Pandales plantea que se puede observar que las construcciones aledañas al río están impactando fuertemente el ecosistema, pues *"cuando cae el aceite que se utiliza, alcanza a llegar al río"*. Considerando la falta de lugares de disposición y tratamiento final técnico de los residuos, se recurre la mayoría de veces al enterramiento de los mismos en la playa o así como describe Smith Valencia: *"hay muchas personas que queman la madera",* generando consecuentemente emisión de gases contaminantes y la dispersión de dichos materiales en las playas y el mar a causa del desenterramiento por el oleaje (Figura 10). (Alcaldía Municipal de Nuquí, 2018).

Figura 12. *Evidencia fotográfica de la disposición de RCD en el casco urbano de Nuquí, Chocó.*
Fuente: Autoras, 2019

Teniendo en cuenta los problemas que giran en torno al modelo constructivo de la zona, el planteamiento o puesta en marcha de alternativas de solución es imprescindible. Por parte de las entidades gubernamentales, se han llevado a cabo proyectos para la disminución de los déficit cualitativo y cuantitativo de las viviendas del casco urbano, confirmándose con base al relato de Danubio Pandales, quien afirma que: *"en Nuquí hace unos años se hizo un censo de las casas que están en alto riesgo, como las que están en las orillas y a esas personas, se les hizo una casita en el barrio nuevo; son personas que salieron beneficiadas y mucha gente está haciendo provecho de estas casas"*; ahora bien, en contraposición, según Óscar Reyes, dichas viviendas eran muy sencillas: "*se construyeron viviendas de tipo 1 con material de concreto, sin embargo estas contienen lo básico, una cocina y una habitación, o la cocina y un espacio",* relata igualmente la continuidad del proyecto, pues según él "*el año pasado se realizó la segunda etapa del proyecto y aproximadamente fueron entregadas 150 viviendas en total del proyecto completo*". Constatando que si bien existen proyectos para el mejoramiento de las viviendas, estos son sumamente básicos.

Otra iniciativa con las que se cuenta es la contención del oleaje que afecta a la comunidad, en donde se planteó, según Danubio Pandales *"un muro de contención pero terminaron haciendo unas ballenas que llenaron de arena que se rompieron y empezó a salirse esa arena, y ahora está derrumbando la orilla del pueblo"; lo que* pone en evidencia que la mayoría de estos proyectos no muestran eficiencia a grandes rasgos al no dar resultados eficientes sino que, como explica Danubio Pandales: *"El estado promueve su plata a su beneficio, empiezan con un proyecto y terminan convirtiéndolo en algo totalmente diferente, desmejorando el proyecto".*

Con respecto al planteamiento de proyectos para la resolución de la problemática en torno al uso actual de materiales de construcción, su calidad y vida útil, se encuentran propuestas entre los líderes comunitarios del municipio, como lo expresa Óscar Reyes: *"hablando con otro líderes comunitarios, como por ejemplo el personero o Fawer Lerma, se han hablado sobre proyectos, como prototipos de materiales de construcción partir de esos plásticos y con cierta maquinaria, hacer una especie de dados, en donde la cimentación o las vigas se traerían aparte pero el resto son materiales reciclados y se lograría proporcionar viviendas de bajos costos con las que se pueden ayudar a las personas que lo necesiten".*

A partir de este asunto, la comunidad en los espacios de participación que tiene con los líderes comunitarios ha plasmado la idea de modificar la técnica de construcción de las viviendas que se encuentran en zonas de riesgo inundable, como resalta Danubio Pandales: *"la gente ahorita está*

promoviendo que las casas que quedan en la orilla se hagan más altas para que la marea no las afecte tanto".

9.1.4.4 Percepción del manejo y aprovechamiento de los residuos de fibra de coco y plástico en el municipio

A partir de la falta de un relleno sanitario en el municipio, la comunidad ha desarrollado y promovido la iniciativa de aprovechar los residuos de alta generación en la zona, disponiendo de los residuos de coco según menciona Danubio Pandales en la utilización para elaborar *"macetas y principalmente para hacer artesanías (aretes), también para hacer colitas de ballenas y la estopa se utiliza para cocinar (ahumar pescado con la estopa) y en el fogón de leña"* y añade Fawer Lerma que, a su vez *" se utiliza para abono en las plantas y adornar los árboles"*; no obstante, según Fawer Lerma, Óscar Reyes y Smith Valencia, el aprovechamiento que se realiza es insignificante si se cuantifica la cantidad de coco se que genera.

Ahora bien, haciendo referencia a la disposición y aprovechamiento de los residuos plásticos según indica Fawer Lerma, quien dirige el centro de acopio de materiales reciclables "ReCiclamos", que el proceso inicia con la *"recolección del plástico que alcance la capacidad de un moto carguero, que pasa los lunes y los jueves, vamos por todos los barrios donde se encuentran los costales verdes y los vamos recogiendo y vaciando"*, el paso siguiente es el transporte al punto de acopio y posteriormente *"se compactan y se transportan a Buenaventura y se comercializa a Ecored, con eso hacen materiales para la industria textil*", también recalca que: *"por el momento no existe ningún proceso de transformación dentro de Nuquí, pero la meta es reciclar para transformar";* sin embargo, existe un impedimento por parte de algunos pobladores, pues comenta que: *"es un proceso a largo plazo, algunos se identifican con el proyecto y otros no, algunos dicen que no van a hacerlo más".*

Óscar Reyes menciona que con el desarrollo de estos proyectos, se ha logrado incidir en la cosmovisión de las personas en cuanto al impacto potencial que los residuos plásticos generan, comentando que este *"es un largo proceso que se ha venido haciendo con las personas, pero la gente ya se está mentalizando el impacto del plástico y el tema se ha ido mejorando poco a poco y se ve reflejado por ejemplo en el desuso de vasos desechables dentro del municipio".*

Smith Valencia, nos proporciona una visión de los corregimientos o zonas rurales del municipio, él afirma que: *"no existe ningún tratamiento, desde Cogui se recicla y se traen a Nuquí y ahí se compacta"*, limitando a los habitantes de estas regiones debido a los costes de transporte y el almacenamiento de los mismos.

Con respecto a otros materiales aprovechables, Fawer Lerma resalta que: "a Ecored se les envía también el cartón y las latas, pero eso si no se comercializa (no lo compran) y a Macrometales se les da todo el tema de post consumo y se les vende metales".

9.1.5 Encuestas a habitantes del casco urbano de Nuquí.

Se evidencian los resultados de la información recopilada por medio de encuestas a la población objeto, es decir, a los habitantes de la cabecera municipal de Nuquí, Chocó. Para esto, la muestra consta de 30 personas seleccionadas aleatoriamente, residentes en el municipio como mínimo de 3 a 4 años, de distintas edades, siendo la persona de menor edad de 13 años y la de mayor edad de 63 años; aquellas personas menores de edad (menores de 18 años), tuvieron el acompañamiento de un

adulto responsable. Esto con el fin de tener una diversidad de opinión en las respuestas obtenidas sin afectar los resultados de las mismas.

De igual manera, se tuvo en cuenta el tipo de público al que iban dirigidas, de manera que el lenguaje de estas no presente dificultad para quienes las desarrollaran, y se elaboraron conforme a las problemáticas identificadas en la recopilación bibliográfica realizada inicialmente; las preguntas son dirigidas a entender la dinámica de las viviendas en el lugar, de cómo los habitantes entienden sus viviendas y perciben el ambiente en donde éstos permanecen la mayor parte de su tiempo relacionado con su entorno próximo, adicional a sus dinámicas sociales, culturales y económicas; en menor medida desarrollan preguntas dirigidas a técnicas de gestión y disposición de residuos sólidos en la zona.

9.1.6 Análisis estadístico.

Se adjunta en el formato de la entrevista realizado con sus respectivas opciones y con los resultados por respuesta obtenidos (Anexo 2).

Ahora bien, con relación con la distribución de los encuestados por género, se evidencia que es igualitaria y en cuanto a las edades, se observa que aquellas entre 18 a < 30 y 30 a 45 presentan una distribución predominante (33,3%) frente a los otros tres grupos de edades (Figura 13).

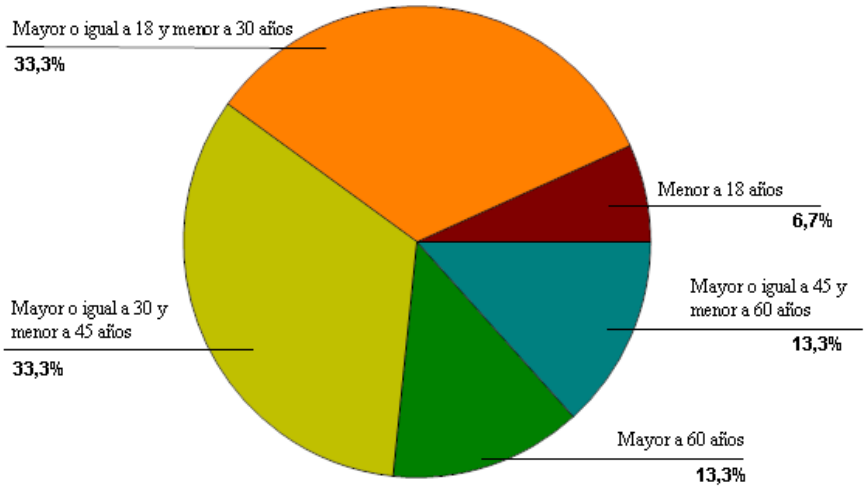


Figura 13. *Recuento de edades de la población muestra.*
Fuente**:** Autoras

9.1.6.1 Percepción del modelo constructivo de la zona

Según los datos recolectados, se determinó que los materiales con mayor frecuencia de uso dentro de las estructuras de las viviendas, son el ladrillo, representado con un 47 % y la madera con un 37% para los muros de las paredes, y en menor proporción se encuentran los bloques de concreto con un 17% (Figura 14), sin embargo, aunque el ladrillo se encuentre con una aplicación abundante, el cemento se utiliza con cierta frecuencia como recubrimiento de estos, dando mayor rigidez a la estructura; adicionalmente se evidencia que existe una disminución en el uso de madera, pues de acuerdo con la percepción de los habitantes, el uso irracional del recurso ha generado que el costo llegue a ser del mismo alcance al concreto y el ladrillo, lo que genera que la demanda disminuya

paulatinamente y por ende, se presenta una transición entre cambios de tipología de viviendas tradicionales a modernas, esta dinámica se ve marcada en los barrios que presentan una mayor lejanía que los ubicados en la ronda del Río Nuquí y la quebrada Ancachí, así como en la costa, pues las viviendas de dichas zonas presentan mayor precariedad frente a las demás.

En el caso de los techos (Figura 15), su durabilidad se puede ver limitada por factores climáticos, que algunos casos pueden verse afectados por vientos, o quebradas por el tipo de material. En el caso de la teja de zinc es aquella que presenta mayor implementación, representada en un 47% mantiene un precio asequible para los habitantes y su durabilidad es adecuada en condiciones favorables, además es más ligera para su transporte en comparación con la lámina de fibrocemento que obtuvo una proporción similar con un 43%. Con menor porcentaje se presentan materiales relacionados a la madera, palma y otros, los cuales, en muchos casos se disponen haciendo uso de fragmentos de varios de estos. El uso de estos insumos también se asocia con su disponibilidad, pues al ser llevados de otros lugares, el propietario se limita a adquirir solo aquellos que son ofrecidos por parte de proveedores en la zona.

Paralelamente para los materiales utilizados en el piso (Figura 16), en mayor medida se hace uso de cemento, que ocupa el 50%, seguido de la madera en un 30%. Se manifiesta que existe uso menor de baldosa en viviendas, pues este representa solo el 20% de la totalidad, y su uso se da particularmente en viviendas de mejor estructura en el interior y exterior; sin embargo, para tal caso se requiere una mayor inversión en comparación con los demás pues su oferta es escasa en la zona. Los habitantes que hacen uso de este material lo asocian directamente a un mayor confort por su facilidad de limpieza y porque permite que la temperatura del suelo y por tanto de la casa se mantenga equilibrada, ofreciendo mayor frescura dentro de estas; así mismo son más resistentes cuando el cauce del río se eleva, dado que a partir de la observación participativa se determina que el agua puede alcanzar entre 30-50 cm por encima de su altura promedio, lo cual con el tiempo afecta a los materiales de las viviendas. En contraposición aquellas viviendas que hacen uso de madera, presentan mayor problemática frente a las inundaciones, siendo que el agua atraviesa con mayor facilidad las grietas y espacios entre tablas de madera, y puede no solo dañar los materiales sino que con el tiempo se empieza a reflejar la humedad como consecuencia de ello dentro de las viviendas y puede afectar el bienestar de sus habitantes.

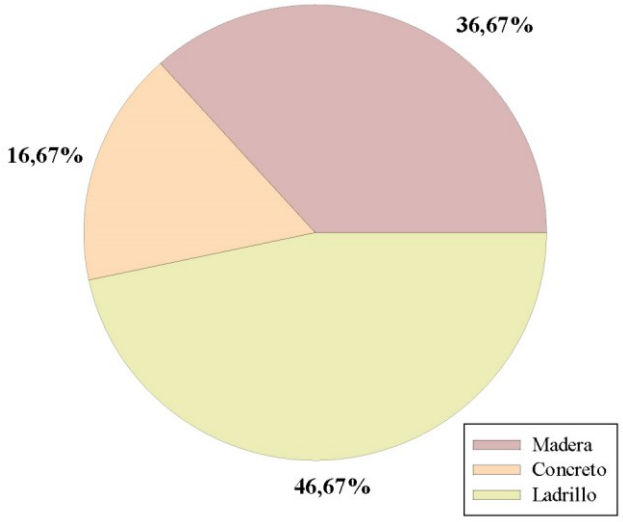


Figura 14. *Materiales implementados en muros dentro de las viviendas.*
Fuente: Autoras, 2019

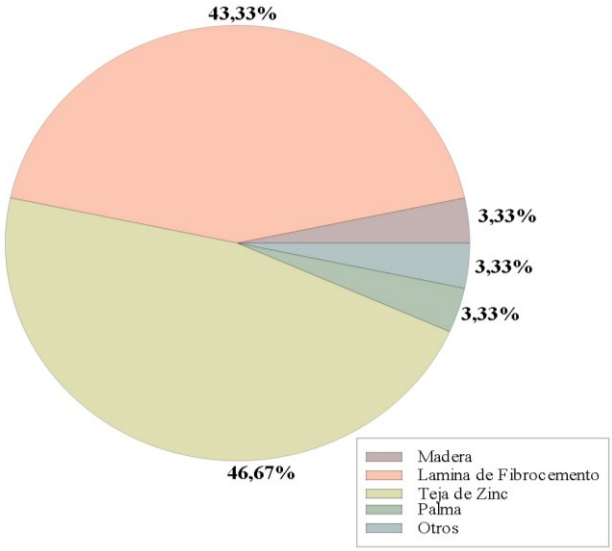


Figura 15. *Materiales implementados en cubiertas de las viviendas*.
Fuente: Autoras, 2019

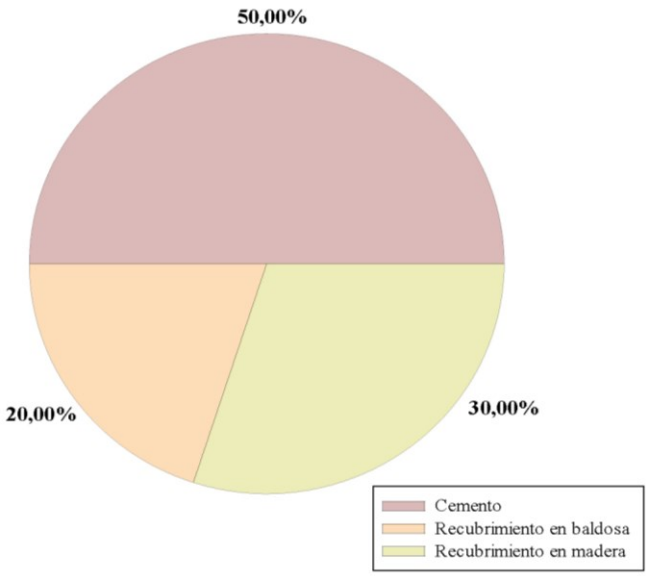


Figura 16. *Materiales implementados en pisos de las viviendas.*
Fuente: Autoras, 2019

Al corroborar la información obtenida con el estudio expuesto por Medina, D. en el documento "*MUELLE TURÍSTICO Y PESQUERO RISCALES DE NUQUÍ Proyecto para el desarrollo de comunidades pesqueras"* en el año 2018, se interpreta que existe una similitud entre el uso de materiales dentro de las viviendas, pues en ambos casos se tiene que para los muros, el ladrillo es el material de mayor uso seguido de la madera, de igual manera, para el caso del techo en ambos se identificó la teja de zinc como la de uso predominante. Sin embargo en el caso del piso, existe una brecha entre el uso de materiales, pues en el estudio en mención se plasma que la madera, baldosa u otro recubrimiento son los que mayor uso presentan, esto contrario a los datos obtenidos en el presente estudio, en donde se determina que el cemento es el de mayor uso, esto se puede deber a la transición en el tipo de vivienda de tradicional a moderna, y debido a la variabilidad en las zonas de toma de muestra, teniendo en cuenta que en algunos barrios se marca cierta diferencia estructural frente a

otros, limitando así la certeza de los datos. En la *Figura 17* se muestran algunos de los ejemplos de tipos de viviendas del casco urbano de Nuquí, Chocó.

Figura 17. *Tipologías de vivienda en el casco urbano de Nuquí, Chocó.*
Fuente: Autoras, 2019

A partir de lo anterior, se determina que la selección de los materiales está dada en torno principalmente a la facilidad económica de sus habitantes (Figura 18), lo cual se corrobora a partir de las problemáticas que presentan los sectores generadores de empleo de Nuquí, dado que algunos sectores presentan fluctuaciones en el año durante los periodos en los que es posible realizar dichas actividades, reflejado en actividades como el turismo. En el caso de la pesca, se presentan problemas en cuanto a la cadena de frío en la zona rural, que anudado a las condiciones de transporte, evita el preservamiento de los pescados. Todas estas dinámicas, además de la escasa existencia de medios de transporte, donde predomina el medio fluvial debido a su aislamiento geográfico de otros municipios, hacen que la falta de oportunidades de empleo y la generación de ingreso dentro del municipio sean precarias, lo cual da paso a que se presenten situaciones de marginalidad y pobreza, que a su vez condicionan la adquisición de materias primas de calidad para la construcción de sus viviendas (Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó, 2018).

Adicionalmente, se denota que solo el 7% de los habitantes seleccionaron la tradición como factor para la selección de los materiales, esta dinámica de tradicionalidad es muy marcada en las viviendas del Pacífico, manteniendo siempre un equilibrio entre paisaje y cultura; no obstante, teniendo en cuenta la revisión bibliográfica realizada, se constata que como consecuencia de las circunstancias sociales y espaciales, se dio origen a una transición de viviendas de tipo autóctono a tradicional y de tradicional a moderna, dada por las condiciones de precariedad física que presentaban sus viviendas conforme a las condiciones de la zona (Defensoría del Pueblo, 2016).

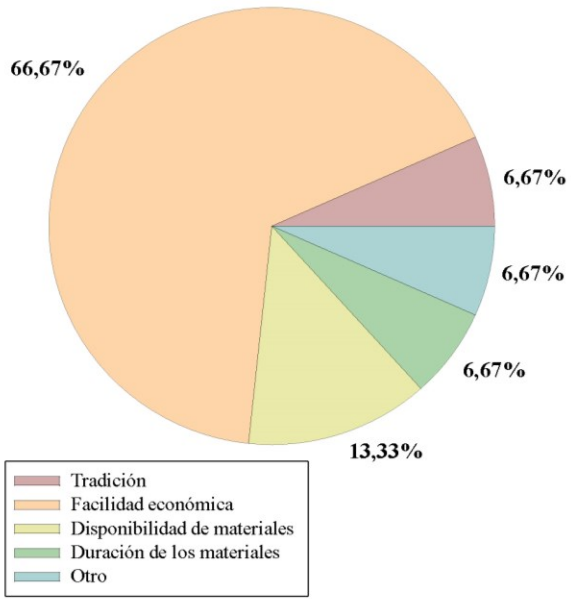


Figura 18. *Motivo de selección de los materiales utilizados en las viviendas.*
Fuente: Autoras, 2019

Dentro de las preferencias de las personas se encuentra como condición importante en el momento de habitar una vivienda (Figura 19), la seguridad como más significativa, representando esta un 40%, lo cual se relaciona con la integridad física de los habitantes, pues estos buscan principalmente protección ante situaciones de peligro como robos, accidentes, la muerte, estar fuera de zonas de riesgo y además como un refugio para las personas (Niño, M., 2018).

El ámbito de habitabilidad es de 30% y representa el segundo componente más importante, lo que es de suma importancia, pues para que una vivienda pueda denominarse habitable requiere cumplir con ciertos criterios que permitan satisfacer las necesidades básicas a quienes residen las viviendasy que a su vez, se adapten a su cultura, entorno ecológico, brindando además la seguridad (física, mental y social) y salubridad; se hace entonces referencia a factores de higiene, calidad y espacio, buena iluminación y ventilación, adicional a la protección contra la temperatura, la humedad, el viento, la lluvia, amenazas para la salud y vectores que pueden propiciar infecciones o enfermedades (Niño, M., 2018), y como se mencionó previamente, muchos de los materiales utilizados actualmente no son acordes a las condiciones de la zona, lo que puede generar una pérdida en la calidad de habitabilidad.

Los costos como ya se mencionó previamente son otro factor influyente en el momento de adquirir una vivienda de acuerdo con los habitantes (27%), dado principalmente por su aislamiento geográfico (Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó., 2018).

Finalmente, la estética es la variable que menos relevancia representa sobre las prioridades de los habitantes en el momento de construir, pues solo representa un 3% , de acuerdo con los habitantes más allá de esto, su significancia y valor está medido en la funcionalidad de las mismas. Esto se adjudica al hecho de que las personas con mayor facilidad económica poseen viviendas que estructural y estéticamente se ven en condiciones insatisfactorias, dado que sus prioridades se transforman en otras, como lo es su desarrollo laboral y mantener sus ingresos.

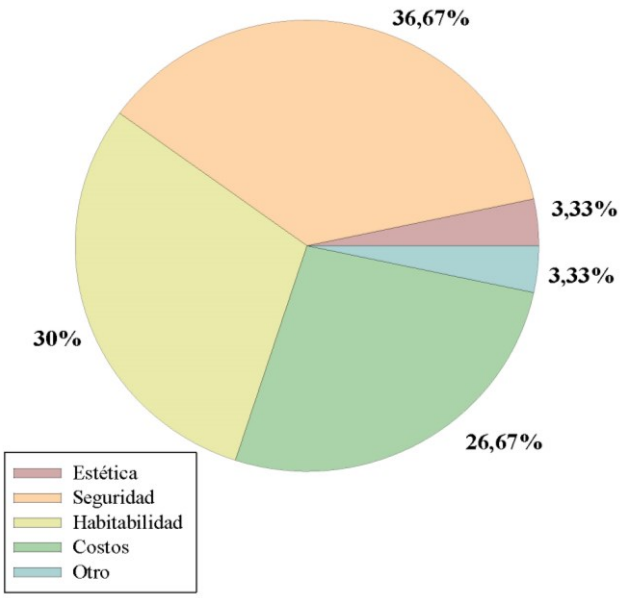


Figura 19. *Condiciones fundamentales para habitar una vivienda.*
Fuente: Autoras, 2019

9.1.6.2 Percepción de los principales factores que generan la deficiencia en el modelo constructivo de la zona

Dentro de los factores y las condiciones que se encontraron como los más determinantes en el detrimento estructural en los materiales de construcción y pérdida de confort dentro de las viviendas para los habitantes de la zona de estudio (Figura 20), se presentan las condiciones climatológicas, las cuales abarcan un 77%, en donde a partir de estas promueve la presencia de humedad (Figura 21) y de concentración de calor al interior de las viviendas (Figura 22); adicionalmente estos daños pueden verse daños por hongos y/o insectos (23%) (Figura 20), entre otros (Medina, D., 2018).

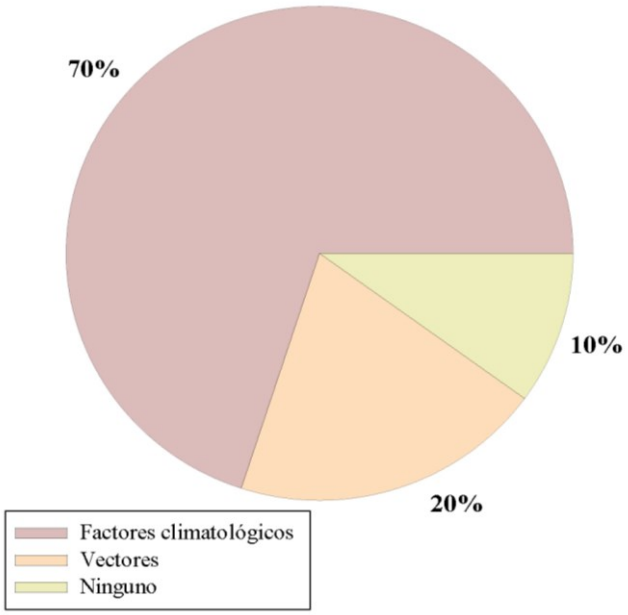


Figura 20. *Condiciones que generan detrimento de los materiales de construcción en viviendas.*
Fuente: Autoras, 2019

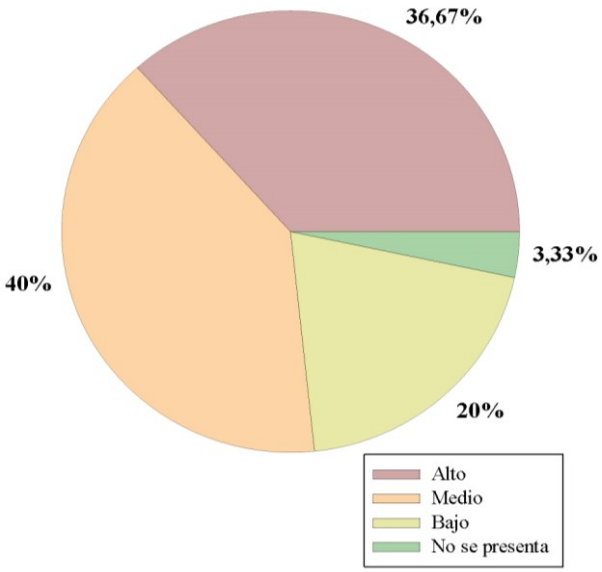


Figura 21. Nivel de humedad presentado al interior de las viviendas.
Fuente: Autoras, 2019

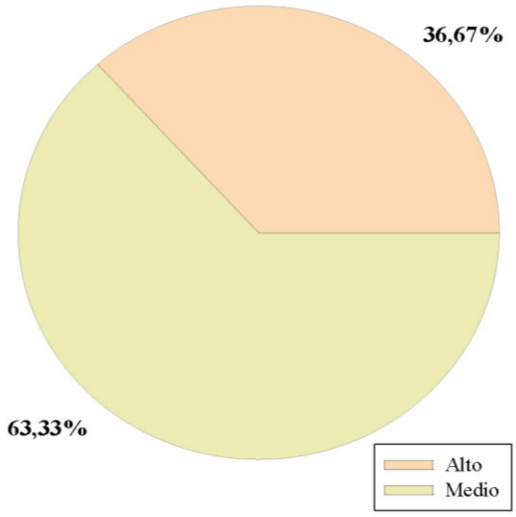


Figura 22. Nivel de concentración de calor al interior de las viviendas.
Fuente: Autoras, 2019

En primera instancia se presentan los factores climatológicos, como principal incidente en el daño a los materiales de las viviendas dado mayormente por cargas ambientales que surgen a partir de las interacciones del medio (Solís, R., Moreno, E., Castro, P., 2005); esta dinámica se ve marcada en la zona con relación a la lluvia que como ya se mencionó, el municipio del Chocó cuenta con las mayores precipitaciones del país, específicamente en Nuquí, estas varían entre 5000 mm y 7000 mm anuales (Corporación Misión Vida, 2016), por lo cual el contacto con el agua se da continuamente, y se manifiesta a través de eflorescencias (manchas blancas) y daños en el acabado exterior de la vivienda como lo son los muros externos y techos y su intensidad varía conforme a la presencia de vientos lo cual favorece su penetración en los materiales (Bermúdez, L., Tabares, L., 2015).

Estas características climáticas propias del departamento del Chocó, como lo son la elevada humedad relativa y las precipitaciones, favorecen el proceso de detrimento de las viviendas y sus materiales. Tales condiciones propician la generación de humedad en los materiales de construcción de las viviendas de la zona, que de acuerdo con los habitantes está entre medio (40%) y alto (37%) (Figura 19), lo cual representa una situación común dentro de sus viviendas.

La presencia de humedad, está dada además por el impacto de las inundaciones, en este caso, referente a zonas costeras y rondas de los ríos (Río Nuquí); dando cabida al establecimiento de asentamientos humanos en zonas inundables, inestables, y de riesgo no mitigable, que surgen como una necesidad de expansión territorial en relación al aumento poblacional y adicionalmente se constituyen para el desarrollo de actividades productivas (Alcaldía municipal de Nuquí, Chocó, 2018). En tal caso, las inundaciones son eventos característicos de la dinámica natural de las cuencas hidrográficas, por lo que es inevitable que este fenómeno se presente y por ende para los habitantes del municipio hace parte de su diario vivir, sin embargo, eso se puede contrarrestar con algunas viviendas palafíticas existentes que permiten disminuir el impacto frente a la situación (González, J., 2014).

De acuerdo con los habitantes el cauce del río se incrementa cada cuatro a seis horas, por lo que la exposición de los materiales al agua de río es inminente, y se formula que aunque ha existido reemplazo a materiales más resistentes la humedad es permanente en el suelo; en el caso de la madera, esta se puede pudrir y al ser un material higroscópico se hincha en presencia de agua y por el contrario se contrae cuando pierde su contenido. Por tanto, se propiciarán alteraciones en su color, presencia de grietas, deformaciones y rajaduras (Fournier, R., 2008); en el caso del ladrillo o concreto, se pueden agrietar por deposición de sales por su cercanía al mar y contacto con esta agua o por añadirse durante su fabricación, lo que genera una presión por la cristalización de estas dentro del material (Solís, R., Moreno, E., Castro, P., 2005).

Paralelamente se identifica que existe concentración de calor al interior de las viviendas, de acuerdo con los habitantes perciben altas temperaturas, oscilando entre alto (37%) y medio (63%) (Figura 22); esto puede explicarse tanto por el clima de la zona, como por el uso de materiales que favorecen la intensidad térmica dentro de la vivienda, como es el uso de zinc para los techos, y adicionalmente, la falta de rejillas de ventilación, la carencia de espacios o su inadecuada distribución e insuficiente número de ventanas; sin embargo, algunos otros sistemas de construcción permiten que exista una neutralidad térmica en el interior y exterior de la vivienda como es la mampostería de ladrillos de arcilla (Maya, L., 2003).

Esto mencionado se relaciona adicionalmente con el confort térmico determinado por factores como la humedad, temperatura y velocidad del aire dentro de la vivienda; por ello es necesario que la temperatura de los muros no sobrepase los 16°C para que contribuya a mantener una sensación térmica baja en las viviendas, pues de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) la temperatura media para que en el ser humano mantenga un equilibrio en su medio es de 20°C (Chapple, P., 2008).

Adicionalmente se evidencia que la presencia de vectores y/u hongos también propende al daño en los materiales de construcción, manifestándose en un 23%; su desarrollo está favorecido por la presencia de humedad, adicional a temperaturas entre 15°C y 25°C, que para el municipio es mayor a 24°C, lo cual puede repercutir en la salud de los habitantes de las viviendas (Bermúdez, L., Tabares, L., 2015; Corporación Misión Vida, 2016). En un 10% se manifiesta que no existe ninguna condición que pueda afectar daño en los materiales, debido a la posición de algunos habitantes y su conformidad con sus viviendas.

De acuerdo con la información recolectada en los antecedentes, se identificó que la ventilación, iluminación y espacio son problemáticas asociadas a las viviendas del casco urbano de Nuquí, Chocó, lo cual es expresado mediante las encuestas (Figura 23), que proporcionan un panorama en donde se presenta en una mayor proporción que ninguna de las puestas en mención influía o representaba una problemática en sus viviendas representada con un 40%, esto se puede deber a que en su mayoría las viviendas mantienen sus ventanas y puertas abiertas con el fin de mantener una temperatura fresca dentro de éstas, de que el aire y brisa puedan entrar y airear su interior y adicionalmente permitir el paso de luz a través de estos espacios. Sin embargo, las tres presentaron una proporción similar entre ellas, la ventilación 20%, espacio 20% e iluminación 17%, lo cual está ligado a características propias de los materiales usados en la infraestructura y el previo diseño de la misma, pues algunos de estos permiten que el ambiente interno de la vivienda sea más fresco en comparación con otros y de igual manera la distribución de los espacios y disposición de ventanas y/o claraboyas favorecen estos comportamientos.

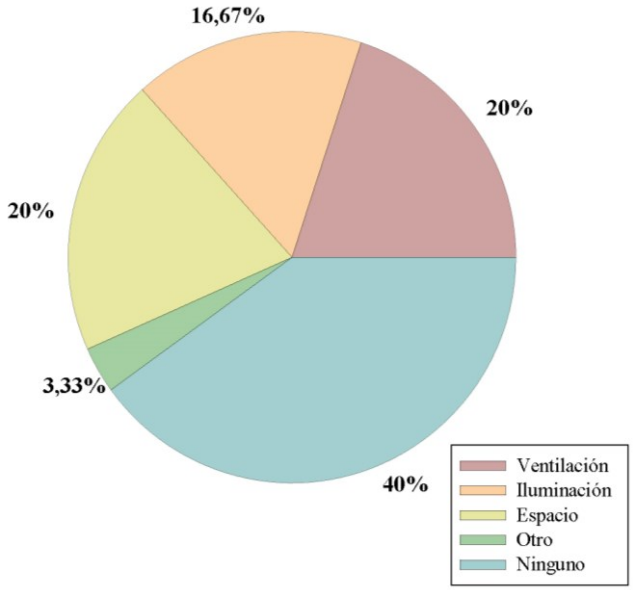


Figura 23. *Condiciones de deficiencia presentadas en el diseño de las viviendas.*
Fuente: Autoras, 2019

9.1.6.3 Percepción de las posibles variables a modificar en las viviendas

Se tiene entonces que, para los habitantes del municipio, se manifiesta una relación entre los materiales usados para las viviendas y la vida útil de las mismas, pues como se presenta en la Figura 24., el 57 % de encuestados han tenido que cambiar alguna parte de su vivienda y se exponen algunas consecuencias Figura 25., como lo es el estado de conservación inadecuado de la vivienda 43% y en una menor proporción la ubicación de las viviendas es inapropiada 13%.

Adicionalmente una de las problemáticas que mencionan la mayoría de habitantes es la presencia de salitre, lo cual evidencia una relación con el daño en sus viviendas, pues este es transportado por el viento desde el mar, el cual está a menos de 10 metros de algunas viviendas y por ser una zona costera, estas sales se encuentran con abundancia en sus suelos. El salitre se cristaliza en los muros y el piso de las viviendas, lo cual propicia la aparición de manchas de sales sobre estos, mal olor y el ambiente se contamina (Saltos, A., 2017). Esto, sumado a factores que se han mencionado previamente, genera debilitamiento de los materiales y consecuentemente de la estructura.

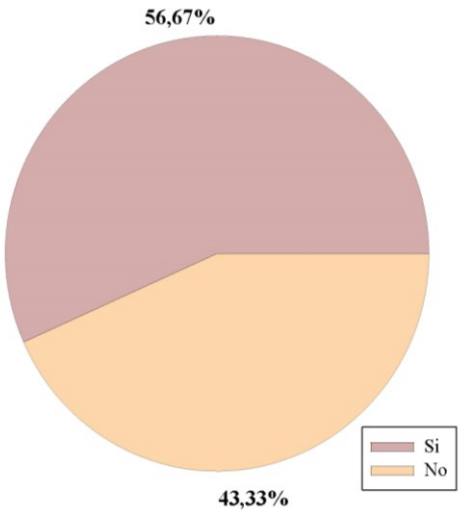


Figura 24. *Modificaciones integrales realizadas en la vivienda.*
Fuente: Autoras, 2019

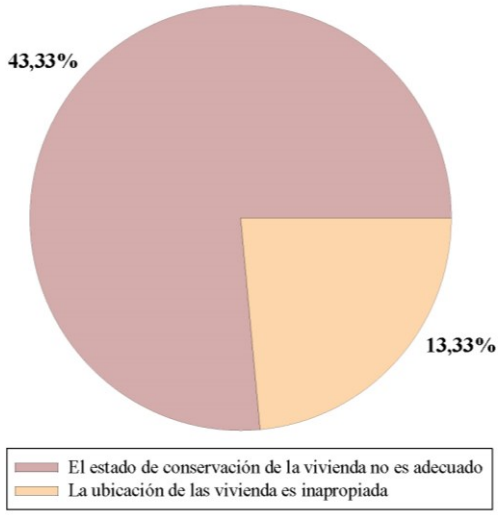


Figura 25. *Factor causal de la modificación.*
Fuente: Autoras, 2019

Gracias a esto se logró identificar que dentro de algunas alternativas de solución para el modelo constructivo actual del municipio (Figura 26), se encuentra como la más escogida por sus habitantes la mejora en las técnicas de construcción, representada con un 40% de los entrevistados, esto se debe a que muchos reconocen que las viviendas en su mayoría se construyen sin tener un profesional adecuado para el diseño y modelamiento de las mismas, pues se constituyen principalmente por su cultura, elaborándose a partir de conocimientos empíricos, esto se ve ligado a la carencia de normas técnicas de construcción por parte del Gobierno; lo que conlleva a la existencia de escenarios en donde no se proporcione un adecuado bienestar, y por ende se tienen repercusiones directas con respecto a la durabilidad, calidad, seguridad y confort de la casa (Mosquera, G., 2010).

La segunda alternativa con mayor selección es el reforzamiento de materiales de construcción (30%), pues están expuestos a condiciones que favorecen un daño acelerado en sus materiales debido a su ubicación y características de la zona adicional a la falta de tecnificación en el sector constructivo, lo cual promueve que la vida útil de la vivienda y los materiales disminuya, por lo que estos materiales necesitan de pretratamientos que los refuercen de acuerdo con las necesidades requeridas. Para aquellas personas que escogieron cambio de los materiales de construcción (17%) o bien, acceder a una nueva construcción (13%), en ambos casos son aquellas que presentan las condiciones más insatisfactorias dentro de sus casas debido principalmente a factores socioeconómicos.

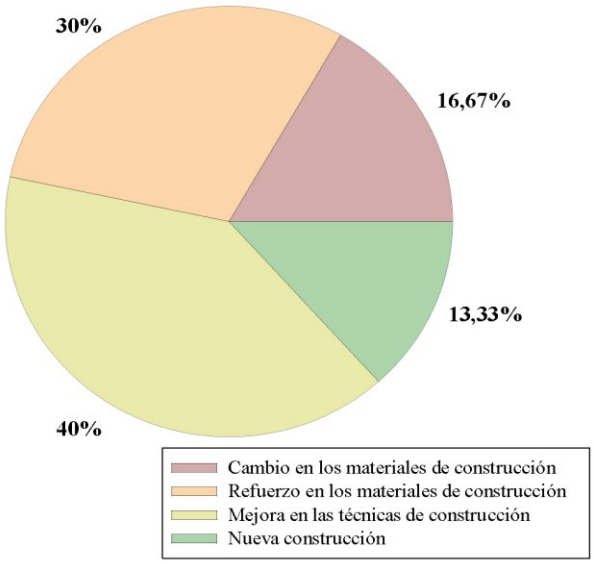


Figura 26. Alternativas de solución predominantes frente a las problemáticas en el modelo constructivo del municipio de Nuquí, Chocó.
Fuente: Autoras, 2019

9.1.6.4 Percepción del manejo y aprovechamiento de los residuos en el municipio

En la zona de estudio la gestión de residuos sólidos no se encuentra bien estructurada, pues como ya se mencionó el sistema de basuras en la zona carece de calidad y eficiencia. De esta manera se identificó (Figura 27) que el 70% de las personas selecciona los materiales, los separa de los demás residuos, y esta dinámica ha ido tomando fuerza, pues paulatinamente se ha ido fomentando el hábito de reciclar y el número de personas que lo hacen va en aumento; contrario a esto el 30% restante, no realiza ninguna actividad relacionada a la separación de residuos aprovechables por lo cual estos se encuentran mezclados con el resto de residuos sólidos que se acumulan en playas, o en botaderos improvisados de basura (Corporación Misión Vida, 2016), ya que el municipio no cuenta con lugares y procedimientos de disposición final técnica y ambientalmente aceptable (Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó., 2018).

De esta forma, se presenta que el Manejo Integral de Residuos Sólidos en la zona, está condicionado principalmente a que como primera medida, las condiciones geográficas y climáticas de la zona, dificultan la instalación de un Relleno Sanitario que cumpla con los parámetros técnicos, como segunda medida la sobreproducción de desechos en las que no se aplican prácticas de manejo y aprovechamiento en actividades económicas, a su vez, no se cuenta con vehículos recolectores dado que su mantenimiento y adquisición supone altos costes económicos y por último, la dispersión territorial de los corregimientos y veredas impide la adopción de soluciones integrales para el municipio en su totalidad, por lo que se aplican sistemas corregimentales y veredales poco eficientes (Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó., 2018).

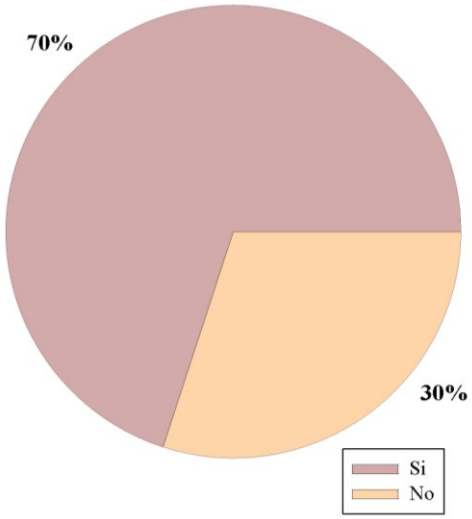


Figura 27. *Dinámica de separación de residuos en los hogares.*
Fuente: Autoras, 2019

9.1.7 Diagnóstico Ambiental.

Las condiciones hidrológicas de la zona definen las dinámicas propias del municipio en cuanto a los riesgos asociados a la viviendo local, en la Figura 26 se muestra la dinámica de susceptibilidad de inundación, la cual indica los límites en torno a un evento extremo; esta información fue obtenida a partir del geoportal del SIAC (Sistema de Información Ambiental de Colombia) y contrastada con el nivel de inundación promedio reportada por lo habitantes dentro del municipio según la aplicación de cartografía social. Se evidencia que la dinámica de inundación de la zona es significativamente alta y está dada por factores como la ubicación del municipio entre el Océano Pacífico, el río Nuquí, la quebrada Ancachí y el estéreo Muertero.

Por otra parte, las altas precipitaciones con predominancia de lluvias torrenciales de manera monomodal sobrepasan la capacidad de retención de humedad del suelo, esto sumado a las obstrucciones de los cauces por deslizamientos, puede generar desbordamiento en la planicie inundable del río Nuquí, donde se ubica la cabecera urbana. Por último, las actividades económicas y de construcción ubicadas a menos de 200 metros de la orilla del río, generan la degradación de la cobertura vegetal ribereña, encargada de la regulación hídrica, maximizando el efecto de inundación (Alcaldía Municipal de Nuquí Chocó, 2005).

Adicionalmente se tiene que con respecto a la erosión fluvial, esta se ve fuertemente influenciada por la interacción entre el río Nuquí y la quebrada Ancachí, pues la deposición de materiales aluviales hacia el margen izquierdo del río Nuquí, disminuye la capacidad del cauce para transportar el mismo volumen de agua, lo que provoca que este remueva los sedimentos depositados hacia la orilla del municipio (Barrios Miraflores, El Silencio y Pantanito) y por tanto, aumenta la capacidad erosiva del río; de igual forma como se mencionó, las actividades económicas en la ronda del río inciden fuertemente en incrementar este fenómeno. Por otro lado, si bien la erosión costera se presenta en las playas dentro del municipio, esta no afecta la estabilidad de la población con la misma magnitud que el fenómeno de erosión fluvial, así como se aprecia en la Figura 28. (Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó., 2005; Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó, 2012).

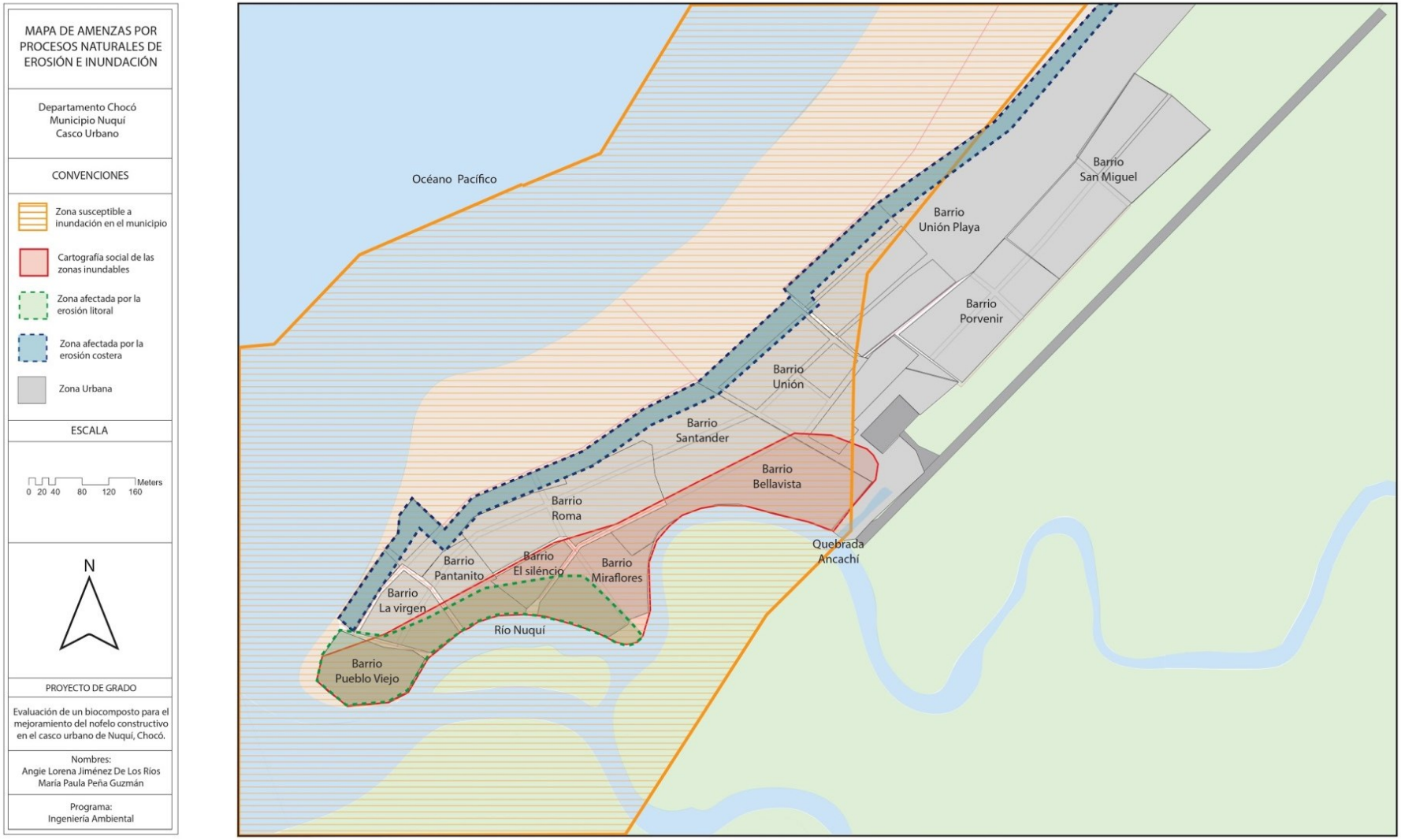


Figura 28. *Mapa de amenazas por procesos naturales de erosión e inundación del casco urbano de Nuquí, Chocó.*
Fuente: Autoras, 2019. Elaborado en ArcGis con mapas extraídos de portal del SIAC.

Según el documento "*ESTRATEGIA MUNICIPAL DE RESPUESTA A EMERGENCIAS Nuquí, Chocó*" (2012), dentro de la zona existen aproximadamente 522 unidades de viviendas ubicadas en zonas de riesgo no mitigable, siendo estas las más susceptibles a reubicación. De los fenómenos predominantes se presentan qué 415 viviendas están ubicadas en zonas de riesgo por erosión fluvial e inundación y 107 viviendas por erosión costera; ahora bien, todo el municipio está ubicado dentro de una zona de alta sismicidad con una intensidad máxima observada de 7,0 en la Escala Macrosísmica Europea de 1998 y una percepción del movimiento entre severo y violento (Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó., 2012; Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó, 2019; Geoportal SGC, 2020; Sarabia, A, 2015).

A partir de esta información recopilada, se pudieron identificar las viviendas que se encuentran en riesgo inminente, alto y moderado de degradación (Figura 29) y/o destrucción en la cabecera municipal de Nuquí, Chocó, predominando para los barrios Pueblo viejo, El Silencio, Bellavista y Santander, lo que conlleva a sugerir su reubicación hacia el sentido sur y norte del municipio, preservando una distancia mínima de 50 m desde la línea más alta de la marea hacia la construcción de las viviendas según las especificaciones de la DIMAR, al igual de una faja hasta de 30 m según lo establece el decreto ley 2811 de 197 tanto para mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos, logrando de esta forma, preservar las coberturas ribereñas y controlar la erosión e inundabilidad de la zona y con un mayor grado de importancia, disminuir los riesgos de afectación de las viviendas.

Figura 29. Zonificación de viviendas en riesgo por procesos naturales de erosión e inundación en el casco urbano de Nuquí, Chocó.
Fuente: Autoras, 2019. *Elaborado en ArcGis con mapas extraídos de portal del SIAC.*

A partir de la caracterización realizada y atendiendo a la percepción y necesidad de los nuquiceños, se pudo determinar la predominancia de cierta limitaciones en torno al modelo constructivo de las viviendas del casco urbano de Nuquí, Chocó, entre las que resaltan los daños estructurales y el deterioro de los materiales constructivos que surgen principalmente como respuesta ante las dinámicas geográficas y climáticas del municipio. Adicionalmente, a través de la visita de campo realizada se logró identificar la inadecuada gestión de residuos sólidos como otro asunto de importancia en la zona, lo que genera una serie de problemáticas con relación a la salubridad, confort y bienestar de los habitantes y la degradación del entorno ecológico.

Teniendo en cuenta lo anterior, desde la ingeniería ambiental se plantea la posibilidad de incorporar un material de construcción para viviendas como una alternativa a dichas problemáticas, que además de cumplir con los requerimientos mínimos en torno a las condiciones climatológicas propias de la zona, se adapte con el concepto cultural y tradicional que conciben sus habitantes de las viviendas, siendo asequible y con bajos costes de producción y que al mismo tiempo, pueda ser producido dentro de la comunidad teniendo en cuenta los requerimientos en torno al aislamiento geográfico que presenta el municipio.

Ateniendo a la caracterización de residuos sólidos del municipio, se evidencia un potencial aprovechamiento de los residuos agroindustriales y urbanísticos para la inclusión de una fibra vegetal endógena proveniente de un fruto que tiene una alta representatividad en las comunidades costeras, fomentando el aprovechamiento y reciclaje de desechos que se acumulan por la falta de gestión de los mismos en la zona. De este modo se logra mitigar la contaminación del ambiente y así mismo estimular la conservación de los ecosistemas del municipio, únicos en el mundo (Macancela, A., Martínez, A., 2020). Esto permitiría recuperar el equilibrio entre el paisaje, la culturalidad y la tradicionalidad que se han perdido tras el cambio en las tipologías de las viviendas adaptadas a una nueva cultura originada por circunstancias sociales y espaciales producto de la falta de estabilidad social y la precariedad física.

Existen referentes que invitan a la incorporación de una matriz polimérica reforzada con fibra de coco para su aplicación en viviendas, las cuales pueden mejorar el aspecto técnico, ecológico y económico que se tiene actualmente, sin dejar de lado la calidad de vida de la comunidad; como se evidencia en el estudio elaborado en Ecuador por Eduardo Macancela & Amadeus Martinez en el 2020*"Fabricación de bloques de cemento y fibra de estopa de coco y PET reciclado para la eco-construcción",* dirigido a ser material sostenible y sustentable en el sector de construcción. El material podría ser viable debido a las propiedades que ambos compuestos poseen gracias a la rigidez que la fibra le confiere al plástico, permitiendo que el material sea más resistente.

CAPÍTULO III. DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DEL BIOCOMPOSITO

9.2 OBJETIVO II: Diseñar un biocomposito teniendo en cuenta sus propiedades físicas y térmicas, a partir de los residuos poliméricos y orgánicos seleccionados con mayor producción y consumo en la zona de estudio.

9.2.1 Toma de muestras

Se realizó la visita al centro de acopio de materiales reciclables "RedCiclamos" ubicado en el barrio Miraflores en el casco urbano del municipio. Por medio de una entrevista dirigida al líder social Fawer Lerma, actual administrador de la estación de clasificación y almacenamiento, así como de la aplicación de la técnica de observación participativa en el interior del lugar, se identificó que se realiza tratamiento a una cantidad significativa de materiales reciclables como el plástico, el cartón y el aluminio (Figura 30); dicho tratamiento consiste en realizar la compactación de los residuos por medio del uso de una máquina a presión con el fin de reducir su volumen y posteriormente, son transportados por barco a Buenaventura para su aprovechamiento y/o transformación, ya que el municipio no cuenta con recursos para realizarlo in situ. Cabe resaltar, que de acuerdo a la Asociación de recicladores "RedCiclamos" para el año 2018 alrededor de 4375,19 kg de plástico PET fueron recuperados en la zona, lo cual representó un 45% del total de residuos reciclables recolectados, evidenciando su alta tasa de acumulación en la zona.

Posteriormente se realizó la visita al corregimiento de Coquí, al suroccidente del casco urbano. Por medio de una entrevista dirigida a Smith Valencia, un líder comunitario de dicho corregimiento, se identificó que existe una extensa área de cultivo de coco (134 ha) para la producción de aceite de coco y consumo local en el municipio de Nuquí (Anexo 8) (Agronet, 2017); sin embargo, para ello se hace uso exclusivo del fruto, por lo que se genera un alto acumulamiento en masa de residuos de la cascarilla de coco (Figura 31). De acuerdo con la información suministrada, la generación de estos desechos agroindustriales implica una gran problemática para la comunidad, pues teniendo en cuenta el gran volumen que estos ocupan y considerando la nula recolección de residuos sólidos dentro del corregimiento, se evidencia una invasión de los mismos en las zonas de cultivo y los terrenos circundantes, que a pesar de los intentos por aprovechar estos residuos, su masificación hace que estos esfuerzos sean insignificantes.

Figura 30. *Tratamiento de residuos de plástico PET en el municipio de Nuquí, Chocó.*
Fuente: Autoras, 2019

Figura 31. *Disposición de residuos de cultivo de coco en el corregimiento de Coquí, Chocó.*
Fuente: Autoras, 2019

9.2.2 Caracterización de residuos

Se realizó la caracterización de los residuos en términos de los tipos predominantes en la zona de estudio y sus potenciales propiedades, ello con el fin de precisar aquellos que implican mayores limitantes ambientales dentro de la comunidad y simultáneamente, puedan aportar significativamente en la resolución de la problemática referida a la durabilidad de los materiales de construcción en el modelo constructivo de la zona; para dicho fin, se revisaron referentes teóricos y se procedió a determinar la composición química de la fibra vegetal.

9.2.2.1 Caracterización *Cocos Nucifera* L.

La fibra obtenida a partir del mesocarpio del coco, puede clasificarse conforme a la maduración del fruto, pues su rigidez será directamente proporcional al contenido de lignina en su estructura; esto se puede identificar en el color de la fibra, por lo que un color café hace alusión a una fibra madura, caso contrario en aquellas fibras de color café claro o blanco, que hacen referencia a cosechas de menor tiempo previas a la maduración del coco. Se clasifican además por la longitud de las fibras, de esta forma, aquellas que cuentan con alto grosor y con longitudes mayores o iguales a 20 cm, se denominan fibras de cerda (bristle fibers) y aquellas que cuentan con una longitud menor a 20 cm, y por ende con mayor finura, se clasifican como fibras tipo colchón (mattress fibers) (Estrada, A., 2014).

Estas fibras, han incursionado recientemente en diferentes campos de aplicación dado que cuenta con diferentes propiedades, dentro de las cuales destacan la durabilidad y resistencia, esta última atribuida gracias a su alto contenido de lignina, permite que sea aplicada industrialmente en la producción de combustible y la elaboración de cepillos, alfombras, relleno de colchones y almohadas, sogas y filtros. En vista de que estas cuentan con ventajas como su procedencia de una fuente renovable, bajo coste, fácil adquisición y resistencia a altas temperaturas (200°C) manteniendo en mayor medida sus propiedades mecánicas, físicas y químicas y siendo la única fibra que resiste al ataque por agua salina, generando una tardanza en su tiempo de descomposición dada las condiciones de las zonas donde se cultiva, se ha convertido en un tipo de fibra potencialmente atractivo (Paricaguán, B., 2015; (Puentes, L., Joya, E.. 2005).

9.2.2.1.1 Caracterización química de fibra de coco

La mayoría de fibras naturales están compuestas por polímeros como lignina (Figura 32), celulosa (Figura 33) y hemicelulosa, además de otros compuestos como solventes orgánicos, fracción hidrosoluble o soluble en agua que poseen poco peso molecular y adicionalmente, comprenden un contenido de cenizas que previo a su combustión son proteínas y sales minerales (Paricaguán, B., 2015).

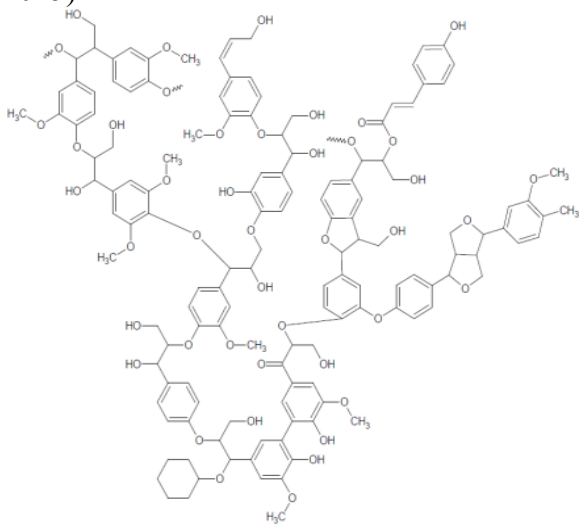


Figura 32. *Estructura química de la lignina.*
Fuente: (Paricaguán, B., 2015)

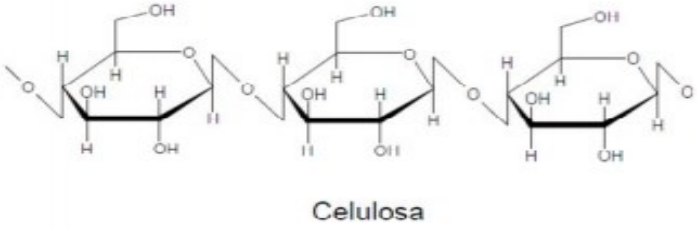


Figura 33. *Estructura química de la celulosa.*
Fuente: (Paricaguán, B., 2015)

La composición del coco varía de acuerdo con ciertas características, tales como: la zona el tipo de especie, el clima, la madurez del coco y su método de extracción (Paricaguán, B., 2015; Pineda, A., Navarrete, J., 2018; Tomczak, F., Sydenstricker, T., Satyanarayana, K., 2007). Es por ello que en el estudio se determinó el contenido de sus principales componentes (extraíbles, lignina y celulosa), con el fin de estimar las propiedades del coco estudiado, así como las potenciales propiedades que este puede conferir al biocompuesto.

En primera instancia, la determinación de los extraíbles es fundamental debido a que estos, son compuestos que por su estructura pueden alterar los valores en la determinación de los compuestos lignocelulósicos de la fibra. Del mismo modo, su contenido es determinante respecto a la compatibilidad de la fibra con la matriz polimérica, en vista de que pueden complicar la adhesión interfacial, por lo cual fue necesario realizar un tratamiento previo a las fibras, sumergiendolas en agua destilada durante 24 horas, ello con el fin de disminuir su contenido (Bilcati, G., Matoski, A., Trianoski, R., y Lengowski, E., 2018). No obstante, estos componentes le confieren a la fibra resistencia a factores biológicos como la pudrición, por lo cual son de suma importancia en la estructura de la fibra (Álvarez, A; Pizarro, C; Belén, M., 2012).

Ahora bien, con relación a la lignina, esta se encuentra dentro de las fibrillas de celulosa y hemicelulosa, y proporciona protección a la planta y a sus tejidos contra los daños químicos y físicos; adicionalmente, confiere fortaleza y consistencia a las paredes celulares y la protege de enzimas destructivas, es por esto, que la fibra adquiere fortaleza contra ataques microbianos y logra disminuir su degradación en el medio. Adicionalmente proporciona resistencia a los impactos, compresiones y flexiones y teniendo en cuenta su naturaleza, no permite la conducción de agua, lo cual confiere cierto

carácter hidrófobo a la fibra (Abdul, H., Siti, M., Mohd, A. 2007; Duque, R., 2015; Pineda, A., Navarrete, J.. 2018; Fonseca, M., 2006).

Con respecto a la celulosa, este es un polímero natural obtenido a partir del proceso bioquímico de la fotosíntesis, y las más conocidas son: α-celulosa, β-celulosa y γ-celulosa; este es el componente mayoritario de las fibras naturales vegetales desde el punto de vista estructural, brindando estabilidad, resistencia y rigidez a la estructura celular (Paricaguán, B., 2015; Trejos, J., 2014). El contenido de celulosa en las fibras permite determinar la variabilidad de algunas de sus propiedades mecánicas, específicamente su tensión y módulo de elasticidad, que incrementan conforme al aumento de celulosa. Además, al estar formada en mayor proporción por glucosa, se logra incrementar la resistencia al ataque alcalino, y por otro lado, ésta es insoluble al agua por la formación de puentes de hidrógeno establecidos en su estructura (Paricaguán, B., 2015).

Una vez se realizó la remoción de extraíbles, se procedió a determinar el contenido de celulosa y lignina (Figura 34 y Figura 35). Conforme a los datos obtenidos, se puede identificar entonces, en la Tabla 7 que el contenido de lignina fue significativamente alto, con un promedio experimental de 43,0500 % representando la mayor proporción dentro de la fibra y por el contrario el de celulosa, resultó ser considerablemente bajo.

Figura 34. *Muestra sin contenido de celulosa.* Fuente: Autoras, 2019

Figura 35. *Muestra sin contenido de lignina*. Fuente: Autoras, 2019

Tabla 6. Composición química de fibra de coco (Cocos Nucifera L.).

Muestra	Contenido de extraíbles (%)	Contenido de lignina (%)	Contenido de celulosa (%)
1	8,865 ± 0,004	39,4600± 0,0002	18,6279 % ±0,0008
2	3,533 ± 0,004	44,0000± 0,0002	18,0682 % ±0,0006
3	4,685 ± 0,008	45,9100± 0,0002	19,4380 % ± 0,0005
Promedio	**2,7 ± 2,0**	**43 ± 8**	**19 ± 2**

Fuente: Autoras, 2019

Dicho lo anterior, los resultados de extraíbles (Tabla 6) presentan un valor promedio de 5,694%, por medio del cual se contrasta el inferior valor obtenido por el presente estudio con el trabajo investigativo desarrollado por Ferraz, J. en el 2018 *"Produção e propriedades de painéis de fibra de coco verde (C. nucifera) em mistura com cimento Portland"*, se obtuvo para la composición química de extraíbles un valor de 4,86%, en este caso, el método utilizado para su extracción fue el TAPPI T 204, para el cual se realizaron dos reflujos: el primero etanol:tolueno (1:2), y el segundo de etanol, se mantiene entonces un tiempo en el sistema Soxhlet más prolongado que el realizado en el presente estudio, razón por la cual pudo variar el resultado. Paralelamente la investigación *"Obtención de*

celulosa micro cristalina a partir de la fibra de estopa de coco" de Pineda, A. y Navarrete, J.. realizada en el año 2018, en el cual se obtuvo un valor de 2,6%, de esta manera la variación abrupta en los resultados entre las investigaciones se puede atribuir a que para el documento de referencia la especie de coco estudiada es distinta (Coco enano), además se atribuye a la metodología utilizada, pues se hizo uso exclusivo de agua destilada hirviendo, lo cual genera que la fiabilidad de remoción sea menor dado que solo se remueven aquellos compuestos que son solubles en agua como los taninos, gomas, azúcares y materia coloreada.

Sin embargo, el valor obtenido en la presente investigación es similar al valor obtenido por otros autores como es el caso de Khalil Abdul, Alwani Siti y Omar Mohd en su estudio elaborado en el 2007, denominado *"Chemical composition, anatomy, lignin distribution, and cell wall structure of Malaysian plant waste fibers"* en el cual se obtuvo un valor de 6,4% determinado mediante el método TAPPI T 264 om-88, realizando un reflujo con los reactivos Etanol y benceno 1:2 (v/v) durante 6 horas, permitiendo remover un considerable valor de extraíbles como resinas, ácidos grasos, esteroles, ceras y grasas. Paralelamente, el estudio elaborado por Ruth Nuñez en el año 2010 denominado "*Estudio tecnológico del componente fibra de dos variedades de coco enano (C. nucifera) de los distritos de Lamas, Tarapoto y Pucacaca en la región San Martín*", realizó una caracterización del contenido químico de la fibra de coco, para la variación "enano verde"; en el caso del contenido de extraíbles, este se determinó siguiendo las normas ASTM D1105-56, ASTMD 1110-56 y ASTMD 1109-56, haciendo uso de un equipo Soxhlet y alcohol al 97% como solvente por un periodo de 4 horas, el cual remueve sustancias semejantes a las que remueve la acetona (sustancia utilizada en el presente trabajo), y su determinación se llevó a cabo para fibra con un estadío de madurez de 6, 10 y 12 meses, obteniendo valores promedio de 5,61%, 6,69% y 9,24% respectivamente. A partir de los documentos estudiados, se identifica que conforme incrementa el tiempo de maduración de la fibra, mayor es su contenido de extraíbles, explicando de esta manera el valor obtenido para el actual estudio, puesto que las fibras estudiadas provienen de cosechas de mediana maduración.

Ahora en cuanto a los resultados de la lignina y la celulosa, se tiene que de acuerdo con el estudio realizado por Ratanakorn Rawangkula, Joseph Khedaria, Jongjit Hirunlabhb & Belkacem Zeghmatic en el 2010, denominado "*Characteristics and performance analysis of a natural desiccant prepared from coconut coir*" el contenido de lignina obtuvo un valor de 35,3%, y el método para su determinación fue TAPPI 222 om 98, también conocido como"lignina de Klason", en donde se realizó una dilución con ácido sulfúrico al 72%, y al ser este un ácido fuerte, hace que el procedimiento implementado sea sumamente similar al implementado por la presente investigación y posiblemente es por esta razón por la que el contenido fue similar en las dos investigaciones; en el caso de celulosa, su contenido fue de 26,7%, y este se realizó por el método TAPPI-T203-cm-88, mediante una solución de hidróxido de sodio al 17,5% y al 9,45%, por lo cual el resultado es similar al obtenido en el presente estudio. Paralelamente, de acuerdo con la investigación realizada por Abdul, K., et al., 2010, se reporta un contenido de lignina del 32,8% obtenida mediante el método TAPPI 222 om 98, que implementa un ácido fuerte para su eliminación, al igual que en el presente estudio, lo que permite que ambos resultados sean similares. Sin embargo, en contraposición se obtuvo un contenido de celulosa del 44,2%, por lo cual se evidencia una considerable diferencia entre este y el obtenido en la presente investigación, ello considerando nuevamente que la metodología estándar implementada para dicho estudio fue T203 os-74, se determina en primera instancia la fracción soluble volumétricamente por oxidación con dicromato de potasio, para posteriormente determinar por diferencia la fracción insoluble que en este caso es la alfa-celulosa por lo que brinda una mayor confiabilidad en el resultado.

Se tiene entonces que el alto contenido de lignina puede deberse al maduramiento de la fibra, pues su tono café representa un mayor contenido de lignina que se va depositando en las paredes y por consiguiente disminuye el contenido de celulosa en sus fibras, por lo que se le confiere una menor flexibilidad pero mayor fuerza (Puentes, L., Joya, E.. 2005).

9.2.2.2 Caracterización Plástico PET.

El Polietileno tereftalato (PET) es uno de los termoplásticos con mayor uso en la industria alimentaria, ello considerando las propiedades con las que cuenta, entre las que se encuentran: su alta resistencia a la tracción y al desgarro, aún sometido a altas temperaturas, así como una baja densidad, alto grado de flexibilidad, resistencia a la humedad y baja permeabilidad a algunos gases, en especial al vapor de agua (Callister Jr, W., Rethwisch, D., 2012), proporcionándole un carácter irrompible, liviano e impermeable, así como rigidez y dureza; estos dos últimos le otorgan resistencia a esfuerzos continuos y al desgaste; a su vez, es un resistente químico ideal en obstaculizar el paso de gases y humedad, siendo un material completamente reciclable. Sin embargo, presenta desventajas tales como la liberación de toxinas al estar en contacto con temperaturas superiores a los 230 °C, a su vez, estos representan un problema terminado su ciclo de vida, teniendo en cuenta que al ser este un material artificial se degrada de manera muy lenta, y en vista de la falta de reprocesamiento del producto para su nuevo aprovechamiento, en contraste con su elevada demanda de uso, se genera un acumulamiento de este en el medio (Rubiano, J. et. al. 2011). Es por esto que se busca promover su reciclaje para usos alternativos, y disminuir de esta forma la corriente de residuos del mismo (Juárez M., Santiago, M., Vera, J.. 2011).

9.2.3 Elaboración de biocomposito

Una vez seleccionados los componentes para el material (fibra vegetal de coco y PET) y realizado su debido acondicionamiento (Figura 36 y 37), se procedió a realizar el diseño experimental de los mismos, en donde se elaboraron probetas de las matrices poliméricas PET y los compuestos PET/Fibra de coco tratada con Dodecil sulfato de sodio (DSS) al 4% (FCT) y Fibra de coco sin tratamiento (FC) en todas sus proporciones establecidas: 100% (PET), PET/(FC/FCT) 70/30 y PET/(FC/FCT) 80/20. Los pellets en todas las combinaciones se contrastan con el fin de evaluar el cambio en sus propiedades y con ello seleccionar la combinación más óptima.

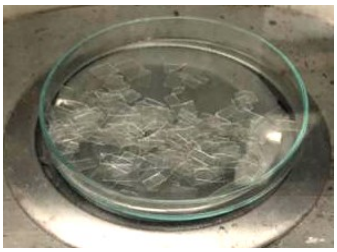


Figura 36. Plástico PET triturado. Fuente: Autoras, 2019

Figura 37. Fibra de coco acondicionada. Fuente: Autoras, 2019

Para la realización de las pruebas físicas, químicas y térmicas, se utilizaron tres tipos de moldes de acuerdo con los estándares establecidos para cada prueba, y de igual forma se realizaron para los moldes (Figura 38.a y Figura 38.b) láminas de fibra cruzada, y en el tercer molde (Figura 38.c) se dispuso la fibra cortada con una longitud no mayor a 5 mm, de manera aleatoria dentro de la lámina. En cada caso para cada una de las proporciones se realizaron triplicados, teniendo de esta forma un total de 45 biocompositos.

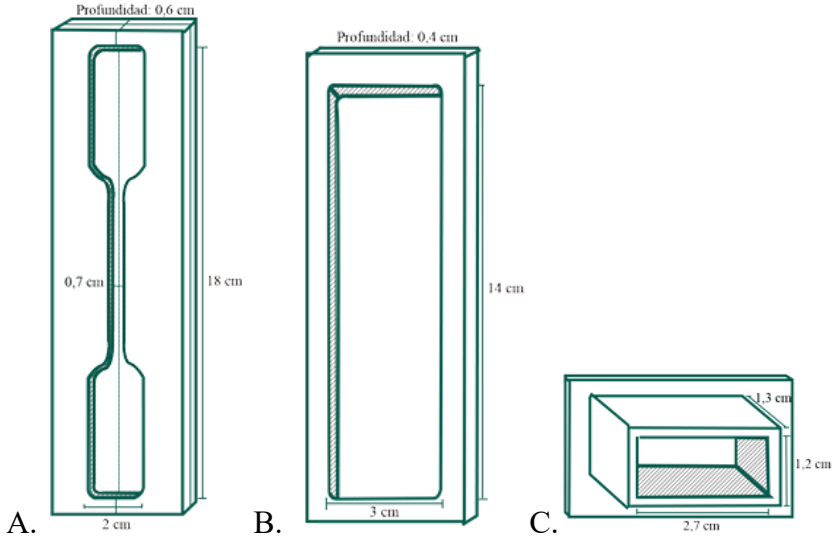


Figura 38. *Moldes utilizados para la realización de las probetas.*
a). Molde para prueba de tensión; b). Moldes laminares; c). Moldes prueba de hinchamiento, densidad y capacidad calorífica.
Fuente: Autoras, 2019. Elaborado en el software Photoshop CC.

Las fibras se dispusieron de manera cruzada, como una especie de tejido (Figura 39), de manera que exista un espacio entre ellas para que se facilite el paso del plástico adecuadamente y mejorar la adhesión interfacial, estas se unieron mediante la ayuda de super-bonder para mantenerlas fijas y facilitar su manipulación. La orientación fue seleccionada debido su influencia en las propiedades del compuesto, pues permite que exista una conformación más estable y mejor estructurada, dado que en el caso de las capas unidireccionales, si se llegase a someter el compuesto a una fuerza perpendicular, implicaría una debilidad teniendo en cuenta que las fibras presentan fuerza conforme la dirección en la que están dispuestas. Por el contrario, las fibras cruzadas soportan una resistencia bidireccional (Páez, J., 2007). El tejido de fibras proporciona una superficie rugosa que permite una interfaz más adecuada, lo que posibilita que las láminas tengan una mejor adhesión entre sí (Tamayo, A.. 2012).

Figura 39. *Láminas de fibra de coco cruzado para cada probeta.*
Fuente: Autoras, 2019

9.2.3.1 Tratamiento de biocomposito.

Para determinar el porcentaje de composición de cada componente en las probetas, se buscó el peso esperado de la probeta, realizando un ensayo únicamente con PET, donde se obtuvo un peso aproximado de 16,00 g; a partir del peso determinado, mediante una relación se estableció el peso de plástico y de la fibra requerido para completar el peso de cada probeta, teniendo en cuenta las dos proporciones seleccionadas 80/20 y 70/30. De esta manera, se pudo determinar el número de láminas de fibras requeridas para alcanzar dichos porcentajes: dos láminas para la proporción 80/20 y tres láminas para el caso de la proporción 70/30.

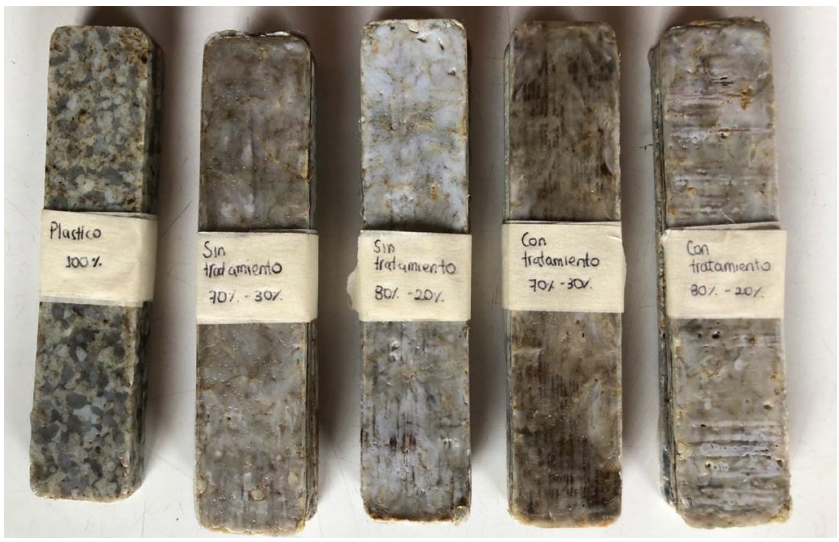


Figura 40. *Probetas laminares en sus distintas composiciones.*
Fuente: Autoras, 2019

Figura 41. *Probetas de pruebas físicas y térmicas en sus distintas composiciones.*
Fuente: Autoras, 2019

La respuesta físico mecánica del material dependerá del tipo de matriz polimérica, la fibra vegetal, su método de fabricación, la adhesión de las fibra-matriz, y la función que cumplirá (Puentes, L., Joya, E., 2005) y en el caso de mejorar o potencializar sus propiedades, se hace uso de aditivos químicos, en este caso el DSS para la modificación superficial de la fibra vegetal.

9.2.3.2 Caracterización física.

La caracterización física permite determinar el comportamiento del material frente a estímulos externos como el ambiente, lo cual es de suma importancia de evaluar considerando la influencia de las condiciones climatológicas de la zona en torno al desempeño del material y para ello, se realizaron las pruebas de porcentaje de hinchamiento y densidad del material.

9.2.3.2.1 Porcentaje de hinchamiento

La prueba de hinchamiento se llevó a cabo en las materias primas, es decir, para la fibra de coco sin tratamiento y tratada con DSS y para la matriz polimérica PET, ello con el fin de contrastar sus resultados con los obtenidos para los biocompuestos PET/FC y PET/FCT (70/30)-(80/20).

Teniendo en cuenta lo anterior, se procedió inicialmente a aplicar la prueba a la fibra de coco sin tratamiento y con tratamiento químico, evidenciando en la Figura 42. que la tendencia para el caso de las tres muestras de la fibra de coco sin tratamiento (FC), manifiestan un ascenso en su peso seco del 234% una vez transcurridos 30 minutos y luego de las curvas fluctuantes que presenta, en la etapa de absorción lenta llega a alcanzar un nivel de absorción máxima de 281% en un periodo de 5 horas, esto quiere decir que puede llegar a ganar hasta tres veces su masa con respecto a su peso inicial. Caso contrario ocurre para la fibra con tratamiento (FCT) (Figura 42b), pues alcanza en promedio un pico máximo de absorción de 153% de peso seco dentro de un rango de 30 minutos; y transcurrida esta primera etapa, se observa un descenso corto hasta alcanzar la tercera etapa de absorción que consiste en conseguir un punto de equilibrio (Monsalve, J., Sánchez, M., Baquero, D., 2018), se tiene entonces que en contraste con la (FC), esta es 128,57 unidades porcentuales menor.

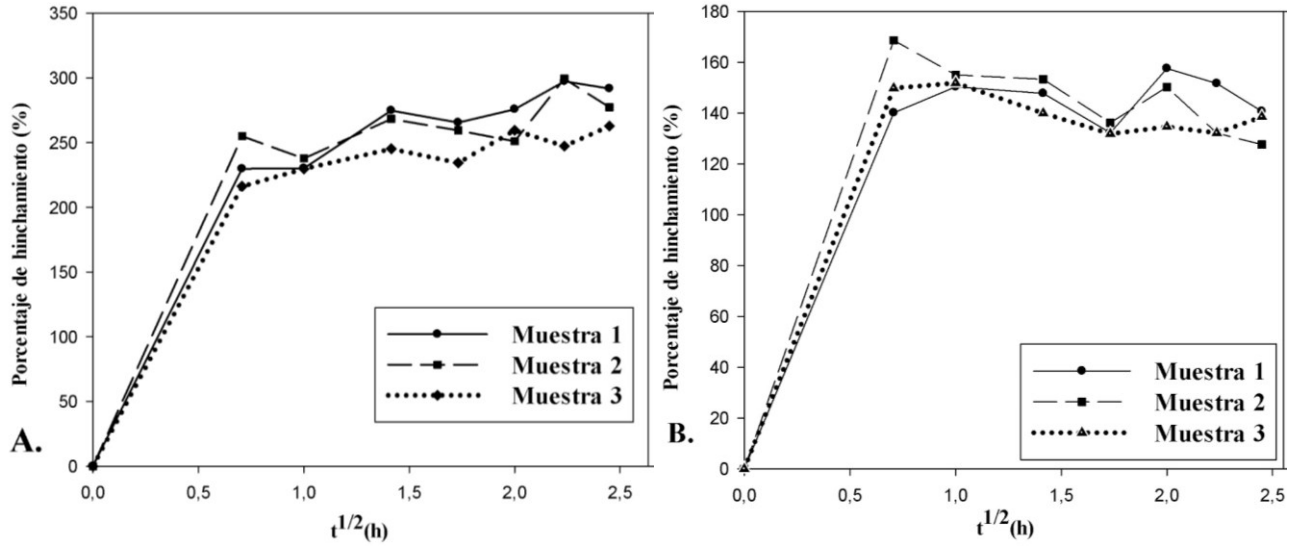


Figura 42. *Prueba de hinchamiento de FC y FCT*
a). Resultado de los tres ensayos de porcentaje de hinchamiento de FC; b). Resultado de los tres ensayos de porcentaje de hinchamiento de FCT
Fuente: Autoras, 2020

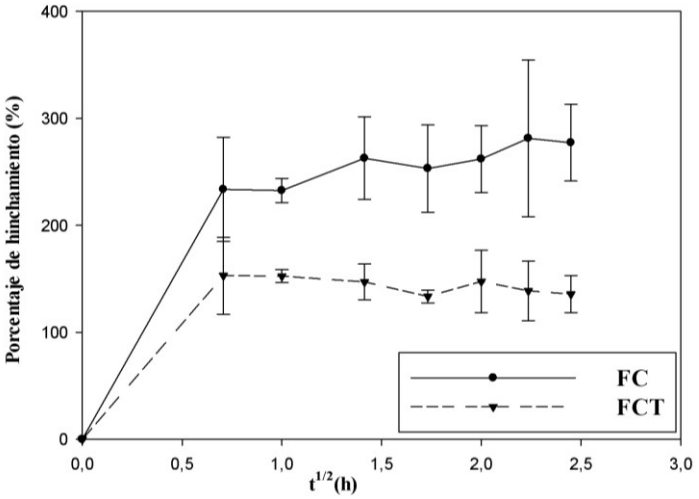


Figura 43. *Resultado prueba de hinchamiento promedio de FC y FCT*
Fuente: Autoras, 2020

A partir de la Figura 43, se aprecia un significativo diferencial de absorción entre la fibra de coco tratada (FCT) y sin tratar (FC). Se tiene entonces que el fenómeno de absorción en la fibra de coco es atribuido a la presencia de grupos libres de hidroxilo en la cadena polimérica de la celulosa, los cuales son los encargados de la alta absorción en la fibra de coco, que en contraste con otras fibras naturales, tiene un porcentaje de hinchamiento medio, pues teniendo en cuenta la relación de 3 grupos de hidroxilo por cada cadena de glucosa, la cantidad que podría llegar a absorber una fibra es de hasta 8 veces su peso (Basaldúa, F., 2016; Haque, M., Hasan, M., Islam, M., Ali, M.,2009). Ahora bien, el uso de tratamientos superficiales puede llegar a modificar el contenido de lignina, hemicelulosa, ceras y otras sustancias extraíbles en la fibra, lo cual afectará en mayor o menor medida la hidrofobicidad de las misma y por tanto su facultad de absorción; cabe mencionar que esta limpieza varía conforme el tiempo, la concentración y la temperatura a la que se someten las fibras. Para el caso concreto de DSS, este al ser un surfactante anfifilo (hidrofílico e hidrofóbico), en presencia de una solución acuosa, sus cadenas hidrofóbicas quedan dirigidas hacia el interior de la estructura, y sus cabezas hidrofílicas al exterior de la misma, de esta manera, aunque encuentra afinidad con el agua, no permite el paso de la misma al interior de su estructura, lo cual favorece la baja absorción de humedad de las fibras (Monsalve, J., Sánchez, M., Baquero, D., 2018; Sierra, M., 2015).

A su vez, con base a los resultados obtenidos por Fabián Basaldúa Robledo (2016), se evidencia que se lograron obtener mejores resultados en el presente trabajo investigativo, con respecto al porcentaje de hinchamiento en las fibras de coco con tratamiento y sin tratamiento de DSS, pues dentro de dicha investigación, ninguno de los tratamientos químicos aplicados a la fibra de coco logró disminuir su absorción de agua y por el contrario, incrementaron su valor con la adición del agente acoplante. Sin embargo, dentro del total de tratamientos realizados (NaOH, NaClO y DSS), se observó que las fibras tratadas con DSS mostraron un mejor desempeño en aminorar el carácter hidrofílico de la fibra; según el autor, este fenómeno pudo ser atribuído a una remoción menor de ceras y grasas en la pared de las fibras naturales en comparación con los demás tratamientos aplicados, así como al estar el DSS en concentraciones y tiempos inferiores al 10% y 24 h, hace una remoción de lignina y pectina menor, teniendo en cuenta que a mayor concentración de lignina, menor es la capacidad de retención de moléculas de agua en su estructura. Es por esta razón, que se optó el uso del tratamiento de DSS al 4%, pues favorece un adecuado estado de conservación de la fibra de coco (Karthikeyan, A., Balamurugan, K., Kalpana, A., 2014).

Paralelamente, se realizó la prueba de hinchamiento en la matriz polimérica, polietileno tereftalato (PET), en donde se evidencia según la Figura 41 una tendencia similar para las tres muestras de ensayo, para el caso de la etapa de absorción rápida se presentó un ascenso promedio de 0,11% de su peso seco en agua, dentro de un periodo de tiempo promedio de 1 hora, posteriormente, entra en la etapa de absorción lenta y logró alcanzar un pico máximo de absorción de 0,13% de su peso seco en agua, lo que evidenció que no se cumple la etapa de equilibrio.

Teniendo en cuenta los valores presentados, se logra rectificar el pronunciado carácter hidrófobo del plástico PET, lo cual es producente a la estabilidad dimensional del material. De igual forma, esto se constata a través de diferentes referentes bibliográficos, como lo es el trabajo *"The absorption and thermal behaviors of PET–SiO2 nanocomposite films"*, realizado por los autores Tianbin Wu y Yangchuan Ke, en el año 2006 donde se evidencia que para el porcentaje de hinchamiento del PET, en la etapa de absorción rápida se alcanza un pico de 0,9 % de su peso seco en agua, y posteriormente entra en la etapa de absorción lenta alcanzando un nivel máximo de 1,1 %. Caso similar sucede con el estudio realizado por María Angélica Sánchez Sierra y Pedro Alexander Paredes Quiroga en el 2014, en el que se observa que dentro de un tiempo de inmersión de 24/96 h a 23°C, los valores de absorción de agua del PET son 0,07%/0,16% respectivamente, siendo un incremento poco representativo en ambos casos. Los autores precisan que el comportamiento de absorción del PET es diferente al de otras muestras comunes, pues dentro de sus resultados obtenidos se presenta que para la tercera etapa, el porcentaje de absorción no se mantiene en equilibrio y presenta una curva fluctuante tendiente a una absorción lenta, esto probablemente atribuido al equilibrio dinámico entre los procesos de absorción y desorción del material, lo que indica que si bien el hinchamiento del PET es mínimo, este va aumentando paulatinamente conforme el tiempo de inmersión, fenómeno similar a los resultados obtenidos por el presente trabajo.

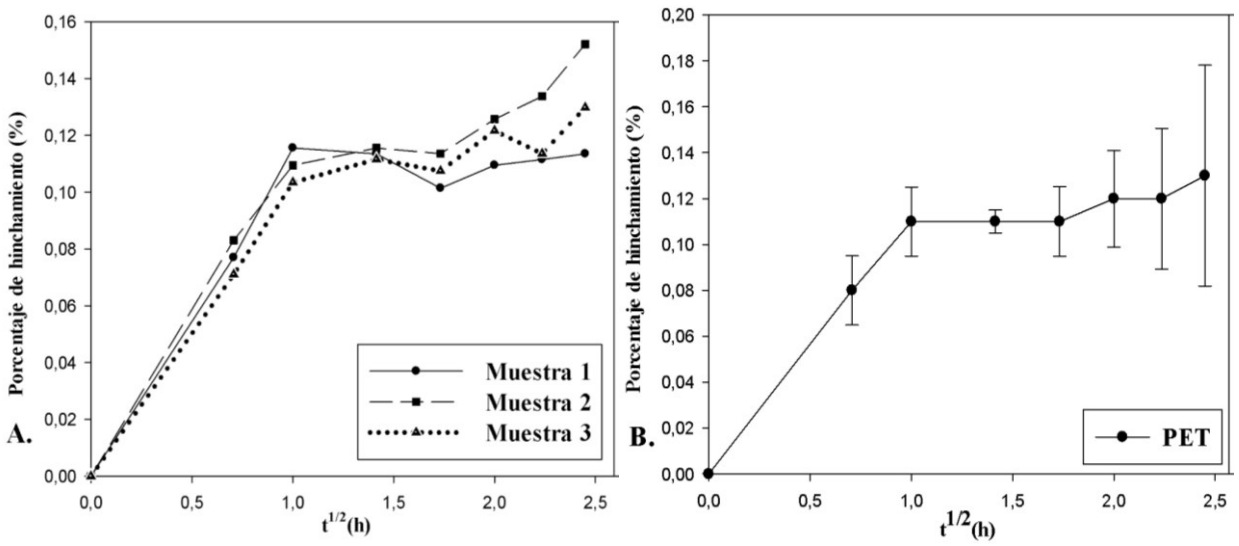


Figura 44. *Prueba de hinchamiento de PET*
a). Resultado de los tres ensayos de porcentaje de hinchamiento de PET; b. Resultado prueba de hinchamiento promedio de PET
Fuente: Autoras, 2020

Ahora bien, se puede asegurar entonces que gracias a la baja capacidad de absorción que tiene el PET, en contraste con la fibra de coco, se logra disminuir el carácter hidrofílico de la misma, confiriéndole al biocompuesto baja permeabilidad. Esto, se logra contrastar con los resultados de hinchamiento para los biocompuestos PET/FC (70/30) y PET/FCT (70/30) en la Figura 45, en donde

transcurrido un periodo promedio de una (1) hora, en ambos casos se alcanzó el punto máximo de absorción de agua antes de llegar a su etapa de descenso y posterior equilibrio; sin embargo, se evidencia un diferencia de 4,15 unidades porcentuales entre su porcentaje de hinchamiento, siendo menor para el caso de las muestras PET/FCT. Caso similar se presenta para los biocompuestos PET/FC (80/20) y PET/FCT (80/20) (Figura 46), pues manifiesta una tendencia conforme a las tres etapas de hinchamiento: ascenso, descenso y punto de equilibrio, sin embargo, estas alcanzan su pico mayor de absorción transcurrido un periodo de aproximadamente dos (2) horas, para el caso del biocompuesto con fibra tratada, este alcanza un valor de máximo de 4,96% de su peso seco y con respecto al biocompuesto con fibra sin tratar, supone un valor máximo de 5,47% existiendo una diferencia de 0,51 unidades porcentuales entre ambos.

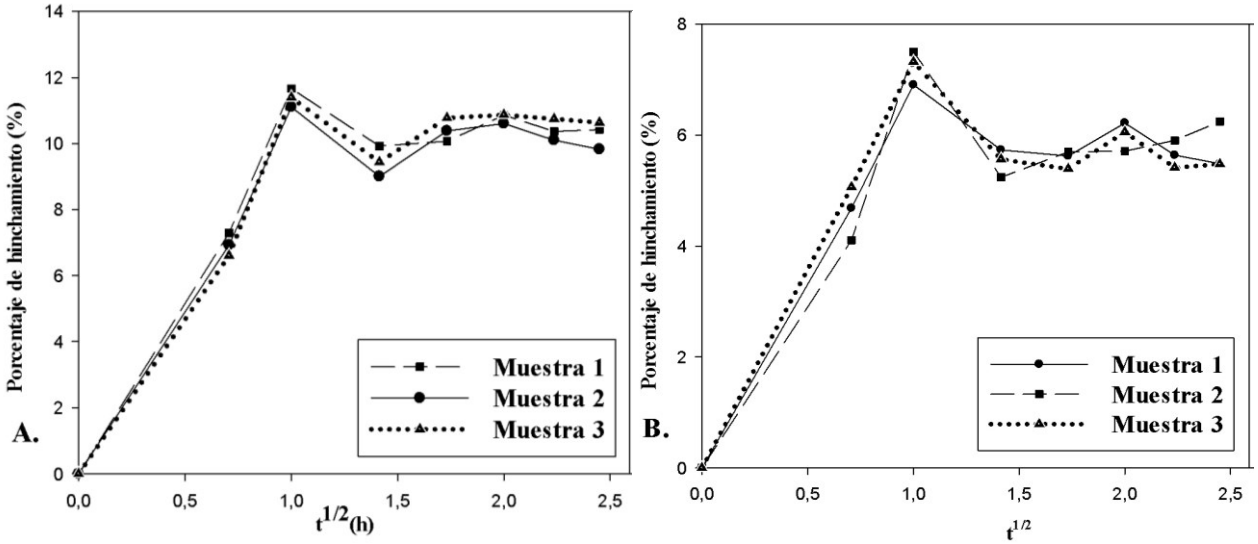


Figura 45. *Prueba de hinchamiento proporción 70/30*
a). Resultado de los tres ensayos de porcentaje de hinchamiento de PET/FC (70/30); b. Resultado de los tres ensayos de porcentaje de hinchamiento de PET/FCT (70/30)
Fuente: Autoras, 2020

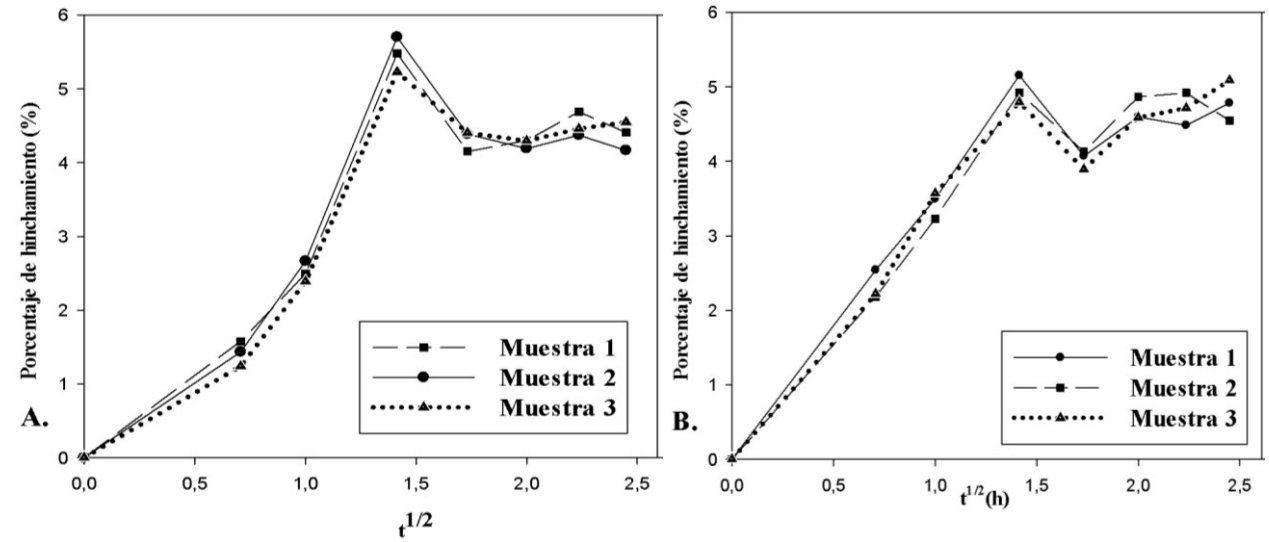


Figura 46. *Prueba de hinchamiento proporción 80/20*
a). Resultado de los tres ensayos de porcentaje de hinchamiento de PET/FC (80/20); b). Resultado de los tres ensayos de porcentaje de hinchamiento de PET/FCT (80/20)

Fuente: Autoras, 2020

De igual forma, se presenta entonces que en comparación a los resultados plasmados con anterioridad, el tiempo de ascenso hasta alcanzar el punto máximo de hinchamiento para los materiales PET/FC/FCT con proporción (80/20), atribuido principalmente al aumento en masa de la matriz polimérica y la disminución de la fibra de coco, lo que disminuye las características hidrofílicas atribuidas por la fibra al compuesto. A su vez, se observa que el diferencial de absorción entre las composiciones de FC y FCT es más bajo para aquellas de proporción (80/20) que las de (70/30) (Figura 47).

Esta tendencia es similar a los resultados obtenidos por otros estudios, como el de la autora Lina Rojas González, en el año 2019 en su investigación "*Aprovechamiento de la cáscara de cacao para la elaboración de un biocomposito con aplicación en la construcción sostenible*", para la cual se evaluó el porcentaje de absorción entre la matriz polimérica polipropileno (PP) reciclado y fibra proveniente del aprovechamiento agroindustrial de la cáscara de cacao sin tratamiento (FC) y con tratamiento (FCT), a partir de la aplicación del mismo tensoactivo evaluado en el presente documento, en el que se evidencia que para los compuestos de combinación PP/FC(70/30) Vs PP/FCT(70/30), se presenta que dicho agente acoplante brinda un mayor efecto de hidrofobicidad al ser aplicado, en el que se logra obtener un considerable diferencial de porcentaje de hinchamiento de 4,82 unidades porcentuales, caso contrario dentro de los compuestos de proporción PP/FC(80/20) Vs PP/FCT(80/20) y PP/FC(90/10) Vs PP/FCT(90/10), en los cuales se obtiene una diferencia de tan solo 0,99 y 0,73 unidades porcentuales respectivamente. Caso similar al resultado proveniente del trabajo investigativo "*Characterization and Properties of Recycled Polypropylene/Coconut Shell Powder Composites: Effect of Sodium Dodecyl Sulfate Modification*", de los autores Koay Seong Chun, Salmah Husseinsyah y Fatin Nasihah Azizi, los cuales evaluaron el aprovechamiento del polvo de cáscara de coco (CSP) como relleno en polipropileno reciclado (rPP), utilizando DSS como agente de acoplamiento en los compuestos rPP/CSP (100/20) y rPP/CSP (100/40), en este se evidencia el mismo fenómeno descrito con anterioridad, entre mayor cantidad de fibra dentro del compuesto, mayor efecto tiene el DSS en la disminución de la hidrofilicidad del compuesto en comparación con el compuesto sin agente de acoplamiento. No obstante, ello no quiere decir que la disminución del contenido de fibra en el compuesto incrementa la hidrofobicidad; al contrario, tanto en la fibra tratada como en la fibra sin tratamiento, a medida que se aumenta el contenido de fibra dentro del material, aumenta el porcentaje de absorción en el compuesto.

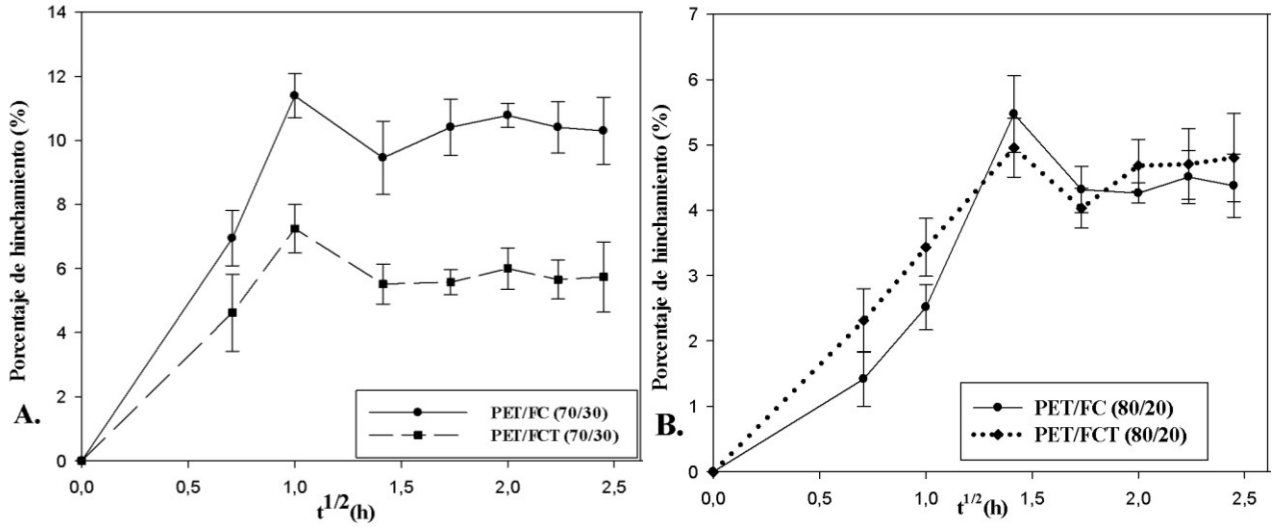


Figura 47. *Prueba de hinchamiento promedio para proporción 70/30 y 80/20 a). Resultado de porcentaje de hinchamiento promedio de PET/FC y PET/FCT (70/30); b). Resultado de porcentaje de hinchamiento promedio de PET/FC y PET/FCT (80/20)*
Fuente: Autoras, 2020

Es importante decir entonces, que el aumento de carga de fibra dentro del biocompuesto así como el incremento del tiempo de inmersión del mismo es directamente proporcional al aumento en la hidrofilicidad del mismo. No obstante, gracias a tratamientos químicos se puede aumentar la hidrofobicidad del material debido a que estos permiten disminuir el número de grupos OH de la fibra, lo que genera una reducción en la higroscopicidad de la superficie de la fibra. El dodecil sulfato de sodio como agente acoplante, es una alternativa menos agresiva que los tratamientos ácidos y básicos comúnmente empleados, pues al tener un menor pH, permite incrementar la ductilidad en la superficie de la fibra y de esta forma, logra mejorar el desempeño mecánico del material, a su vez, se evidencia que no existe una degradación significativa en la estructura primaria de las fibras sino que existe una disminución en la intensidad de la banda respectiva a las ceras de las fibras, así como una remoción parcial de lignina y pectina que permite una mayor rugosidad y la consecuente generación de hoyos intrafibrilares, lo cual posibilita la impregnación de las fibras con la matriz polimérica y permitiendo la mejora en la adhesión interfacial del material (Basaldúa, F., 2016).

A su vez, la concentración de la sustancia química utilizada influye considerablemente en la remoción de sus compuestos y por ende la pérdida másica, sin embargo al utilizar una concentración al 4% de DSS, se permitió conservar un diámetro mayor de la sección transversal, es decir, el grosor de las fibras de coco, por lo cual no disminuyó significativamente y sumado a ello, el efecto en el aumento de la distancia entre las fibras dentro del compuesto, logró obtener una menor absorción de agua acumulada en la región interfibrilar por las fibras de coco (Karthikeyan, A., Balamurugan, K., Kalpana, A., 2014). Dicho lo anterior, se evidencia que el material compuesto de fibra de coco y PET en proporción 80/20 podría tener un alto potencial de aplicabilidad en contraste con las otras proporciones dentro de las condiciones de inundabilidad de la zona.

9.2.3.2.2 Densidad

La densidad es una propiedad física que depende del peso de sus materias primas y los agregados utilizados (Morales, C., 2020), es por ello que se asocia a la medida de la masa relativa de los objetos con respecto a un volumen constante y de esta manera se tiene que cada elemento y compuesto posee una densidad distinta. Esta propiedad tiene una incidencia en el rendimiento del material, esto permite su relación de manera directa o indirecta con otras de sus propiedades (Mahzan, S., Ahmad, A., Arsat, N., Hatta, M., Ghazali, M., Rasool, L., 2010). Actualmente, dentro de las características importantes que se tienen en cuenta para la evaluación de un material, se encuentra la baja densidad dado que algunas aplicaciones requieren de un material ligero, es por ello que se hace necesaria la evaluación de los materiales PET (100), PET/FC/FCT (70/30) y PET/FC/FCT (80/20), realizándose por triplicado para cada composición (Tabla 7) y determinando así un promedio para cada caso (Figura 48) (Callister Jr, W., Rethwisch, D., 2012).

Tabla 7. *Densidad para los compuestos PET (100), PET/FC/FCT (70/30) y PET/FC/FCT (80/20).*

Proporción	**Fibra sin tratar**		**Fibra tratada**		**PET**
	80/20	**70/30**	**80/20**	**70/30**	**100%**
Muestra 1 (g/cm^3)	0,96±0,01	0,91±0,01	0,97±0,01	0,876±0,009	1,23±0,02
Muestra 2 (g/cm^3)	0,93±0,01	0,825±0,009	0,99±0,01	0,95±0,01	1,21±0,01
Muestra 3 (g/cm^3)	0,911±0,009	0,817±0,009	0,95±0,01	0,800±0,008	1,18±0,01

Fuente: Autoras, 2020.

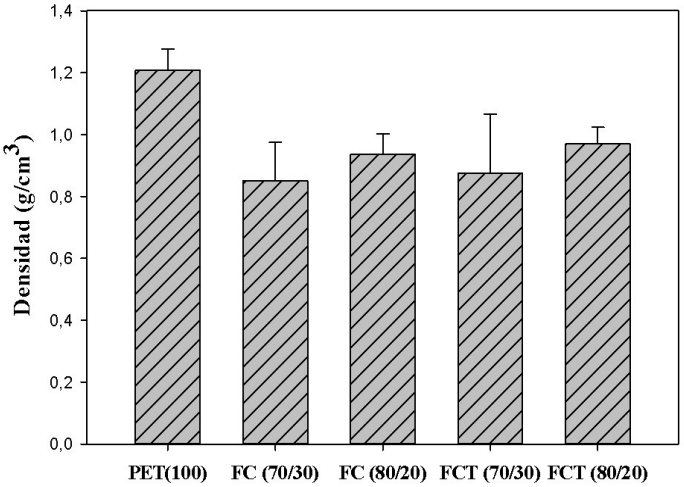


Figura 48. *Densidad promedio para los compuestos PET (100), PET/FC/FCT (70/30) y (80/20).*
Fuente: Autoras, 2020

Se tiene como primera medida un valor promedio de 1,21 g/cm^3 para la matriz polimérica, como se presenta en la Figura 48, que en contraste con los valores teóricos reportados por los autores Donald Askeland, Pradeep Fulay y Wendelin Wrights, en el libro "Ciencia e ingeniería de los materiales" en el 2004, se encuentra que la densidad del PET está en un rango de 1,29-1,40 g/cm^3, siendo ambos resultados similares e indicando que este polímero posee una densidad baja (Sánchez Sierra, M., Paredes Quiroga, P., 2014).

Dicho lo anterior, la disminución de la densidad de los materiales elaborados con PET y reforzados con fibra de coco es atribuida al incremento de fibra en los diferentes compuestos (Figura 48), de esta manera, se evidencia que aquellos materiales de proporción 70/30 tienen un valor de densidad menor en comparación con los biocompuestos de proporción 80/20. Según diversos autores, esta dinámica está relacionada a la baja densidad con la que cuentan las fibras naturales, atribuido en este caso específico a la influencia de los compuestos lignocelulósicos en la fibra de coco. Es por esta razón que los biocompuestos reforzados con fibra mostraron valores similares de densidad (0,80-0,99 g/cm^3) y gracias a este comportamiento, se logra obtener un material liviano (Córdoba, C., Mera, J., Martínez, D., Rodríguez, J., 2010; Delgado, F., 2012; Bledzki, A., Franciszczak, P., Osman, Z., Elbadawi, M., 2015).

Sin embargo, algunos autores aseguran que la baja densidad de los biocompuestos está relacionada con una mayor porosidad, es decir, estos son tendientes a presentar una mayor cuantía de cavidades en su composición, lo cual puede causar además que el material tenga menor resistencia a la fatiga, mayor variación en las propiedades mecánicas y mayor tendencia a la absorción de agua, esta última constatada en los resultados de porcentaje de hinchamiento. En contraposición, gracias al tratamiento químico de DSS se logra mejorar la adhesión interfacial entre la matriz polimérica y la fibra de coco, lo que conlleva a evitar la conformación de cavidades en la matriz y disminuye a su vez la capacidad de absorción de la fibra (Jawaid, M., Khalil, H. A., Hassan, A., Abdallah, E., 2012; León, K., Mora, H., Oscanoa, A., Campusano, J., 2016; Rosaa, S., Santosb, E., Ferreiraa, C., Marlí, S., Nachtigallb, B., 2009; Upadhyaya, P., Garg, M., Kumar, V., Nema, A., 2012).

Es por esto, que considerando que se logró obtener una densidad relativamente baja como se observa en la Tabla 8 para todos los materiales, se evidencia que se logró obtener un material liviano; y de igual forma, se adquirirá una relación costo-eficiencia dentro de los materiales realizados con fibras naturales teniendo en cuenta que por su baja densidad, un kilogramo de fibra de coco, representa un volumen mayor en comparación a los materiales convencionales con densidades mayores (Gómez, J., 2009).

9.2.3.3 Caracterización térmica.

La caracterización térmica define la capacidad del material de retener o liberar energía calórica, y es importante como mecanismo de evaluación para la aplicación en lugares con elevadas temperaturas ambientales; se caracterizó el material térmicamente mediante la realización de la prueba de capacidad calórica

9.2.3.3.1 Capacidad calorífica

Esta prueba consistió en medir los flujos de calor en los materiales elaborados en sus respectivas proporciones de composición, ello con el fin de identificar la cantidad de calor que requieren para elevar su temperatura en 1°C (Gómez, M.. 2017). Para la determinación de los calores específicos de los materiales, se tuvo en cuenta la ecuación 7

Se determinó entonces, el valor de calor específico del PET previo a la mezcla con la fibra vegetal con el fin de contrastar los datos obtenidos a partir de la adición de fibra de coco e identificar, si la presencia del mismo dentro de este material puede aportar propiedades como aislante térmico dentro de las viviendas de la zona; de este modo, como se muestra a continuación se obtuvo un valor de 1,4

J/g°C (Tabla 8), para el calor específico del polietileno tereftalato.

$$\boldsymbol{Cp_{sol}} = \frac{m_{H_2O} * Cp_{H_2O} * \Delta T_{H_2O}}{m_{sol} * \Delta T_{sol}} \qquad \text{(Ec. 7)}$$

$$\boldsymbol{Cp_{sol}} = \frac{100{,}6326\text{g} * 4{,}182 \frac{\text{J}}{\text{g°C}} * 1{,}2}{4{,}8216\text{g} * 69{,}9\ °\text{C}} = 1{,}4\ \text{J/g°C} \quad \text{(Ec. 7)}$$

Tabla 8. *Resultados de la prueba de calor específico del PET.*

Material	***Cp* J/g°C**	**Fuente**
PET	1,4	Autores, 2020
	1,4400	Brems, A., Baeyens, J., Vandecasteele, C., Dewil, R., 2011

Fuente: Autoras, 2020

A partir del contraste del valor obtenido con respecto al valor bibliográfico de referencia (Tabla 8), se evidencia que los resultados son muy similares, lo cual se puede atribuir a que el valor del calor específico de un material incrementa conforme se eleva la temperatura en la metodología aplicada; Ahora bien, en ambos escenarios los materiales se sometieron a temperaturas con mínima diferencia, en la investigación de Anke Brems et. al. la temperatura experimental estuvo entre 15°-95°C, siendo semejante a la aplicada en el actual estudio, estando entre 19,4°C-90,6°C.

Ahora bien, una vez realizados los termogramas (Figura 49), se determinaron entonces los resultados para los materiales compuestos PET/FC y PET/FCT, en sus diferentes composiciones, como se plasma en la Tabla 10, identificándose que el material que obtuvo un valor superior de calor específico con relación a los otros compuestos fue PET/FC (70-30).

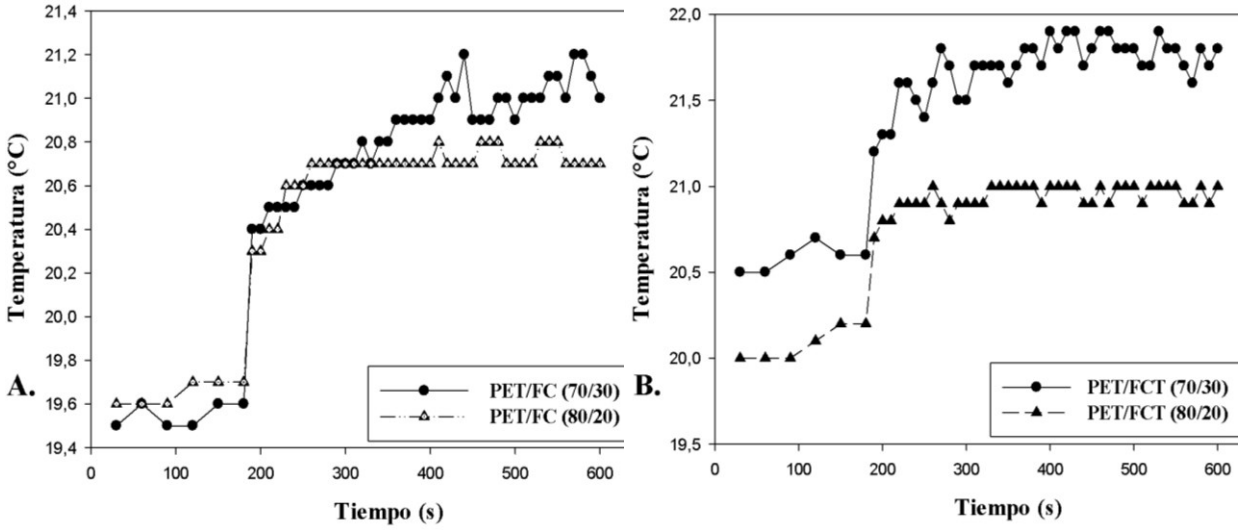


Figura 49. *Termogramas de PET/FC y PET/FCT en proporciones 70/30 y 80/20*
a). Termograma capacidad calorífica biocompuesto sin tratamiento 80/20 y 70/30; b). Termograma capacidad calorífica biocompuesto con tratamiento 80/20 y 70/30

Fuente: Autoras, 2020

Tabla 9. *Resultados obtenidos para Calor específico de los materiales compuestos con PET y fibra de coco sin tratar/tratada con DSS.*

	Proporción	***Cp* sólido J/g°C**
PET/FCT	70%-30%	1,9
	80%-20%	1,6
PET/FC	70%-30%	2,01
	80%-20%	1,56

Fuente: Autoras, 2020

Esta dinámica puede estar relacionada con que dicho material presenta una mayor competencia en retención de la energía por unidad de masa, pues la capacidad calorífica del material es directamente proporcional al volumen de la fibra dentro del mismo (Palomo, M., 2017). Adicionalmente, se presenta que existe un valor mayor para los biocompuestos con fibra sin tratamiento, esto teniendo en cuenta que el pretratamiento con DSS modifica su composición y ello conlleva a que se vea disminuido su potencial de aislante térmico, sin embargo, esta diferencia no es significativa (Basaldúa, F., 2016). Esta dinámica se presenta también en aquellos casos en donde se hace aprovechamiento de fibra de coco como refuerzo de otros materiales, como se plasma en el estudio realizado por Marisol Gómez en el año 2017, denominado "*Análisis térmico del mortero adicionado con fibra de coco"*, en el que se obtuvo un valor de 2079 J/kg/K para el material reforzado con 15% de coco, en contraposición con el material sin refuerzo alguno con un valor de 975 J/kg/K, pudiendo ganar este último mucha más energía que el material que contó con la incorporación de coco.

Ahora bien, de acuerdo con el diagnóstico ambiental realizado a la zona de estudio, la concentración de calor en las viviendas es una de las deficiencias que condiciona a los habitantes del municipio y por tal motivo, se hace necesaria la comparación de los valores obtenidos dentro de la investigación, con valores referentes para los materiales de construcción convencionales mayormente implementados en la zona (Tabla 10), de esta manera se evidencia que los compuestos responden considerablemente mejor que los materiales convencionales, lo cual supone un mayor esfuerzo por parte de los biocompuestos en absorber energía en forma de calor del exterior, lo que indica su capacidad como aislante térmico, y evidenciando que los materiales convencionales no se adaptan a las condiciones de zonas con altas temperaturas, pues pueden ganar una alta cantidad de calor y disminuyen a su vez el confort de los habitantes de las viviendas.

Tabla 10. *Calor específico para materiales convencionales de construcción.*

Uso	**Material**	**Calor específico J/g°C**
Techos	Zinc	0,389
Pisos y paredes	Madera de construcción	1,36
	Madera pesada	1,25
	Ladrillos de arcilla	0,921
	Concreto celular	0,88
	Mortero de cemento/arena	1,00

Fuente: Autoras con referencia de Hernández, J., 2014

Habría que decir también, que la capacidad higroscópica de la fibra le confiere propiedades termodinámicas, lo que permite que esta logre desarrollar su capacidad aislante, además de mantener una alta temperatura de inflamabilidad (460°C) y gracias a su baja densidad, se determina que el material es propiamente aplicable dentro de la industria constructora en zonas con predominante concentración de calor dadas las condiciones climáticas del entorno, como lo es el caso del municipio de estudio, pues promete ser un buen aislante térmico, al requerir un alto esfuerzo para absorber calor y adicionalmente por proporcionar una barrera que dificulta el paso de calor, en este caso desde el entorno inmediato de las viviendas al interior de las mismas. Adicionalmente permite el ahorro energético por disminución en el uso de equipos de climatización (Chávez, P., López, M., 2008; Palomo, M., 2017).

Se tiene entonces que de acuerdo con los resultados obtenidos a partir de la caracterización física, química y térmica de los biocompuestos y sus componentes, se pudo identificar la competencia que tienen los componentes individualmente dada su naturaleza (fibra de coco y PET) y de qué manera al mezclarse como un único material se refuerzan y aportan propiedades entre sí, dando paso a un biocompuesto con potencial como aislante térmico, con baja permeabilidad, ligero y resistente contra ataques biológicos, mejorando así su capacidad de aplicabilidad dentro de la industria constructiva en la zona. Es importante mencionar que ante los beneficios y consecuencias que conlleva la modificación superficial de las fibras, se presenta que el agente modificador DSS, es uno de los tratamientos menos agresivo y adicionalmente mejora otras propiedades como la adhesión entre la matriz polimérica y las fibras y ayuda a minimizar la capacidad de absorción de agua de la fibra de coco, sin embargo, puede disminuir aunque de manera poco significativa la resistencia térmica de la fibra (Basaldúa, F., 2016).

Es por ello que el material cumple condiciones técnicas que se encaminan al cumplimiento del objetivo de la investigación el cual es el desarrollo de un material que mejore las condiciones de las viviendas de la zona, reduciendo a su vez daños causados por algunas condiciones sociales, económicas, climáticas y meteorológicas mencionadas con anterioridad.

CAPÍTULO IV. APLICABILIDAD DEL BIOCOMPUESTO DENTRO DEL MODELO CONSTRUCTIVO DE NUQUÍ, CHOCÓ

9.3. OBJETIVO III: Establecer la sostenibilidad bajo criterios nacionales e internacionales del material propuesto de acuerdo a su funcionalidad específica en el modelo constructivo del casco urbano de Nuquí, Chocó.

9.3.1 Evaluación del desempeño de los materiales

Teniendo en cuenta los valores obtenidos para cada prueba realizada en la matriz polimérica PET y los biocompuestos en sus diferentes composiciones, se realizó un contraste con respecto a los resultados obtenidos para cada uno de ellos, con el fin de determinar cuál es el que presenta un mejor desempeño y así determinar su potencial aplicabilidad como material de construcción, dentro de las viviendas del casco urbano de Nuquí, Chocó, que tenga en cuenta además las vulnerabilidades asociadas a las deficiencias del modelo constructivo y las condiciones meteorológicas y geográficas bajo las cuales está regida la zona.

Por lo cual, se llevó a cabo un análisis descriptivo completo en el cual se tienen en cuenta para cada material el atributo categórico de algunas de sus propiedades, dentro de las que se encuentran: densidad, porcentaje de hinchamiento y capacidad calorífica. Se tiene entonces, que a cada variable se le asigna una puntuación porcentual correspondiente a su nivel de significancia con respecto al desempeño del material, teniendo en cuenta el aporte de las variables a su funcionalidad dentro de las deficiencias más significativas en torno a los materiales implementados en el modelo constructivo de la zona de estudio.

Es de esta manera, en que se toma el porcentaje de hinchamiento y la capacidad calorífica como aquellas variables con el mismo nivel de importancia, dado que en el diagnóstico ambiental se evidenció que los fenómenos naturales se reportan como aquellos que afectan significativamente el desempeño de los materiales de construcción en las viviendas del municipio dado mayormente por cargas ambientales que surgen a partir de las interacciones del medio, y consecuentemente, se identifican dos factores primordiales, la humedad dentro de las viviendas, reportado por los habitantes en un promedio de alto (37%) y medio (40%) y el confort habitacional en torno a la concentración de calor al interior de las viviendas, con una predominancia entre alto (37%) y medio (63%). Con respecto a la densidad de los materiales, se evidencia que esta proporciona un beneficio adicional, pues aportar ligereza y practicidad al material; sin embargo, no modifica o altera la condición del mismo con respecto a su utilidad, por lo cual recibe una valoración menor. A continuación, se presenta en la Tabla 11 la ponderación de categorías junto con el porcentaje que cada una representa, y conforme a ello en la Tabla 12, la valoración para cada categoría en las diferentes proporciones del biocompuesto, en donde se asigna un puntaje de 1-10, siendo 10 el puntaje más alto con respecto al desempeño del material en dicha propiedad, y finalmente estos valores se multiplican en cada caso por los valores ponderados seleccionados para cada propiedad:

Tabla 11. *Valor ponderado para las categorías de los biocompuestos.*

Categoría	Densidad	Hinchamiento %	Capacidad calorífica
Valor ponderado (%)	20	40	40

Fuente: Autores, 2020

Tabla 12. *Puntaje de evaluación de las categorías para los biocompuestos.*

Categoría	Puntaje Densidad	20%	Puntaje Hinchamiento	40%	Puntaje Capacidad C.	40%	Total
PET/FC 70/30	10	2	4	1,6	10	4	7,6
PET/FC 80/20	7	1,4	8	3,2	8	3,2	7,8
PET/FCT 70/30	9	1,8	6	2,4	10	4	8,2
PET/FCT 80/20	8	1,6	8	3,2	6	2,4	7,2

Fuente: Autoras, 2020

Se tiene entonces, que aquel material que presentó mejor respuesta a las pruebas realizadas es el PET/FCT (70/30) obteniendo un puntaje de 8,2, esto se debe principalmente a que el aumento de proporción en la fibra dentro del material al igual que el uso de un agente modificador de la fibra, permiten tener como resultado materiales con mayor desempeño para estas tres variables evaluadas.

9.3.2 Requerimientos del material

En contraste con lo anterior, y teniendo en cuenta la proporción identificada como la más óptima para su implementación en el modelo constructivo de la zona estudiada, dadas las condiciones de mejoría que concibe frente a los materiales tradicionales y convencionales de mayor uso, se procede a identificar los requerimientos que el material debe de poseer representados en calidad, atributos, capacidades y características para satisfacer ciertas necesidades y así pueda presentar una utilidad. Dentro de los requisitos se conciben algunas especificaciones: técnicas, funcionales y basadas en escenarios, que desde la ingeniería se pueden levantar. En cuanto a las especificaciones técnicas, se tienen en cuenta las demandas cuantificables, como su composición, carga y dimensión (de qué está hecho, cuánto resiste y qué tanto se puede dimensionar); paralelamente con respecto a las especificaciones funcionales, estas hacen referencia a aquellas que describen el comportamiento esperado e ideal del material; al igual que la evaluación en torno a la especificaciones basadas en escenarios, las cuales se enfocan en la interacción entre el material y el entorno, en este caso específico a las exigencias requeridas dados los factores climáticos y meteorológicos identificados como prioritarios en la degradación de los materiales de la zona, y su comportamiento frente a las especificaciones técnicas y funcionales (qué hará el producto y cómo lo hace) (Lutters, E., 2019).

9.3.2.1 Especificaciones técnicas.

Como primera medida, se compara en la Tabla 13. Algunas condiciones técnicas de los materiales tradicionales y convencionales con mayor predominancia en la zona, en contraste con las del biocompuesto seleccionado con mejor rendimiento y de este modo, determinar qué ventajas presenta el biocompuesto y así mismo, definir su potencial de aplicación dentro de las viviendas de la zona de estudio.

Tabla 13. *Condiciones técnicas para materiales convencionales de construcción y biocompuestos.*

Categoría	Material		Propiedad		
			Densidad g/ cm^3	**Hinchamiento (%)**	**Calor específico (J/g°C)**
Biocompuestos	PET		1,208	0,132	1,4
	PET/FCT 70%-30%		0,876	7,244	1,9
	PET/FCT 80%-20%		0,970	4,957	1,6
	PET/FC 70%-30%		0,850	11,388	2,01
	PET/FC 80%-20%		0,937	5,472	1,56
Materiales convencionales	**Techos**	Fibrocemento	1,250	35	0,84
		Zinc	7,140	0	0,389
	Pisos y paredes	Madera blanda	0,630	25	1,36
		Madera pesada	0,800	19	1,25
		Bloques de arcilla	1,800	21,60	0,921
		Bloques de concreto	1,500-1,700	8	0,920
		Cemento	1,200-1,600	10	-

Fuente: Autoras; Atem, C., 2012; Cemex, s.f; Eternit, s.f; Gaggino, R. et. al, 2008; Rodríguez, H.2020; Ulffer, M. 2014

Tomando en consideración lo señalado en la Tabla 14, se determina entonces que el material FCT/(70/30), en contraste con los materiales convencionales y tradicionales aplicados con mayor predominancia dentro de la zona de estudio presenta una ventaja con respecto a las tres propiedades evaluadas. En primera instancia, obtuvo un porcentaje de hinchamiento menor al 10% indicando que es uno de los materiales con menor absorción de agua, al igual que las tejas de zinc y fibrocemento (León, K., Mora, H., Oscanoa, A., Campusano, J., 2016); a su vez, es un material ligero teniendo en cuenta que el valor de su densidad es bajo y muy similar al de la madera; ahora bien, con relación a la capacidad calorífica, se evidencia que el valor que obtuvo el biocompuesto evaluado es significativamente mayor en contraste con los demás materiales, ello quiere decir que es altamente resistente a la absorción de calor y al aumento de su temperatura lo cual determina el potencial de aislante térmico que presenta el material.

9.3.2.2 Especificaciones funcionales.

Se puede decir entonces, que según estipula la normativa colombiana, específicamente en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) y las Especificaciones Técnicas de Vivienda y Obras de Urbanismo expedido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, la ligereza de un material, su garantización de temperatura de confort al interior de la vivienda y la mejora en las condiciones de calidad y durabilidad tras su aplicación, lo convierten en un material altamente adaptable como revestimiento constructivo de tipo cielo raso, pues conforme a los resultados obtenidos, la baja permeabilidad del material le confiere mayor calidad y durabilidad en contraste con los materiales tradicionales y convencionales aplicados en la zona, su ligereza dada su baja densidad y su potencial propiedad como aislante, permiten asegurar dichas condiciones dentro de las viviendas de tipo tradicional (Figura 50), siendo altamente oportuna su implementación en dicha tipología considerando que las condiciones económicas han restringido la implementación de este tipo acabado en las mismas (Congreso de la República de Colombia., 1997; Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio., S, f*)*.

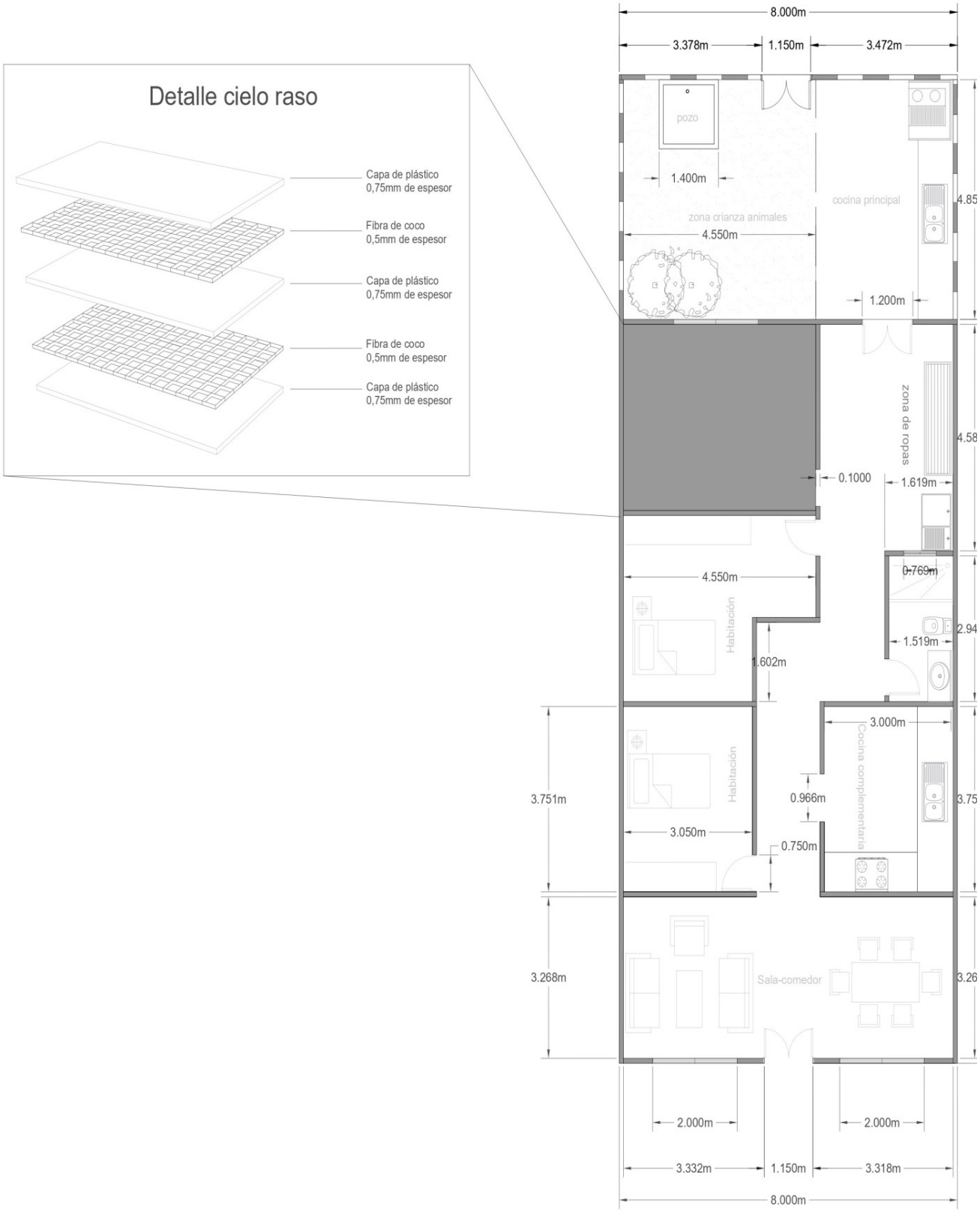


Figura 50. *Diseño de cielo raso en vivienda de tipología tradicional*
Fuente: Autoras, 2020. Elaborado en AutoCAD

Como se evidencia en la Figura 50, la alternativa construcción del cielo raso se plantea de tipo modular registrable, el cual consiste en un sistema de revestimiento superior en la vivienda suspendido de forma en que sus módulos se apoyan sobre una estructura metálica o entramado sin fijación alguna, pudiendo removerse con facilidad, elaborandose en láminas de tamaños de 0,6m x 0,6m x 0,003m cada una, sin embargo, dichas dimensiones pueden ser ajustables al criterio de la persona que implemente el material (Zeppelin, C., 2012). Dicha aplicabilidad, al igual que el tipo de cielo raso seleccionado, se eligieron considerando que su función no implique algún tipo de esfuerzo, dado que el material no se sometió a pruebas que indiquen el comportamiento del mismo ante cualquier tipo de esfuerzo mecánico. De esta manera, teniendo en cuenta que la implementación del material se ajustó a las viviendas de tipología tradicional de una sola planta, se realiza el respectivo diseño del plano con apoyo de la información brindada por el Arquitecto del municipio Omar Reyes Moreno y la observación realizada en campo, permitiendo hacer una distribución con el dimensionamiento próximo de estas tipo viviendas en la zona, y así poder determinar la relación entre las áreas de aplicabilidad del material y el tamaño requerido en cada caso

Ahora bien, se estima la cantidad de material necesario para suplir la demanda de cada vivienda dada la composición establecida 70/30 (Tabla 14), siendo de 206 kg de PET equivalentes a aproximadamente 6867 botellas de 1L teniendo en cuenta, que el peso promedio de c/u es de 30 g y así mismo, 88,4 kg de fibra de coco tratada equivalentes aproximadamente a 861 cocos de la variedad Typica (gigante) considerando, que el rendimiento de la fibra de coco es aproximadamente el 30% del peso de la cáscara completa, representando 0,1026 kg del peso total de un coco de la variedad estudiada (Tabla 15) (Quintanilla, M., 2010).

Tabla 14. *Determinación del peso requerido del biocompuesto con relación al área aplicable dentro de la vivienda.*

Área de la vivienda	**Área (m^2)**	**Volumen (m^3)**	**Peso material (kg)**	**Peso Fibra de coco (kg)**	**Peso PET (kg)**
Sala y comedor	25,49	0,076	67,0	20,1	46,9
Cocina	11,253	0,034	29,6	8,87	20,7
Habitaciones	11,441	0,034	30,1	9,02	21,0
	14,577	0,044	38,3	11,5	26,8
	17,131	0,051	45,0	13,5	31,5
Baño	4,479	0,013	11,8	3,53	8,2
Zona de ropas	14,433	0,043	37,9	11,4	26,5
Hall	13,275	0,040	34,9	10,5	24,4
Total	112,079	0,336	295	88,4	206

Fuente: Autoras, 2020

Tabla 15. *Peso del coco Cocos nucifera gigante y su composición.*

	Peso en húmedo del coco (kg)	**Peso en seco cáscara del coco (kg)**	**Peso en seco de fibra de coco (kg)**
1	2,7818	0,3420	0,1026

Fuente: Autoras, 2020

Se realizó el cociente entre la cantidad de material que se necesita para la elaboración del biocompuesto, y la producción de este al interior del municipio con el fin de determinar si se puede suplir o no con dicha demanda. En el caso del PET, la recolección anual para el año 2017 fue de 4375,19 kg (pg 70), equivalentes para suplir 21 viviendas al año. Sin embargo, como se mencionó

en el diagnóstico, esta cifra está un poco alejada de la realidad, dado que en la zona muchas personas desechan el PET de manera inadecuada limitando su utilidad para ser reciclado, tendiendo entonces a incrementar el valor total de unidades suplidas; ahora bien, con relación a la fibra de coco, se realiza una relación de la producción de coco proyectada para el año en curso, de 2034,56 ton (Anexo 9), con respecto al peso del coco (Tabla 15), para la cual se determina un valor mensual de 60949 cocos, y en este sentido de acuerdo a lo requerido para la elaboración del biocompuesto, su disponibilidad podría suplir aproximadamente 71 viviendas al mes.

Es por esto que la elaboración del material como implementación al cielo raso en viviendas, se determina viable, posibilitando su extrapolación a viviendas de tipología moderna, en reemplazo de la madera que actualmente se aplica y así aumentar el confort habitacional dentro de las mismas.

9.3.2.3 Especificaciones basadas en escenarios.

Habría que mencionar también, que la aplicabilidad del material y su función como cielo raso desempeña no sólo un papel estético dentro de la vivienda, sino que a su vez busca contar con algunas características específicas, identificando su posible respuesta ante exigencias a factores climáticos y meteorológicos característicos de la zona.

De esta manera, se establece que el material es idóneo como aislante térmico, pues confiere estabilidad en la energía calórica a las viviendas de la zona de estudio, ello considerando como ya se mencionó, el elevado brillo solar predominante en el municipio, incide en la exposición de las viviendas a un aumento de temperatura al interior de las mismas; esta propiedad permite además involucrar el factor económico, pues se lograría controlar el flujo de calor propendiendo a una construcción energéticamente eficiente e incrementando el confort térmico de los habitantes al interior de la vivienda.

A su vez, una alta resistencia a la humedad supone un bajo porcentaje de hinchamiento del material, lo cual tiene una apreciación significativa, dado que la alta humedad ambiental característica de la zona de estudio propicia una mayor rapidez de degradación y un menor soporte biológico a microorganismos en los materiales. Es importante mencionar además, que considerando que la metodología implementada no permite la exposición de la fibra vegetal en la superficie del material, así como la resistencia química ante la degradación que aportan el PET y el DSS y el alto contenido de lignina en la fibra, se confiere protección a esta última de contaminación microbiana y ataques por insectos u hongos, reduciendo la probabilidad de rápida degradación característica de la fibra, e incrementando a su vez la vida útil del material implementado como cielo falso, aunque esto no se puede afirmar con certeza dado que no se aplicaron pruebas de degradación al material (Zeppelin, C., 2012). De igual forma, considerando el carácter impermeable del material, este permitir repeler la humedad al interior de las viviendas, lo que propende a la disminución de exposición de los habitantes a posibles enfermedades, lo que supone un beneficio a su salud.

Sin embargo, a partir de lo anterior, es pertinente realizar más pruebas físicas y químicas en paralelo a pruebas mecánicas y microbiológicas, ello con el fin determinar su máximo aplicable dentro de las viviendas del casco urbano de Nuquí, Chocó, dado que esta no se puede precisar contando únicamente con tres propiedades, como para su implementación como cimentación o estructural, sino que por el contrario solo se puede estimar de manera más superficial, como para uso en acabados.

Lo dicho hasta aquí supone una alternativa adecuada y viable en términos de calidad de vida de los habitantes del municipio, ahora bien, a partir de los requerimientos mencionados con anterioridad, se delimitan los criterios de sostenibilidad para enmarcar el material bajo ciertos indicadores de responsabilidad ambiental.

9.3.3 Criterios de Evaluación de sostenibilidad

Los métodos de evaluación de sostenibilidad, se utilizan para evidenciar el compromiso ambiental de un proyecto, este caso en particular, midiendo el rendimiento positivo y negativo que puede llegar a tener la implementación de un material dentro una edificación en el ámbito social, económico y ecológico Cabellos, D., 2017)..

Es por esto, que se integra el aporte de las certificaciones internacionales más reconocidas como el sistema americano LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) y el sistema inglés BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method), además de la Cartilla de Criterios Ambientales para el diseño y la construcción de vivienda urbana, como guías para identificar los impactos del material en cuestión y la forma en que estos pueden aportar al bienestar de los habitantes, teniendo en cuenta la funcionalidad específica para su aplicación en las viviendas de la cabecera municipal de Nuquí, Chocó Cabellos, D., 2017; MADS, 2012).

Cada una de estas metodologías tiene en cuenta la evaluación de categorías específicas, las cuales presentan una mayor relevancia en cada caso, en relación con la certificación BREEAM y la Cartilla de Criterios, estas están adecuadas localmente para Reino Unido y Colombia respectivamente, es por ello que muchos de sus criterios se ajustan a las condiciones de estos países, en el caso de la certificación LEED, esta tiene en cuenta factores más generalizados. A continuación, se plasma en la Tabla 16, de manera general las categorías que abarca cada una de las metodologías mencionadas, relacionada a las edificaciones:

Tabla 16. *Categorías de calificación de las certificaciones LEED, BREEAM y la Cartilla de criterios ambientales.*

LEED	**BREEAM**	**Cartilla de Criterios Ambientales**
Proceso integrado de diseño	Gestión	Agua
Localización y transporte	Salud y bienestar	Suelo
Parcelas sostenibles	Energía	Materiales
Eficiencia en agua	Transporte	Energía
Energía y atmósfera	Agua	
Materiales y recursos	Materiales	
Calidad ambiental interior	Residuos	
Innovación	Uso del suelo y ecología	
Prioridad regional	Contaminación	
	Innovación	

Fuente: Autores con referencias de BREEAM UK, 2014; CCCS, s.f; MADS, 2012.

9.3.3.1 LEED.

El sistema LEED evalúa criterios de calidad en diferentes áreas, dirigidas a 9 categorías como ya se mencionó, las cuales varían conforme al tipo de proyecto que se busque certificar, es por esto, que se cuenta con prerrequisitos y créditos determinados para cinco ámbitos de aplicación (Figura 51), de esta manera se hace uso de *LEED v4 BD+C: Diseño y construcción de edificios* para edificios de nueva planta o remodelaciones de gran magnitud, *LEED v4 ID+C: Diseño y construcción de interiores* para cualquier tipología de implantación de interiores, *LEED v4 BO&M: Operación y Mantenimiento en edificios* para aquellos casos en donde se busque realizar operaciones de mantenimiento en un edificio, *LEED v4 ND: Desarrollos urbanos* cuando se trata de un conjunto de edificios o desarrollo urbanístico, sin embargo estos hacen referencia a grandes proyectos y edificaciones, es por ello que para este estudio se aplica *LEED v4 HOMES: Residencial,* puesto que son propios para su aplicabilidad en edificios de uso residencial. A partir del puntaje obtenido para los criterios se confiere un sello: Certified o Certificado (40-49 puntos), Silver o Plata (50-59 puntos), Gold u Oro (60-79 puntos) y Platinum o Platino (más de 80 puntos) (Cabellos, D., 2017).

Figura 51. *Ámbitos de aplicación de la certificación LEED.*
Fuente: (Cabellos, D., 2017)

Dentro de las categorías establecidas por LEED, aplica en el contexto de este estudio la categoría de "Materiales y recursos", puesto que la finalidad es la evaluación netamente del material en el contexto de la edificación.

9.3.3.1.1 Materiales y recursos

El modelo LEED propende a la selección e implementación de materiales que presenten un bajo impacto en las distintas etapas de su proceso productivo (extracción, fabricación y transporte), esto de la mano con la disminución de la corriente de residuos sólidos por medio del reciclaje de residuos de construcción y demolición, así como los generados tras la habitabilidad del inmueble (Durán, L., 2017). Dentro de *LEED v4 HOMES: Residencial* se incluye además *LEED v4 BD+C: Hogares y viviendas multifamiliares de baja altura* (de uno a tres pisos) y *LEED v4 BD+C: Multifamiliar de mediana altura* (de cuatro a seis pisos). De esta manera se plasma en la Tabla 17 los criterios para el temático en mención.

Tabla 17. *Matriz de criterios ambientales LEED v4 HOMES: Residencial. "Materiales y recursos".*

	Materiales y recursos	Puntaje máximo
01	Madera tropical certificada	Requerido
02	Gestión de la durabilidad	Requerido
03	Verificación de la gestión de la durabilidad	1
04	Productos ambientalmente preferibles	4
	Producción local	1.5
	Productos ambientalmente preferibles	4
05	Gestión de residuos de construcción	3
06	Marco eficiente de material	2
Puntos posibles:		10

Fuente: (Spain Green Building Council, 2019)

Se tiene entonces que de los criterios plasmados en la Tabla 17, algunos de ellos no corresponden a la temática evaluada de la presente investigación, superando de esta forma el alcance del proyecto.

Dentro de este esquema de certificación, no se tendrá en cuenta el criterio de *"Madera tropical certificada",* puesto que el propósito de la presente investigación no se centra en la gestión responsable de los materiales actualmente implementados en la zona; por otra parte, se excluye el criterio de "*gestión de la durabilidad*" dado que para aplicarse debe cumplir con requisitos dirigidos a la gestión del agua y control de humedad en zonas específicas de la vivienda, para las cual no aplica el material evaluado, esto se encuentra anudado al criterio de *"verificación de la gestión de la durabilidad",* que tiene como prerrequisito el criterio anterior; paralelamente el criterio de *"Gestión de residuos de construcción"* es un criterio en busca de la reducción de residuos de construcción, mediante su reuso y reciclaje, sin embargo no contempla el aprovechamiento de residuos sólidos de otro tipo, y por ello no es aplicable al biocompuesto. Con respecto al criterio *"Estructura eficiente en materiales",* este fomenta la conservación de los recursos reduciendo el uso de materiales estructurales innecesarios, en el caso del material elaborado, si bien tiene potencial como aislante térmico, no implica ninguna de las técnicas avanzadas descritas para este criterio (Spain Green Building Council, 2019).

Dicho lo anterior, se evidencia que el único criterio aplicable al biocompuesto es *"productos preferibles ambientalmente",* dado que este busca incrementar la implementación de componentes que minimicen el consumo de materiales vírgenes, esto por medio del reciclaje y recuperación de residuos sólidos, en este caso concreto el aprovechamiento de botellas PET dispuestas en el municipio, así como la recuperación de la fibra de coco, la cual actualmente no presenta un aprovechamiento significativo por parte de los habitantes de la zona. Es por esto, que para su primer requerimiento la puntuación asignada tiene en cuenta que las materias primas del material sean extraídas, procesadas y fabricadas in situ, estas etapas comprendidas en un rango no mayor a 160 km de distancia (Figura 52) y que dichos componentes se incorporen en al menos el 50% del compuesto elaborado para ser aplicado en revestimientos interiores, asignándose entonces **1 punto**. Simultáneamente, se tiene con respecto a los requisitos listados de cumplimiento, que el biocompuesto aplica a ser un producto con más del 25% de su contenido obtenido post-consumo representado en material regenerado y reutilizado, provenientes de desechos urbanos y agroindustriales; a su vez que hace uso de materiales con base biológica dada la implementación de

la fibra de coco; es por lo anterior y contemplando que el componente tendrá una función de revestimiento en la vivienda se asigna una puntuación adicional de **1,5** de esta forma, este criterio recibe un puntaje total de **2,5 puntos** (Tabla 18) (Spain Green Building Council, 2019).

Figura 52. *Distancia entre etapas de extracción, procesamiento y fabricación de materiales.*

Fuente: Google Earth, modificado por autoras, 2020

Tabla 18. *Evaluación criterios aplicables: eje temático "materiales".*

	Materiales y recursos	Puntaje Max.	Puntaje alcanzado	Cumplimiento obtenido
01	Productos preferibles ambientalmente	4	2,5	62,5%
			2,5	62,5%

Fuente: Spain Green Building Council, 2019

Se tiene con respecto a los resultados, que la certificación LEED para viviendas, no permite determinar con certeza la sostenibilidad del material, puesto que solo se pudo dar aplicabilidad a un criterio, dado que esta certificación hace referencia a toda la estructura de la vivienda y con referencia al ciclo de vida de la misma y en este caso en particular solo se busca la calificación de un material, sin embargo, el puntaje recibido a dicho criterio permite evidenciar el compromiso que este material puede tener con el medio ambiente.

9.3.3.2 Cartilla de Criterios Ambientales para el diseño y la construcción de vivienda urbana.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se encamina hacia el planteamiento de criterios de sostenibilidad ambiental para la construcción de vivienda urbana al interior del país, teniendo en cuenta normativas y técnicas que buscan solventar las necesidades de la población, estando en concordancia con la Política de Gestión Ambiental Urbana, que plantea la meta "principios y lineamientos ambientales establecidos e incorporados en el diseño y construcción de la vivienda". Es de esta manera, que se desarrolla la propuesta de criterios ambientales aplicable al sector de

construcción de viviendas, dichos criterios fueron planteados teniendo en cuenta las características de zonificación climática nacional, los objetivos macro de sostenibilidad ambiental y los cuatro ejes temáticos establecidos: agua, suelo, materiales y energía; en el caso del presente estudio se tuvo en cuenta la categoría "materiales", el cual considera 7 criterios (Tabla 19):

9.3.3.2.1 Materiales

Tabla 19. *Matriz de criterios ambientales para la producción y uso de la vivienda, eje temático "materiales".*

Objetivos	Eje temático: Materiales
Racionalizar el uso del recurso	M-1: Uso de materiales regionales
	M-2: Aplicar las propiedades físicas de los materiales
	M-3: Modulación de elementos de construcción
Sustituir con sistemas o recursos alternativos	M-4: Reutilización y reciclaje de materiales
Manejar el impacto ambiental	M-5: Uso de materiales con menor impacto ambiental
	M-6: Manejo de residuos de materiales de construcción
	M-7: Procesos ordenados y sostenibles en las obras

Fuente: MADS, 2012

Dentro de los objetivos macro de sostenibilidad, se consideran tres encaminados a la gestión ambiental basados en la arquitectura sostenible: la racionalización de uso de los recursos naturales, la sustitución con sistemas o recursos alternativos y por último, el manejo de impactos ambientales teniendo en cuenta acciones de prevención, control, mitigación y compensación para todas las etapas de la construcción (MADS, 2012).

Se tiene entonces, que para la verificación del cumplimiento de los criterios, se plasman ciertas acciones técnicas para cada uno con importante aporte a la sostenibilidad ambiental. Como se expone en la (Tabla 20), dentro de los criterios de cumplimiento obligatorio y voluntario, se presenta que existe un único criterio que no cumple y no es aplicable al material elaborado:

Tabla 20. *Aplicabilidad de criterios ambientales para el eje temático "materiales".*

Ciclo básico obligatorio	Criterios de cumplimiento obligatorio o de aporte básico a la sostenibilidad ambiental		Aplica
Materiales	Uso de materiales regionales	Deseable	Sí
	Reutilización y reciclaje de materiales	Prioritario	Sí
	Uso de materiales con menor impacto ambiental	Prioritario	Sí
	Manejo de residuos de materiales de construcción	Obligatorio	No
Ciclo básico intermedio	Criterios de cumplimiento voluntario con importante aporte a la sostenibilidad ambiental		Aplica
Materiales	Modulación de elementos de construcción	Deseable	Sí
	Procesos ordenados y sostenibles en las obras	Prioritario	No
Ciclo superior	Criterios extraordinarios de cumplimiento voluntario, con gran aporte a la sostenibilidad ambiental		Aplica
Materiales	Aplicar las propiedades físicas de los materiales	Deseable	Sí

Fuente: (MADS, 2012)

Como primera medida, se evidencia que el criterio "Uso de materiales regionales (M-1)" aplica al material, pues supone el aprovechamiento de materiales con disponibilidad en la zona, haciendo uso de aquellos que propendan al tradicionalismo, emblema y cultura de la región y que además, permita la recuperación paisajística, situación ocasionada por el consumo y gasto de recursos naturales debido a prácticas inadecuadas en el sector constructivo, propiciando así la producción sostenible (MADS, 2012).

Dentro de las acciones técnicas aplicables para el cumplimiento de dicho criterio se tiene que el material propuesto cuente con una elevada disponibilidad de las materias primas para su elaboración; es por esto que se usan fibras naturales como agregados del biocompuesto, pues son obtenidas de los desechos generados de la producción cocotera con gran connotación y representatividad para la comunidad, permitiendo reducir significativamente el impacto ambiental en la elaboración y aplicabilidad del material, dado el aprovechamiento que se le da a los recursos locales. Se tiene además que el uso de materias prima de origen local propende a la reducción del consumo energético por traslado o transporte de materias primas lo que supone un menor impacto ambiental en comparación a los materiales tradicionales (MADS, 2012).

Se tiene además con relación al criterio "Aplicar las propiedades físicas de los materiales (M-2)" este está dirigido a que los materiales seleccionados en la construcción de una vivienda propicien una adecuada temperatura, iluminación y acústica del edificio debido a sus características y propiedades, propendiendo a una mejor climatización al interior de la construcción, y disminuyendo de igual forma el consumo energético por la reducción en implementación de sistemas de ventilación y calefacción (MADS, 2012).

Dentro de las acciones técnicas aplicables para su cumplimiento se hizo uso de fibras naturales como agregados del material, que por su baja conductividad, densidad, porosidad y alta capacidad calorífica, sirve como un aislante al interior de la vivienda, dificultando el paso de calor al interior de las viviendas debido a la climatología que predomina la zona, y permiten por su composición con el PET y en conjunto con el tratamiento de DSS una disminución de la presencia de humedad, siendo benéfico dada la elevada exposición de los materiales a los cuerpos de agua circundantes (Océano Pacífico, Río Nuquí, Quebrada Ancachí y Estereo Muertero) y al agua lluvia (MADS, 2012).

Con la aplicación de propiedades como las mencionadas anteriormente, se permite generar condiciones naturales de confort para los habitantes de las viviendas, reduciendo considerablemente los costes por disminución de consumo en energía eléctrica, pero además por el tratamiento de residuos puesto que el material elaborado es más liviano y por su mayor resistencia a los factores climatológicos y meteorológicos promueve una mayor durabilidad y por ende una producción más limpia.

Ahora bien, con respecto al criterio "*Modulación de elementos de construcción (M-3)*", La elaboración del material se realizará en cada caso con especificaciones de tamaño y forma o piezas modulares, de esa manera no existirán sobrantes ni desperdicios de segmentos de recorte, esto permite la disminución de impactos por fabricación de elementos de manera controlada, y eficiente, minimizando el uso de recursos y por ende los costos del material al presentar una composición específica para la matriz polimérica y para la fibra vegetal, requieren de un molde inicial para poder realizar con precisión el cálculo que determine las cantidades específicas de cada compuesto (MADS, 2012).

El criterio de "*Reutilización y reciclaje de materiales (M-4)"* fomenta la formalización del reciclaje tras la obtención de residuos urbanos, para el caso específico de este estudio, el PET cuya recuperación permite su incorporación dentro de la elaboración del biocompuesto, propende a la reducción en la cantidad y el volumen de desechos, pues como bien se sabe, la acumulación de botellas de plástico generan una problemática bastante contundente dada su demanda y el volumen que ocupan; de esta manera se disminuye también el tratamiento de residuos y el costo que esto conlleva. Esto además genera un beneficio conforme a aquellas empresas que se dedica a selección, manejo y acopio de insumos reciclables, favoreciendo el sector productivo (MADS, 2012).

Paralelamente para el criterio de *"Uso de materiales con menor impacto ambiental (M-5)"* se hizo la selección de insumos de bajo impacto ambiental, teniendo en cuenta que estos no requieren el uso de materiales vírgenes ni de extracción, puesto que como se mencionó anteriormente, provienen de residuos domésticos y agroindustriales, por lo cual presentan menos carga de contaminantes para el procesamiento del material final, y al ser obtenidos in situ mediante el reciclaje y aprovechamiento, reflejan un menor consumo energético por transporte y en al menos un 30% en su procesamiento (Sastre, R., Muñoz, F., 2010), adicionalmente al ser un material compuesto de PET tiene una baja degradabilidad y presenta una mejor respuesta ante el desprendimiento de partículas o polvillo que son nocivos para la salud dadas las naturaleza de este material, incrementando el confort habitacional en la vivienda (MADS, 2012).

Es importante mencionar que la implementación de este material implica la disminución en el uso de pino aplicado actualmente para uso como cielo raso en viviendas de tipología moderna, madera que no tiene verificación de procedencia legal y en su mayoría es extraída de sus inmediaciones, dado que el municipio se encuentra en un ecosistema de bosque húmedo tropical, por lo que se fomentaría la adecuada gestión de bosques con responsabilidad ambiental.

En relación al criterio de "*Manejo de residuos de materiales de construcción (M-6)"*, se presenta que el material no cumple con los requerimientos de aplicación, pues se enfoca en aquellos desechos construcción y demolición, teniendo en cuenta su selección, separación y manejo. Se tiene que si bien, el material elaborado en el presente estudio hace uso de residuos para la su producción, no contempla el uso de aquellos provenientes de la industria de construcción (MADS, 2012).

Con respecto al criterio "*Procesos ordenados y sostenibles en las obras (M-7)",* este se basa en la implementación de procedimientos estructurados, desde la planeación de la obra hasta el manejo ambiental y de recursos aplicados en la construcción. Se identifica que para la elaboración de un material sostenible, es necesario realizar de manera oportuna y adecuada la formulación del material, así como la evaluación de su implementación dentro de la edificación, considerando además de las normas ambientales, aquellas de construcción y de manejo adecuado de los residuos. Ahora bien, puesto que tanto la planeación de la obra, como el manejo ambiental en torno a las variables ecológicas, económicas, técnicas y sociales durante la ejecución de la obra, no se encuentran dentro del alcance del presente proyecto investigativo y de esta forma, se determina que dicho criterio no es aplicable (MADS, 2012).

Teniendo en cuenta que la Cartilla sirve como guía para el seguimiento de cumplimiento de criterios, más no se le da una aplicabilidad certificada dada la ausencia de indicadores cualitativos o cuantitativos precisos que den verificabilidad del cumplimiento de los mismos, facilita a criterio del evaluador establecer cómo dar cumplimiento de los mismos, es por ello que de los 7 criterios

aplicables a la categoría de *"Materiales"* se logró el cumplimiento de 5 de estos, permitiendo establecer que el material se encamine a la sostenibilidad. Es importante mencionar, que los criterios de esta guía se plantearon tomando en consideración la zonificación climática de Colombia, por lo cual se aproxima más a la situación de estudio dado que esta enfocada a nivel nacional.

9.3.3.3 BREEAM.

BREEAM, Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology, es un método de evaluación dentro de una construcción del desempeño de la sostenibilidad, la cual repercute de manera benéfica en los aspectos económicos, ambientales y sociales para las partes interesadas del proyecto, tanto inquilinos, como usuarios, promotores, propietarios, gestores, entre otros; dicho desempeño se evalúa, a través de la administración y mitigación de los diferentes riesgos que se pueden presentar en las etapas de planificación, diseño, construcción, operación o renovación de edificaciones, encaminado al mejoramiento de la calidad de vida de las personas ocupantes de estas, mediante la implementación de prácticas constructivas adecuadas e innovadoras, pudiendo verse reducidos los costes de funcionamiento y se maximizan los rendimientos por medio de un estándar fuerte y con reconocimiento mundial (BREEAM ES, 2014; BREEAM UK, 2020; Cabellos, D., 2017).

El sistema BREEAM, cuenta con diferentes enfoques al servicio de las características de las distintas tipologías edificatorias y su respectivo uso, ello con el fin de optimizar la evaluación del rendimiento de cada proyecto, contando entonces con cinco esquemas de certificación: *Urbanismo*, proyectada a mejorar la sostenibilidad de los proyectos urbanísticos; *Infraestructura*, dirigida a la mejora de resultados en la sostenibilidad de la infraestructura; *Nueva Construcción*, enfocada en la evaluación del diseño, la construcción, el uso previsto y la protección de edificios en etapa de construcción; *En Uso*, que permite impulsar mejoras sostenibles por medio de la eficiencia operativa de edificios comerciales o no residenciales; y por último, el estándar de *Rehabilitación y Acondicionamiento*, encaminado a la evaluación y mitigación de los impactos en torno a la sostenibilidad dentro del diseño del inmueble y a las obras de rehabilitación o acondicionamiento dentro de un proyecto (BREEAM ES, 2015; BREEAM UK, 2020; Cabellos, G., 2017).

Ahora bien, cada esquema de certificación cuenta con una serie de elementos que logran determinar el desempeño general del proyecto que se está evaluando, ello a partir de un sistema de ponderación medioambiental, el cual varía dependiendo la certificación. En cada caso, se toma en cuenta el cumplimiento tanto de los criterios mínimos, como de los extraordinarios, y de esta forma, lograr asignar la clasificación BREEAM, como se evidencia en la Tabla 21 (BREEAM UK., 2014; Cabellos, G., 2017).

Tabla 21. *Clasificación BREEAM ES.*

Clasificación BREEAM ES	**% Puntuación**
Excepcional	≥85
Excelente	≥70
Muy bueno	≥55
Bueno	≥45
Correcto	≥30
Sin clasificar	<30

Fuente: (BREEM UK, 2014)

Teniendo en cuenta lo plasmado con anterioridad, se seleccionaron los esquemas de certificación *"Rehabilitación y Acondicionamiento*" y "*Urbanismo"* como aquellos aplicables al presente trabajo investigativo.

9.3.3.3.1 Rehabilitación y Acondicionamiento

Dentro de este esquema de certificación, se encuentran 7 categorías medioambientales de calificación, dentro de las cuales se seleccionó únicamente la categoría de "materiales", que representa el 8% de la ponderación total del estándar técnico y evalúa tres criterios de evaluación: *"Aislamiento", "Impacto Ambiental de los materiales"* y *"Aprovisionamiento responsable de materiales"*(BREEAM UK, 2014).

El primer criterio a evaluar, *"Aislamiento"*, reconoce e impulsa el uso de aislamientos térmicos de bajo impacto ambiental, cuyo aprovisionamiento se haya efectuado de manera responsable; para ello, como prerrequisito es necesario evaluar la aplicación del biocompuesto dentro de alguno de los cinco elementos opcionales, aplicable en este caso a la cubierta, luego se procedió a calcular el índice de aislamiento del material. Como primera medida, se procedió a realizar el cálculo de la conductividad térmica esperada del material a partir de los valores del PET reciclado y la fibra de coco de 0,2775 W/m.K y 0,0485 W/m.K respectivamente, teniendo en cuenta la proporción que cada uno de ellos representa en el material (Ramsaroop, R., Persad, P., 2012; Suasnavas, D., 2017), por lo cual se obtuvo un valor de 0,2088 W/mK, lo que evidencia así su alta resistencia térmica; esta dinámica puede ser explicada, dado que un alto volumen de fibra de coco, propende a una disminución en los vacíos formados al interior del material, dificultando la conducción de aire y por tanto la convección de calor (Alavez, R. et al., 2012), de igual forma, se presenta que el coeficiente térmico disminuye con relación a un mayor volumen de fibra presente en el material y por consiguiente con una menor densidad del mismo (Huang, C., Lin, J., Lou, C., Tsai, Y., 2013). Posteriormente, una vez calculado este valor, se procede a la determinación de la resistencia térmica ponderada por volumen, como se muestra en la Ecuación 8 (BREEAM, 2014).

Ahora bien, teniendo en cuenta estos datos, se determina el valor esperado para la conductividad térmica del material en sus diferentes proporciones.

$$Resistencia\ térmica = \frac{Volumen\ total\ de\ aislamiento\ utilizado\ (m^3)}{Conductividad\ térmica\ (W/m.K)}$$

Ecuación 8. Resistencia térmica del material evaluado según los lineamientos BREEAM

De esta forma, se obtiene un valor de resistencia térmica ponderado por volumen de 1,6 K·m/W; posteriormente, este valor se multiplica por los puntos de la "Guía Verde" relevantes para obtener el valor corregido de la calificación, en la que se seleccionó un valor de tres (3) puntos correspondientes al nivel "A+", atribuído a la relación entre la densidad y la baja conductividad, en el cual según el contraste de las densidades de los materiales implementados actualmente en la zona de estudio y el material 70/30 FCT seleccionado para su evaluación, se observa que este último es el material con una de las densidades más bajas al igual que la madera y consecuentemente, considerando sus resultados obtenidos de conductividad térmica esperada y capacidad calorífica, se determina que dicho material clasifica en el nivel seleccionado, por lo cual se obtuvo un valor de 4,8 K·m/W de

resistencia térmica corregido. Finalmente, el índice de aislamiento se calcula a partir de la división entre la corrección realizada y el valor de la resistencia térmica ponderada por volumen total, obteniendo de esta forma un índice del aislamiento del material equivalente a 3 según la calificación Breeam (BREEAM, 2014).

En efecto, considerando que la ponderación del índice de aislamiento corresponde a un valor mayor a 2,0, indica que este es un material con alto potencial aislante, el cual se encuentra elaborado mediante la adquisición responsable de sus materias primas como se especifica en el criterio de "Aprovisionamiento responsable de materiales" y, por consiguiente, permite la asignación de una calificación de **8 puntos** (BREEAM, 2014).

Por otro lado, el criterio *"Impacto Ambiental de los materiales"*, tiene como fin promover el uso de materiales con menores impactos ambientales durante su ciclo de vida, en el que, paralelamente se considera la optimización del rendimiento térmico de los elementos claves de la construcción, por lo que el criterio de *"Aislamiento"* está directamente relacionado con el presente. Para su calificación, se procede inicialmente a la identificación de la aplicabilidad del material dentro de la vivienda en concordancia con los lineamientos de la "Guía Verde", en este caso en específico, correspondiente a un elemento introducido como nuevo material de refuerzo, es decir, la implementación del cielo raso situado a cierta distancia de las cubiertas, como material aislante dentro de las viviendas del casco urbano de Nuquí, Chocó, lo cual permite asignarle una calificación de A+ (6), proporcional a un puntaje de 5; a su vez, es importante tener en cuenta que el tipo de aplicación del material influye en términos de su contribución a la eficiencia energética de la vivienda, en el que el cielo raso se posiciona como un alto contribuyente considerando que este permite aislar significativamente el calor absorbido que la cubierta transmite al interior de la vivienda (BREEAM, 2014).

Ahora bien, se debe tener en cuenta la influencia del tipo de material utilizado y su impacto al interior de la vivienda. Se considera entonces que actualmente la implementación del cielo raso se hace únicamente en las viviendas de tipología moderna y es elaborado a partir de la madera blanda que presenta una conductividad térmica de 0,13 W/m*K, que, en contraste con la obtenida para el biocompuesto, es menor, pero con una mínima diferencia, lo que permite reconocer que aunque presente una mayor restricción de flujo de calor por área, en los dos casos la conductividad térmica es baja. Cabe resaltar, que la madera presenta una gran desventaja en torno a la degradabilidad en contraste con el biocompuesto, pues como se mencionó con anterioridad, esta responde negativamente en condiciones de alta humedad y, consecuentemente, desarrolla un alto deterioro por factores biológicos, caso contrario del biocompuesto el cual presenta buenos resultados en condiciones de humedad y de igual forma, por la naturaleza de los componentes del biocompuesto, se presenta una protección contra daños físicos y químicos, así como una significativa resistencia a ataques microbianos, lo que evidencia la posible mejoría de su incorporación en contraposición con la madera (BREEAM, 2014).

Es por esto, que teniendo en cuenta que el material evaluado presenta una baja transferencia de calor y que su aplicación incide considerablemente dentro del aislamiento térmico de la vivienda, al igual que la baja tendencia a degradarse y por ende, una mayor durabilidad, y anudado a que se elabora a partir de materiales aprovechados y reutilizados, se determina que el impacto del material diseñado es notablemente superior conforme a la mejora del rendimiento operativo y es por esto que se le asigna al criterio un valor de **15 puntos** (BREEAM, 2014).

Finalmente, el último criterio a evaluar, *"Aprovisionamiento responsable de materiales"*, reconoce y fomenta la reutilización de materiales, de forma que su proceso de extracción y transformación sea de origen netamente responsable. Inicialmente, para su calificación se procedió nuevamente a clasificar la ubicación del material dentro de la vivienda, la cual correspondió a la categoría de "Acabados de la cubierta"; a su vez, se selecciona el tipo de material evaluado, para el cual aplica a la clasificación de "Plástico o polímero". Conviene subrayar, que, dentro de la presente investigación, se considera que el aprovisionamiento de las materias primas es 100% responsable, dado que la cáscara de coco es un residuo directo de los cultivos agroindustriales del corregimiento de Coquí, Nuquí y de igual forma, el plástico se recolecta de los residuos urbanísticos de la cabecera municipal de Nuquí, Chocó. Estas condiciones permiten asignar a la calificación un valor de **12 puntos** el cual corresponde a un porcentaje 54 de adquisición responsable de los materiales para la elaboración del biocompuesto (BREEAM, 2014).

A continuación, se presenta la matriz de evaluación del esquema de certificación *Rehabilitación y Acondicionamiento"* con el puntaje establecido para cada criterio y se observa, que a pesar de que esta certificación cuenta con cierto nivel de rigurosidad y dificultad en los cálculos pertinentes para la calificación, se pudo obtener un alto porcentaje de cumplimiento en dicha categoría, correspondiente al 77% de la totalidad de créditos asequibles para los criterios evaluados, por lo que se identifica que la implementación del material como elemento renovador al interior de las viviendas aporta significativamente como un material ligero, aislante térmico y resistente a condiciones de humedad, con prácticas de adquisición 100% locales y adecuadas, al ser este un material elaborado del aprovechamiento de residuos agrícolas y urbanos de la zona. Por esto, se determina que el biocompuesto puede mejorar considerablemente las condiciones de confort y habitabilidad en las viviendas (BREEAM UK, 2014).

Tabla 22. *Criterios aplicables del esquema de certificación: Rehabilitación y Acondicionamiento, categoría "Materiales".*

	Criterios de evaluación	**Créditos asequibles**	**Créditos alcanzados**	**Cumplimiento asequible (%)**	**Cumplimiento obtenido (%)**
Mat 03	Aislamiento	8	8	17,77	17,77
Mat 04	Impacto ambiental de los materiales	25	15	55,55	33,33
Mat 05	Aprovisionamiento responsable de materiales	12	12	26,66	26,66
Total		45	35	100	77,77

Fuente: BREEAM UK, 2014

9.3.3.3.2 Urbanismo

Ahora bien, el esquema de certificación de "*Urbanismo"* evalúa la sostenibilidad en torno a 8 categorías medioambientales, de las cuales se seleccionaron las categorías de Comunidad y Economía, en donde para cada una se calificó un (1) criterio de evaluación, Participación y Empleo respectivamente (BREEAM ES, 2012).

Dentro de la categoría Comunidades accesibles, se califica únicamente el criterio de *"Participación",* pues los criterios *"Diseño accesible", "Guía de Usuario de la urbanización"* y *"Gestión y operación"*, se centran en la evaluación del diseño de la vivienda para garantizar comunidades más sostenibles, en el que se requiere de un estudio más profundo, pues se deben tener en cuenta aspectos, tales como: la distribución de espacios bajo los criterios de accesibilidad mejorado, así como información sobre la eficiencia energética, el equipamiento local, ahorro de agua, entre otros, para a la promoción de un estilo de vida sostenible en torno a la interacción (BREEAM ES, 2012).

De esta manera, se tiene que el criterio de *"Participación"* fomenta la inclusión de la comunidad en el diseño del proyecto de forma en que se logre garantizar que sus necesidades, ideas y conocimientos, se integren en pro del mejoramiento de la calidad en la construcción. Por consiguiente, se asigna una puntuación de 2 (Bueno), considerando que inicialmente se llevó a cabo un proceso de indagación en el cual se seleccionó un número representativo de miembros de la comunidad y a partir del cual, se identificó el deterioro de las viviendas dentro del municipio, y dentro de los factores principalmente incidentes, se reconoció que el acelerado deterioro de los materiales repercute considerablemente dentro de dicha problemática. Conforme a esto, se reconoció la necesidad de un material de construcción sostenible, en el que el material PET/FCT de proporción 70/30 se logró adaptar a las condiciones principalmente incidentes en el deterioro de los materiales convencionales y tradicionales según las experiencias y conocimientos de la comunidad: resistencia a la humedad, a degradación química y física y que, de igual forma, que logrará disminuir la concentración de calor al interior de las viviendas (BREEAM ES, 2012).

Ahora bien, dentro de la categoría de Economía, los criterios *"Sectores de negocio prioritario", "Fomento de empleo", "Nuevas empresas" e "Inversión"* no se tuvieron en cuenta dado que requieren de estudios económicos específicos. De esta forma, se evaluó únicamente el criterio *"Mano de obra local"*, el cual consiste en garantizar que la urbanización contribuya a iniciativas de regeneración social, en el que se determina que teniendo en cuenta que el biocompuesto es altamente benéfico en el sector económico de la zona, pues su producción y comercialización tiene alta probabilidad de generar oportunidades de empleo y la generación de ingresos, así como la generación de un valor agregado sobre dichos residuos, siendo la distancia de emplazamiento del punto de elaboración al de aplicación menor a 60 km considerando que se trata de un municipio pequeño. A su vez, es un proyecto adaptado a las posibilidades de provisión de materiales con los que cuentan los habitantes, ello considerando el aislamiento geográfico que condiciona al municipio, en donde por una parte, la mayoría de la materia prima que requiere el material se obtiene de los residuos sólidos de la zona y por otra, el compuesto químico DSS con el que se realiza el pretratamiento a la fibra, se obtiene a partir de los productos de higiene y belleza, tales como: jabones, detergentes, cremas dentales, champús, etc. Es a partir de lo anterior, que se le asigna una puntuación de 2 (Bueno) a dicho criterio (BREEAM ES, 2012).

Se plasma a continuación, la matriz de calificación del esquema de certificación de Urbanismo de BREEAM, en el que se evidencia que no se lograron evaluar todos los criterios de clasificación debido a que el esquema está encaminado a la evaluación de nuevas construcciones, valorando la gran mayoría de procesos en los que se requieren datos específicos de la construcción total. A pesar de esto, se determina que logra cumplir a cabalidad cada uno de los criterios estudiados, pues el proyecto se enfoca en suplir la necesidad predominante de la población con respecto al deterioro de sus viviendas, a partir de sus experiencias, conocimientos así como correspondientes propuestas, en el

que no se requieren materiales fuera del alcance de la comunidad, sino que por el contrario, se integran recursos con los que la comunidad cuenta (BREEAM ES, 2012).

Tabla 23. *Puntaje de criterios, esquema de certificación: Urbanismo.*

Categoría	Criterio	Máx. puntaje	Puntaje asignado	Cumplimiento obtenido (%)
Comunidades	Participación	3	2	66,66
Economía	Mano de obra	3	2	66,66

Fuente: BREEAM ES, 2012

En la evaluación realizada al material bajo los lineamientos de las certificaciones BREEAM y LEED, así como de la Cartilla de Criterios Sostenibles, es importante resaltar que estas certificaciones internacionales no permiten evaluar el panorama completo de los criterios ambientales, pues la mayoría de las que se evalúan son de tipo ecológico, y ello implica consecuentemente la omisión de evaluación en torno a los aspectos sociales y económicos, tales como: el bajo nivel de procesamiento, la fácil aplicabilidad en la construcción del proyecto, el bajo costo tanto inicial, como de mantenimiento y total, así como de disposición final, la relación costo-beneficio y su fácil mantenimiento. Esto se pudo ver reflejado en el esquema de certificación "Urbanismo", para el cual únicamente se evaluaron dos criterios de las categorías "Economía" y Comunidades, repercutiendo de manera negativa pues, las técnicas y tecnologías aplicadas dentro del municipio están determinadas en función de las condiciones económicas de los habitantes, y al no considerar estos criterios, no se puede evaluar la sostenibilidad del material en su totalidad. Ahora bien, es importante tener en cuenta que a pesar de que en su mayoría se cuenten con criterios de evaluación ecológica, estos representan cierto nivel de dificultad en su cuantificación por lo que requieren de una evaluación más profunda y específica, lo que implica que no se pueda evaluar en detalle la magnitud de los impactos (Durán, L., 2017), como se evidenció en la calificación de la certificación LEED.

Se evidencia, que estos criterios y la guía de buenas prácticas, están encaminados al mejoramiento de respuesta ambiental relacionada al diseño y a las técnicas implementadas en modelo constructivo de las viviendas, en donde la adecuada selección e implementación de materiales, juega un papel indispensable para lograrlo. Es por ello que los criterios propenden por el uso de materiales con menor impacto ambiental y a la promoción de un ambiente sano y saludable al interior de las construcciones (Durán, L., 2017; MADS, 2012)

Sin embargo, se refleja que estas certificaciones no permiten evaluar el panorama completo de los criterios ambientales, pues gran parte de los criterios de evaluación son principalmente de tipo técnico y ecológico, lo que implica la omisión de ciertos aspectos de tipo social y económico, tales como: el bajo nivel de procesamiento, la fácil aplicabilidad en la construcción del proyecto, el bajo costo tanto inicial, como de mantenimiento y total, la relación costo-beneficio y su fácil mantenimiento. Estos aspectos son significativamente incidentes en la selección de técnicas y tecnologías en las poblaciones vulnerables, como es el caso del municipio de Nuquí, Chocó. Simultáneamente, debido a que las certificaciones no tienen en cuenta el cambio de variables geográficas y climatológicas según la zona de estudio, dificulta tener una aproximación certera del impacto del material.

De acuerdo con la evaluación de criterios las certificaciones y guía implementadas, se pudo evidenciar que para la categoría *"Materiales"*, la certificación BREEAM cuenta con un enfoque más riguroso dado el nivel de especificidad que aplica en su evaluación, lo que implica que se pueda

evaluar en mayor detalle el impacto del material a nivel social, económico y ecológico (Durán, L., 2017); por el contrario, tanto la certificación LEED como la Cartilla de Criterios Ambientales, permiten que el diseñador deje a criterio propio el planteamiento del cumplimiento de sus objetivos. Esto se relaciona directamente con los métodos que usan para su evaluación, que para el caso de BREEAM son cálculos que precisan la calificación de los criterios, por otro lado, LEED valora la incorporación de materiales reciclados y reutilizados, el uso de maderas certificadas y la implementación de materiales locales. Ahora bien, la Cartilla de Criterios es solo un guía por lo cual no presentan indicadores cualitativos ni cuantitativos para una evaluación certera de sus criterios (Lajara, A., 2012; ; MADS, 2012; Quesada, F., 2014).

En síntesis, se establece que el biocompuesto cumple a cabalidad con gran parte de los lineamientos de sostenibilidad, al ratificarse que este presenta un bajo impacto ambiental, pues tanto la adquisición de las materias primas como la elaboración del material se realizan de manera responsable, dado que son materiales obtenidos localmente y con un mínimo procesamiento, es por ello que como elemento de renovación para las viviendas, aporta significativamente al incrementar su confort habitacional pues restringe la transferencia de calor que absorbe la cubierta y presenta una mayor resistencia a la absorción de agua logrando ralentizar sus procesos de degradación.

10 Conclusiones

Desde la ingeniería ambiental se identificó en detalle una problemática en torno a la disminución de la calidad de vida de la comunidad de Nuquí, Chocó en relación a su modelo constructivo de vivienda, en la que se consideraron aspectos sociales, ecológicos y económicos que limitan la calidad y durabilidad de los materiales convencionales y tradicionales implementados en sus viviendas, influenciado principalmente por las condiciones geográficas y climáticas características de la zona, que propenden a la exposición de las viviendas a fenómenos naturales; dentro de los cuales se encuentran el elevado valor de brillo solar y de temperatura, así como la alta humedad relativa y valores elevados de precipitación, con predominancia de lluvias torrenciales que conllevan a inundaciones periódicas, las cuales se acrecientan debido a los procesos de erosión fluvial y costera, lo que permite identificar los inadecuados procesos de planeación, diseño y construcción de la vivienda frente a estas condiciones ambientales específicas.

De esta forma, se evidenció una acumulación de los residuos de cáscara de coco, en donde dada la producción en masa del fruto, las prácticas de aprovechamiento implementadas actualmente en la zona de estudio son insuficientes en su control y manejo, y por otro lado, con respecto al residuo polimérico PET, se observa que a pesar de que dicho material ha adquirido cierto reconocimiento por su alto potencial aplicativo mediante su reciclaje, su procesamiento in situ se ha visto limitado dado el escenario económico que enfrenta la comunidad y por ello, este no logra trascender hacia un material con valor agregado. Se identificó por medio de esta problemática una oportunidad de mejora fundamentada en el manejo y aprovechamiento de residuos sólidos y producción más limpia para la elaboración de un material diseñado bajo el marco de la construcción sostenible, el cual logra aportar al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes.

A partir de la caracterización de los residuos de PET y fibra de coco, se pudo evidenciar la ventaja que presenta la fusión del material considerando las propiedades inherentes de cada componente, dada la resistencia química y la naturaleza hidrófoba del PET, así como el alto potencial de restricción del flujo de calor y la resistencia química ante ataques de agentes biológicos y procesos de daño por

exposición salina propias de la fibra de coco, prolongando el tiempo de degradación. De esta manera, se planteó la elaboración de cuatro biocompuestos con fibra en condiciones naturales y tratadas con el agente acoplante dodecil sulfato de sodio (DSS), con las proporciones de composición PET/FC (80/20), (70/30) y PET/FCT (80/20), (70/30), ello con el fin de mejorar algunas de sus propiedades, como la adhesión interfacial y la resistencia ante la absorción de agua. Se caracterizaron los materiales por medio de la aplicación de pruebas físicas, químicas y térmicas, las cuales determinaron que la proporción con mejor desempeño para ser incorporada dentro del modelo constructivo del municipio es PET/FCT (70/30), dado el potencial como aislante térmico atribuido a su elevada capacidad calorífica (1,9 J/g°.C**)**, la resistencia frente a la humedad dado su bajo porcentaje de hinchamiento (7,244%) y la baja densidad (0,876 g/ cm^3) que le confiere ligereza al biocompuesto/material.

Ahora bien, el uso de dodecil sulfato de sodio para la modificación de las fibras supone una ventaja dada su facilidad de adquisición, puesto que está presente en productos de higiene y belleza con venta comercial común; es importante mencionar que el bajo nivel de concentración seleccionado para este tensoactivo (4%), supone a su vez un menor impacto ambiental por deposición de tóxicos en el medio ambiente.

De este modo, se reconoce la funcionalidad del material, mediante las especificaciones técnicas, funcionales y aquellas basadas en escenarios, asociadas a las condiciones de la zona para la determinación de su potencial aplicabilidad dentro de las viviendas del casco urbano de Nuquí, Chocó, identificando la respuesta y mejoría del material ante las exigencias de factores climáticos y meteorológicos, reconocidos como prioritarios en la degradación de los materiales tradicionales y convencionales con mayor incorporación en el municipio, esto también se pudo constatar dada la practicidad que mostró experimentalmente el material para formar laminados. Así pues, fue posible concluir que el material es altamente adaptable como mecanismo de revestimiento de tipo cielo raso en las viviendas de tipología tradicional y con aptitud de reemplazo para aquellos elaborados a partir de madera blanda implementados actualmente en algunas viviendas de tipología moderna.

Se realizó la evaluación de sostenibilidad del material mediante las matrices de certificación LEED, BREEAM y la guía de buenas prácticas “Cartilla de Criterios Ambientales”, presentandose que aunque se logró obtener un buen resultado frente al desempeño del material dado su bajo impacto ambiental, se excluyeron factores sociales, económicos y las condiciones climatológicas específicas las cuales son determinantes en la evaluación de sostenibilidad conforme a las necesidades particulares de la comunidad de estudio, pues este material no solo concibe un aporte a la disminución del impacto ambiental y a la mejora de las circunstancias precarias presentadas por la incorporación de materiales que no se adaptan a las condiciones de la zona, sino que además se ajusta y no compromete las tradiciones ni aspectos culturales de la comunidad, permite la disminución de costos por inversión y transporte de materiales, dado que estos se obtendrían localmente y adicionalmente abona a la disminución de la sensación térmica y la presencia de humedad al interior de las viviendas, lo que supone un mayor confort y bienestar para los habitantes.

11 Recomendaciones

- Se recomienda profundizar en investigaciones científicas y académicas dirigidas al análisis territorial en torno al modelo constructivo del municipio, pues se presentan dinámicas tanto técnicas como ambientales imperceptibles a causa de la reducida información.
- De igual forma, en cuanto a las alternativas frente a las problemáticas que presentan los materiales de construcción, es recomendable impulsar y propiciar proyectos de construcción sostenible, encaminados al mejoramiento de la calidad de vida de los pobladores.
- Por otro lado, dada la ausencia de entidades gubernamentales expresada por los habitantes dentro del diagnóstico realizado, se recomienda un mayor grado de compromiso por parte de estas en el control y la resolución de conflictos del municipio, puntualmente en las principales problemáticas identificadas en la investigación: la gestión de residuos sólidos y la planificación urbana en el municipio.
- Se sugiere que para mejorar la respuesta de las propiedades físicas en la elaboración del biocompuesto, se debe plantear un método más riguroso que permita reducir la presencia de porosidades al interior y exterior del material, lo cual a su vez permite incrementar las propiedades en torno al esfuerzo mecánico del material.
- Es pertinente, estudiar de manera precisa el comportamiento del acoplamiento químico con dodecil sulfato de sodio (DSS) y la variación de su efectividad en función de su concentración y con el aumento de la proporción de fibra dentro del biocompuesto.
- En caso de querer profundizar la investigación con respecto al máximo potencial de aplicabilidad del biocomposito como material de construcción dentro de las viviendas del casco urbano de Nuquí, Chocó, es pertinente realizar un mayor número de pruebas físicas y químicas en complemento con pruebas mecánicas y microbiológicas.
- Se recomienda realizar estudios de viabilidad económica en torno a la producción e implementación del material, con el fin de determinar si este es económica y comercialmente rentable dentro de las condiciones ambientales del municipio.
- Es recomendable establecer criterios de construcción sostenible de orden local, dirigidos a las condiciones geográficas, climatológicas, económicas y sociales características de las regiones a nivel nacional, dado que su evaluación difiere en torno a los requerimientos específicos de cada comunidad.

12 Bibliografía

Abaid, O., De la Higuera, J. (2004). *Enfiteusis y el Derecho de Superficie: Instituciones Jurídicas del Derecho Romano y su Regulación en el Derecho Vigente*. Universidad de las Américas Puebla. Recuperado de: catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/ledf/abaid_k_o/portada.html

Abdul, H., Siti, M., Mohd, A. (2007). *Chemical composition, anatomy, lignin distribution, and cell Wall structure of Malasysian plant waste fibers.* BioResources, 1(2), 220-232. Retrieved from https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_01_2_220_232_AbdulKahlil_SM_Chemical_Composition_Mayalsian_Plant_Fibers/128

Acosta, D (2003). *Hacia una arquitectura y una construcción sostenible: el proyecto para el Edificio sede de SINCOR (Barcelona, estado Anzoátegui).* TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN. Vol. 19-II, 2003, pp. 09-22 Recuperado de: http://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Arquitectura/9.pdf

Addleson, L. (1983). *Materiales para la construcción.* (Vol. 1). Reverté. Recuperado de: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=gPsElo-1DIMC&oi=fnd&pg=PR5&dq=materiales+para+la+construccion+addleson&ots=2CRPyxhbin&sig=wCiqPsibu1Rt9YoMc6VOy-VEBeE#v=onepage&q=materiales%20para%20la%20construccion%20addleson&f=false

Aguilar, F.. (2014). *Métodos y técnicas de investigación cualitativa y cuantitativa en Geografía.* Recuperado de: file:///C:/Users/natav/Downloads/1425-Texto%20del%20art%C3%ADculo-5055-1-10-20140520.pdf

Alarcón Núñez, D. B. (2006). *Modelo integrado de valor para estructuras sostenibles.* Universitat Politècnica de Catalunya.

Alavez, R., Chiñas, F., Morales, V., Ortiz, M.. (2012).*Thermal conductivity of coconut fibre filled ferrocement sandwich panels.* Construction and Building Materials. Volume 37, pages 425-431. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.053.

Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó. (2005). *Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio de Nuquí - Documento diagnóstico*. Recuperado de: http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/nuqu%C3%ACchocoeot2005-2016.pdf

Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó. (2012*). Estrategia municipal de respuesta a emergencias.* Recuperado de: https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/434/PMGR%20Nuqui.pdf?sequence=1

Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal.* Recuperado de:http://nuquichoco.micolombiadigital.gov.co/sites/nuquichoco/content/files/000062/3095_plan-de-desarrollo-20162019-municipio-de-nuqui.pdf

Alcaldía Municipal de Nuquí, Chocó. (2018*). Acerca de la Alcaldía.* Tomado de: http://www.nuqui-choco.gov.co/ninos-ninas-adolescentes/acerca-de-la-alcaldia

Alcaldía municipal de Nuquí, Chocó. (2015). *Formulación e instrumentación de los POT y los POD, del programa de POT/POD modernos: Producto 2*- Documento y cartografía de diagnóstico territorial, urbano y rural del municipio de Nuquí. Recuperado de: file:///C:/Users/MARIANA/Downloads/Diagn%C3%B3stico_Producto2_Ezquiaga_EOTNq_03Octubre2018.pdf

Ali, M. (2010). Coconut fibre: *A versatile material and its applications in engineering.* In Second international conference on sustainable construction materials and technologies (Vol. 1, No. 1). Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/266566174_Coconut_Fibre_-_A_Versatile_Material_and_its_Applications_in_Engineering

Álvarez, A., Pizarro, C., Folgueras, M., (2013). Caracterización física de biomasa y su relación con el poder calorífico. Departamento de Energía. Universidad de Oviedo. http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/17777/6/TFM_Ana_AlvarezProteg.pdf

ASTM D570-98(2018), Standard Test Method for Water Absorption of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, www.astm.org

Andre, F., (2015). *Gestión de residuos sólidos urbanos: análisis económico y políticas públicas.* Universidad Pablo de Olavide de Sevilla. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/277260510

Argüello-Rodriguez, M. (2004). *Riesgo, vivienda y arquitectura*. Buscado en http://www. desenredando. org/public/articulos/index. html.

Askeland Donald, R., & Phulé Pradeep, P. (2004). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Ed. Thomson Learning, Cuarta Edición. México DF México. Recuperado de: https://osvaldoweb.files.wordpress.com/2016/04/ciencia-e-ingenieria-de-materiales-sexta-edicic3b3n.pdf

Atem, C., (2012). *La influencia de distintos muros exteriores en el confort térmico de viviendas en un clima subtropical húmedo*. Universidad Politécnica de Catalunya. Recuperado de: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/16650/AtemCamila_TFM.pdf

Basaldúa, F., (2016). *Fabricación de materiales compuestos reforzados con fibras naturales mediante el método de prensado en frío para aplicaciones aeronáuticas.* Universidad Autónoma de Nuevo León. Recuperado de: http://eprints.uanl.mx/14159/1/1080237868.pdf

Bermudez, L., Tabares, L.. (2015). *Mitigación de la humedad por la capilaridad del suelo para 57 viviendas en el municipio de San Juan de Rio Seco- Cundinamarca, Jurisdicción de Cambao*. Corporación Universitaria Minuto de Dios. Recuperado de: https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/4867/T.IC%20TABARES%20CORTES%20LIDIA%20DANIELA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Bilcati, G., Matoski, A., Trianoski, R., y Lengowski, E.. (2018). *Uso potencial de la fibra de curauá (ananas acutifolius) para la fabricación de compuestos cementicios*. Revista

ingeniería de construcción, 33(2), 155-160. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000200155

Bledzki, A. K., Franciszczak, P., Osman, Z., & Elbadawi, M. (2015). *Polypropylene biocomposites reinforced with softwood, abaca, jute, and kenaf fibers.* Industrial Crops and Products, 70, 91-99.

BREEAM. (2020). *About Bre*. Recuperado de: https://www.bregroup.com/about-us

BREEAM ES. (2020). *BREEAM Internacional*. Recuperado de: http://www.breeam.es/conocenos/breeam-internacional

BREEAM ES. (2012). *BREEAM ES Urbanismo*. Recuperado de: http://www.breeam.es/extranet-breeam/recursos/extranet-breeam/manuales-tecnicos-breeam-es/breeam-es-urbanismo/detail

BREEAM (2014). *BREEAM Refurbishment Domestic Buildings*. Recuperado de: https://www.breeam.com/domrefurb2014manual/

Brems, A., Baeyens, J., Vandecasteele, C. and Dewil, R.. (2011). *Polymeric cracking of waste Polyethylene Terephthalate to chemicals and energy.* Journal of the air and waste management association. Volume 61. Recuperado de: https://doi.org/10.3155/1047-3289.61.7.721

Briones, M.. (2014). *La Arquitectura sostenible. Nuevas iniciativas en el uso de los materiales.* Recuperado de: http://www.fertbatxillerat.com/wp-content/uploads/Briones-Marta-La-arquitectura-sostenible.pdf

Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2012). *Fundamentals of materials science and engineering: an integrated approach.* John Wiley & Sons.

Cemex. (S,f). Manual del constructor. Recuperado de: https://www.cemex.com/documents/27057941/45587277/aplicaciones-manual-construccion-general.pdf/772d227d-d168-efc4-a2e3-86ba78c80cb4

Chavarría, A., Rendón, D., Ruiz, J.. (2014). *Control térmico: El coco como referente para el diseño de mecanismos de aislamiento de temperatura. Universidad Pontificia Bolivariana.* Recuperado de: file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Monograf%C3%ADa%20Control%20t%C3%A9rmico.pdf

Chávez, P., López, M.. (2008*). Evaluación de propiedades fisicas y mecánicas de aislantes térmicos fabricados con polvo de la estopa de coco.* Universidad del Salvador. Recuperado de: http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1773/1/Evaluaci%C3%B3n_de_propiedades_f%C3%ADsicas_y_mec%C3%A1nicas_de_aislantes_t%C3%A9rmicos_fabricados_con_polvo_de_estopa_de_coco.pdf

Chun, K. S., Husseinsyah, S., & Azizi, F. N. (2013). *Characterization and properties of recycled polypropylene/coconut shell powder composites: Effect of sodium dodecyl sulfate modification.* Polymer-Plastics Technology and Engineering, 52(3), 287-294.

Congreso de la República de Colombia (1997*). Por la cual se adoptan normas sobre Construcciones Sismo Resistentes.* Bogotá D.C.: Congreso de la República de Colombia.

Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. (2016) *Acerca del CCCS.* Recuperado de: https://www.cccs.org.co/wp/acerca-del-cccs/

Córdoba, C., Mera, J., Martínez, D., & Rodríguez, J. (2010*). Aprovechamiento de polipropileno y polietileno de alta densidad reciclado, reforzado con fibra vegetal, Tetera (Stromanthe Stromathoides).* Revista Iberoamericana de Polímeros, 11(7), 417-427.

Corporación Misión Vida. (2016). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016- 2027*. Municipio de Nuquí, Chocó. Recuperado de: file:///D:/Downloads/PLAN%20DE%20GESTI%C3%93N%20INTEGRAL%20DE%20RESIDUOS%20S%C3%93LIDOS%20NUQU%C3%8D%20-%20CHOC%C3%93%20(1).pdf

Cruz, S., Ojeda, S., (2013*). Gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos. Universidad Nacional Autónoma de México.* Revista Internacional de Contaminación ambiental. vol. 29, núm. 3, 2013, pp. 7-8 ISSN: 0188-4999. Recuperado de: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37029665017

Dalle, P., Boniolo, P., Sautu, R., Elbert R. (2005). *Manual de metodología. Construcción del marco teórico, formulación de los objetivos y elección de la metodología.* Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales. Buenos Aires. Recuperado de: http://biblioteca.clacso.edu.ar/gsdl/collect/clacso/index/assoc/D1532.dir/sautu2.pdf

De Paola, S., Fragassa, C., Minak, G., & Pavlovic, A. (2013*). Green Composites: a review of state of art*. CARBON, 1(4000), 230-240.

Defensoría del Pueblo. (2016). *Problemática humanitaria en la región pacífica colombiana.* Bogotá, Defensoría Delegada para la Prevención de Riesgos de Violaciones a los Derechos Humanos y DIH. Recuperado de http://www. defensoria.gov. co/public/pdf/Informepacificoweb. pdf.

Delgado, F. R. (2012*). Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con fibra de coco y fibra de vidrio para la elaboración de tableros*. (Bachelor's thesis, Quito, 2012.).

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, DANE. (2009). *Boletín de prensa: Indicadores económicos alrededor de la construcción III trimestre de 2009.* Bogotá, D.C. [en línea]. [Consulta 21 enero 2010]. Disponible en internet: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib_const/Bol_ieac_IIItrim09.pdf

Departamento Nacional de Planeación. (2008-2012). *Índice de Vulnerabilidad Territorial: Resultados 2008-2012.* Recuperado de: https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Publicaciones/03%20%C3%8Dndice%20de%20Vulnerabilidad%20final.pdf

Departamento Nacional de Planeación. (2019). *La entidad.* Recuperado de: https://www.dnp.gov.co/DNPN/Paginas/default.aspx

Díaz, J., Gast, F. (2009). Chocó biogeográfico de Colombia. Bogotá, Colombia: Banco de Occidente.

Díaz, V. (2009). *Análisis de datos de encuesta. Desarrollo de una investigación completa utilizando SPSS.*

Du Plessis, C. (2002). *Agenda 21 for sustainable construction in developing countries.* CSIR Report BOU E, 204.

Dulzaides, M., Molina , A. (2004). *Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso. Acimed*, *12*(2), 1-1. Recuperado de: http://eprints.rclis.org/5013/1/analisis.pdf

Duque, R., (2015). *Solubilidade de biomassa da fibra do coco (Cocos nucifera L.) em diferentes concentrações de NAOH.* UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. Recuperado de: http://repositorio.im.ufrrj.br:8080/jspui/handle/1235813/3000

Durán, L.. (2017). *Definición de criterios sostenibles para la selección de materiales de viviendas en Bogotá.* Universidad Católica de Colombia. Recuperado de: https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15397/1/Monica%20Duran_Definicion%20de%20Criterios%20de%20Sosteniblidad%20.pdf

ELF. (S,F). *El moho, la humedad y los pulmones.* https://www.europeanlung.org/assets/files/es/publications/damp-and-mould-es.pdf

Enciso Ramos, M. B. (2018). *Durabilidad y biodeterioro de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras naturales: efecto de tratamientos de plasma.*

Escudero, J., Aristizabal, J. (2016). *Caracterización mecánica de fibras de Coco como refuerzo de materiales compuestos poliméricos*. Universidad Libre. Recuperado de: https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10374/tesis%20coco%20%28final%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Estrada, A.. (2014). *Obtención de un fertilizante orgánico a partir de la biodegradación del polvo de estopa de coco con aplicación de microorganismos. Universidad de Guayaquil.* Recuperado de: http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/7192/1/ESTRADA.pdf

Eternit, (s.f). *Placas de fibrocemento Eterboard.* Recueperado de: https://coval.com.co/pdfs/manuales/eternit%20ficha%20eterboard.pdf

Fernández, L. (2006). *¿Cómo analizar datos cualitativos?*. Butlletí LaRecerca, 6, 1-13. file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/3108-Texto%20del%20art%C3%ADculo-13312-2-10-20190408%20(3).pdf

Ferraz, J. (2011) . *Produção e propriedades de painéis de fibra de coco verde (Cocos nucifera L.) em mistura com cimento Portland.* Universidade de Brasília, Brasília. Recuperado de: http://repositorio.unb.br/handle/10482/7809

Fonseca, M., (2008). *Determinación de la composición química de la madera de pino candelillo (Pinus maximinoi H. E. Moore) procedente de la finca Río Frío, Tactic, Alta Verapaz. Proyecto de grado*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala

Fournier, R.. (2008). *Construcción sostenible y madera: realidades, mitos y oportunidades.* Tecnología en Marcha, Vol. 21, N.° 4, Octubre-Diciembre 2008, pp. 92-101. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/277213749_Construccion_sostenible_y_madera_realidades_mitos_y_oportunidades/references

Gaggino, R., Berretta, H., Gatani, M., & Arguello, R. (2008). *Nueva Tecnología Constructiva con Plástico Reciclado.* Recuperado de: http://www.exactas.unca.edu.ar/revista/v70/pdf/RevCiencia7-9.pdf

García, A. (2016). *Recopilación sobre políticas legales y reglamentarias para la construcción sostenible en Colombia.* Universidad de La Salle. Recuperado de: http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/18878/40101141_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Giraldo, F., Bateman, A., Torres, J (2004). Hábitat y desarrollo humano. Investigaciones sobre desarrollo humano. Bogotá: CENAC, UN-Habitat-PNUD. Recuperado de: http://livros01.livrosgratis.com.br/uh000011.pdf

Gómez, J. (2009). *Diseño de un material compuesto con fibra natural para sustituir la utilización de fibra de vidrio.* Universidad EAFIT. Recuperado de: https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/297/JoseSantiago_GomezP._2009.pd

González Velandia, J. C. (2014). La gestión del riesgo de desastres en las inundaciones de Colombia: una mirada crítica (Bachelor's thesis).Recuperado de: http://repository.ucatolica.edu.co:8080/jspui/bitstream/10983/2128/1/Gesti%C3%B3n_riesgo_desastres_inundaciones_%20Colombia_mirada-cr%C3%ADtica.pdf

Gómez, O.. (2017). *Análisis térmico del mortero adicionado con fibra de coco.* Recuperado de: http://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/5752

Haque, M. M., Hasan, M., Islam, M. S., & Ali, M. E. (2009). *Physico-mechanical properties of chemically treated palm and coir fiber reinforced polypropylene composites.* Bioresource technology, 100(20), 4903-4906.

Herminda, E., (2011). Polímeros. Capítulo 9. Colección Materiales y materias primas. "Colección Encuentro Inet". Buenos Aires. República Argentina. Recuperado de: http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf

Hernández, J. (2014). *Características térmicas de los materiales*. Recuperado de: https://pedrojhernandez.com/2014/04/09/caracteristicas-termicas-de-los-materiales/amp/

Hooda, V., Sharma, G., Tyagi, N., Hooda, A. (2012). Phytochemical ad Pharmacological profile of coconus nucifera: An overview. School of Pharmaceutical Science, Jaipur National University, Rajasthan, India. International Journal of Pharmacy & Therapeutics, 3(2), 2012, 130-135. Recuperado de: http://www.ijptjournal.com/File_Folder/130-135.pdf

Igartúa, D. V., Moreno, K., Piter, J. C., & Monteoliva, S. (2015). *Densidad y propiedades mecánicas de la madera de Acacia melanoxylon implantada en Argentina.* Maderas. Ciencia y tecnología, 17(4), 809-820.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (ICONTEC): NOTMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 290 (1974). Maderas. Determinacòn de peso específico aparente. Bogotá, Colombia: ICONTEC.

Jawaid, M., Khalil, H. A., Hassan, A., & Abdallah, E. (2012). *Bi-layer hybrid biocomposites: chemical resistant and physical properties.* BioResources, 7(2), 2344-2355.

Juárez, M., Santiago, M., Vera, J.. (2011). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA MANUFACTURA DE EMPUÑADURAS DE PET RECICLADO.* e-Gnosis, 9( ),1-12.[fecha de Consulta 27 de Enero de 2020]. Universidad de Guadalajara. ISSN:1665-5745 . Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=730/73020063002

Kalustian, H. Dicran. (S,f). *Desarrollo de un Modelo de Incertidumbre para la Determinación de la Densidad de Materiales Poliméricos Según el Estándar Internacional ASTM D 792.* Recuperado de: https://www.academia.edu/33862316/Desarrollo_de_un_Modelo_de_Incertidumbre_para_la_Determinaci%C3%B3n_de_la_Densidad_de_Materiales_Polim%C3%A9ricos_Seg%C3%BAn_el_Est%C3%A1ndar_Internacional_ASTM_D_792

Karthikeyan, A., Balamurugan, K., Kalpana, A. (2014). The effect of sls treatment on tensile property of coconut fiber reinforced epoxy composites. Iranian Journal of Science and Technology. Transactions of Mechanical Engineering, Vol. 38, No. M1+ , pp 157-166. Recuperado de: https://www.semanticscholar.org/paper/THE-EFFECT-OF-SLS-TREATMENT-ON-TENSILE-PROPERTY-OF-Karthikeyan-Balamurugan/ecfb7e3a5533d3d3cc9ca382b8f284e27f572418

Khatib, J.. (2016). *Sustainability of construction materials.* Recuperado de: https://www.elsevier.com/books/sustainability-of-construction-materials/khatib/978-0-08-100370-1

Lajara, A.. (2012). *Estudio comparativo y aplicación de las certificaciones medioambientales BREEAM, LEED y VERDE para materiales y residuos en la construcción sostenible de edificios de oficinas.* Recuperado de: https://www.semanticscholar.org/paper/Estudio-comparativo-y-aplicaci%C3%B3ndelosm%C3%A9todosdeG%C3%B3mez/a7bd61b1e20b6874d22ff706cbd32208f6b62472

León, K. C. L., Mora, H. E. G., Oscanoa, A. J. C., & Campusano, J. G. (2016*). Evaluación de las propiedades físicas de material compuesto elaborado con bambú (Guadua angustifolia Kunth) y polipropileno*. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 7(38), 79-94.

Leyva, M.. (2014). *Durabilidad de compuestos a base de matrices minerales reforzados con fibras naturales.* (Tesis de posgrado). Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ingeniería Civil.

Li, X., Li, Y., Zhong, Z., Wang, D., Ratto, J., Sheng, K., Susan, X. (2009). *Mechanical and water soaking properties of medium density fiberboard with wood fiber and soybean protein adhesive.* Bioresource technology Volume 100, Issue 14. Pages 3556-3562 Recuperado de: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.048

Lutters, E.. (2019). Requirement specification. Faculty of Engineering Technology, Department of Design, Production and Management, University of Twente, Enschede, The Netherlands. CIRP Encyclopedia of Production Engineering, second edition. Recuperado de: https://link.springer.com/referencework/10.1007/978-3-662-53120-4

Macancela, A., Martínez, A.. (2020*). Fabricación de bloques de cemento y fibra de estopa de coco y pet reciclado para la eco-construcción.* Guayaquil. Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción Carrera de Diseño. Recuperado de: http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/3540/1/T-ULVR-3111.pdf

Mahzan, S., Ahmad, A., Arsat, N., Hatta, M., Ghazali, M., Rasool, L.. (2010). *Study of sound absorption properties of coconut coir fibre reinforced composite with added recycled rubber. International Journal of Integrated Engineering (Issue on Mechanical, Materials and Manufacturing Engineering).* Recuperado de: http://eprints.uthm.edu.my/id/eprint/620/1/ijiev22010p5.pdf

Mandal, S., Dey, A. (2019). PET Chemistry. In Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles (pp. 1-22). William Andrew Publishing. Recuperado de: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128113615000018?via%3Dihub#b

Mauricio, O., Pérez, M., García, F.. (2015). *Política pública de ecourbanismo y construcción sostenible*. Alcaldía Mayor de Bogotá. Recuperado de:http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/dts_ppecs_v7_141209_min_0.pdf

Maya, L. (2003*). Atlas de las culturas Afrocolombianos.* Ministerio de Educación Nacional. Bogotá, Colombia. Recuperado de: http://colombiaaprende.edu.co/html/etnias/1604/articles-83286_archivo.pdf

Medina, D.. (2018). Muelle Turístico y pesquero, Riscales de Nuqui, proyecto para el desarrollo de comunidades pesqueras. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de: https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/39294

Merlano, J. M. D., & Harders, F. G. (2009). *El Chocó Biogeográfico de Colombia. Banco de Occidente/Credencial.*

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Misión y Visión.* Recuperado de: https://www.minambiente.gov.co/index.php/ministerio/mision-y-vision

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Viceministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana. (2012). *Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana.* Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Gestion_urbana/edificaciones_sostenibles/Cartilla_Critlerios_Ambientales_Dise%C3%B1o_y_Construcci%C3%B3n_de_Vivienda_Urbana.pdf

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2008). *Política de Gestión Ambiental Urbana. Bogotá D.C.* Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Gestion_urbana/politica_gestion_urbana/Pol%C3%ADtica_Gestion_Ambiental_Urbana.pdf

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (S, f*). ANEXO TÉCNICO: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS, VIVIENDA Y OBRAS DE URBANISMO.* Bogotá D.C.: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). *Decreto número 1077 de 2015.* Recuperado de: http://www.minvivienda.gov.co/NormativaInstitucional/1077%20-%202015.pdf

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2020). *Misión y Visión*. Recuperado de: http://www.minvivienda.gov.co/sobre-el-ministerio/mision-y-vision

Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T.. (2005). *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites. Ed.* CRC Press

Monje, C. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Guía didáctica. Facultad de ciencias sociales y Humanas.* Universidad Surcolombiana. Neiva. Recuperado de: https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf

Monjo Carrió, J. (2005). *La evolución de los sistemas constructivos en la edificación. Procedimientos para su industrialización.* Informes de la Construcción, Vol 57, No 499-500. https://doi.org/10.3989/ic.2005.v57.i499-500.481

Monsalve, J., Sánchez, M., Baquero, D.. (2018). *Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de paneles reforzados con fibras de caña brava.* INGE CUC, vol. 14, no. 1, pp. 66-74. Recuperado de: DOI: http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.14.1.2018.06 *http://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/2427/Evaluaci%c3%b3n%20de%20las%20propiedades%20f%c3%adsico-mec%c3%a1nicas%20de%20paneles%20reforzados%20con%20fibras%20de%20ca%c3%b1a%20brava.pdf?sequence=1&isAllowed=y*

Montañez, A., Uzcátegui, I.. (2009). *Utilización de la fibra de coco como sustituto del Amianto en los procesos industriales.* Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. Revista Ingeniería UA. Vol 16. No. 2. ISSN: 1316-6832 Recuperado de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=707/70717501004

Montoya J. (2012) *Una propuesta experimental para la adquisición de competencias en termoquímica.* Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/10912

Morales, C. (2020). *Fabricación de bloques de cemento y fibra de coco y PET reciclado para la eco-construcción.* Universidad Laica Vicente Rocafuerte. Guayaquil. Recuperado de: http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/3540/1/T-ULVR-3111.pdf

Mosquera, G., (2010*). Vivienda y arquitectura tradicional en el Pacífico colombiano. Patrimonio Cultural Afrodescendiente.* Catalogación de tipologías arquitectónicas y urbanísticas propias de la región Pacífica colombiana. Recuperado de: https://www.hchr.org.co/afrodescendientes/media/LibroAecid.pdf

Morán, G., Alvarado, G. (2010). Métodos de investigación. México: Pearson. Recuperado de: https://mitrabaFjodegrado.files.wordpress.com/2014/11/moran-y-alvarado-metodos-de-investigacion-1ra.pdf.

Nam, T. H., Ogihara, S., Tung, N. H., & Kobayashi, S. (2011). *Effect of alkali treatment on interfacial and mechanical properties of coir fiber reinforced poly (butylene succinate) biodegradable composites.* Composites Part B: Engineering, 42(6), 1648-1656.

Navacerrada, M., Díaz, C.,Pedrero, A., Isaza, M., Fernández, P., Álvarez, C. & Restrepo, A.. (2016) *Caracterización acústica y térmica de no tejidos basados en fibras naturales.* Universidad Politécnica de Madrid, Universidad Pontificia Bolivariana. EuroRegio. Recuperado de : http://sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/97_01.pdf

Ngoc, L. (2012). *Polymer composite materials based on coconut fibres. Trabajo de Doctorado de ingeniería.* Recuperado de: https://mtm.kuleuven.be/Onderzoek/Composites/PhD/2012-le-quan-ngoc-tran.pdf ISBN 978-94-6018-615-8

Nuñez, R.. (2010).*Estudio tecnológico del componente fibra de dos variedades de coco enano (Cocos nucifera) de los distritos de Lamas, Tarapoto y Pucacaca en la región San Martín.* Universidad Nacional de San Martín. Perú. Recuperado de: http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2266/TP_IAI_00207_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Obiukwu, O., Uchechukwu, M., Nwaogwugwu, M.. (2016). *Study on the properties of coconut shell powder reinforced high-density polyethylene composite.* Nigeria. Volume-2, Issue-2, pp-43-55. e-ISSN : 2476-8456 . Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/335244032_Study_on_the_Properties_of_Coconut_Shell_Powder_Reinforced_HighDensity_Polyethylene_Composite.

Olivares, S., Galán, C., Roa, J.. (2003). LOS COMPOSITES: CARACTERÍSTICAS y APLICACIONES EN LA EDIFICACIÓN. Universidad de Sevilla. España. lnformes de la Construcción, Vol. 54, n° 484. Recuperado de: *https://www.academia.edu/35267871/LOS_COMPOSITES_CARACTER%C3%8DSTICAS_y_APLICACIONES_EN_LA_EDIFICACI%C3%93N_COMPOSITES_CHARACTERISTICS_AND_APPLICATIONS_IN_BUILDING_CONSTRUCTION*.

Orozco, R. (2018). *Valoración económica de daños por inundación en la cuenca del río Parrita, Pacífico Central, Costa Rica.* Centro Agronómico tropical de investigación y enseñanza. Recuperado de: file:///C:/Users/MARIANA/Downloads/Orozco_2018_ValoracinEconmicadedaosporinundacinenCuencaParrita_TesisMSc.pdf

Oteiza, I., & Tenorio, J. A. (2007). *La innovación en las técnicas, los sistemas y los materiales de construcción.* Jornada J7: Evaluación de la sostenibilidad en la Edificación, XVII Edición Curso de Estudios Mayores de la Construcción (CEMCO) Instituto Eduardo Torroja, Madrid. Recuperado de: file:///C:/Users/MARIANA/Downloads/VOLUMEN_II_CEMCO_2007%20(1).pdf

Pacheco, C., Fuentes , L., Sánchez, É., Rondón, H. (2017). *Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión.* Revista Científica Ingeniería y Desarrollo, 35(2), 533-555.

Páez, J., (2007). *Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión*. Escuela Politécnica Nacional. Recuperado de: http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/352

Palomo, M., (2017). *Aislantes térmicos. Criterios de selección por requisitos energéticos.* Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de: http://oa.upm.es/47071/1/TFG_Palomo_Cano_Marta.pdf

Paricaguán, B., (2015). *Contribución al estudio del comportamiento mecánico y fisicoquímico del concreto reforzado con fibras naturales de coco y bagazo de caña de azúcar para su uso en construcción.* Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela. Recuperado de: http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/2416/bparicaguan.pdf?sequence=1

Pineda, A., Navarrete, J.. (2018). *Obtención de celulosa micro cristalina a partir de la fibra de estopa de coco.* Universidad de Guayaquil. Ecuador. Recuperado de: http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18805/1/trabajo%20de%20grado%20cd.pdf

Posada, M, Díaz, G., Martínez, G. (2013). *Aulas y Andamios.* Buenos Aires Buenos Aires. Recuperado de: http://www.uocra.org/pdf/sst/manuales/EnfermedadesProfesionales.pdf.

Programa de las naciones unidas para el Desarrollo. (s.f.). *Objetivos del desarrollo sostenible.* Recuperado de: https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-9-industry-innovation-and-infrastructure.html

Puentes, L., Joya, E.. 2005. *Reconocimiento de características, obtención y utilización de la estopa de coco.* Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Colombia. Recuperado de:

Quesada, F.. (2014). *Métodos de evaluación sostenible de la vivienda: Análisis comparativo de cinco métodos internacionales.* Revista Hábitat Sustentable Vol. 4, N°. 1, 56-67 ISSN: 0719 - 0700.

Quintanilla, M., (2010). *Industrialización de la fibra de estopa de coco.* Universidad del Salvador. Recuperado de: http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/431/1/10136579.pdf

Ramos, C., Caro, J.. (2014). Biocompuestos en Colombia. *Aportes de Diseño en la aplicación de biocompuestos en el contexto productivo colombiano.* Universidad El Bosque. Revista MasD (ISSN 2027-095X) N°14, Vol. 8.

Ramsaroop, R., Persad, P.. (2012). *Determination of the heat transfer coefficient and thermal conductivity for coconut kernels using an inverse method with a developed hemispherical shell model. Journal of Food* Engineering. Volume 110, Issue 1, pages 141-157. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.11.027

Remacha, G. (2004). *Degradación de la madera por organismos xilófagos vegetales*. Universidad Politécnica de Madrid. ES. 2 pp. Recuperado de: https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_1368_17243.pdf

Rawangkula, R., Khedaria, J., Hirunlabhb, J., Zeghmati, B.. (2010). Characteristics and performance analysis of a natural desiccant prepared from coconut coir. ScienceAsia 216-222. Recuperado de: doi: 10.2306/scienceasia1513-1874.2010.36.216

Rocha, E.. (2011). *Construcciones sostenibles: materiales, certificaciones y LCA1*. Universidad Piloto de Colombia, Bogotá. Recuperado de:

https://www.adaptecca.es/sites/default/files/documentos/complementarios/dialnetconstruccionessosteniblesmaterialescertificaciones-3983370.pdf

Rochels, C.. (2010). *Plásticos para construcción en Colombia. Universidad de los Andes.* Recuperado de: file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/u441265.pdf

Rodríguez, A., Lozano, L., Sierra, P. (2012). *Criterios de zonificación ambiental usando técnicas participativas y de información: estudio de caso zona costera del departamento Del atlántico*. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, *41*(1), 61-83. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/pdf/mar/v41n1/v41n1a04.pdf

Rodríguez, H.(2020). *Tablas de Pesos Específicos y Densidades de Materiales.* Recuperado de: https://ingemecanica.com/tutoriales/pesos.html.

Rojas, L. (2019). *APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE CACAO PARA LA ELABORACIÓN DE UN BIOCOMPUESTOS CON APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE.* (Tesis de pregrado). Universidad el Bosque. Bogotá, Colombia.

Rosaa, S. M. L., Santosb, E. F., Ferreiraa, C. A., Marlí, S., & Nachtigallb, B. (2009). *Studies on the properties of Rice-Husk-Filled-PP Composites–Effect of Maleated PP J*. Materials Research, 12(3), 333-338. Recuperado de: http://www.scielo.br/pdf/mr/v12n3/v12n3a14.pdf.

Rubiano Fernandez, J., Pérez, A., Barrera, O., Orozco, W., Quesada, F., Díaz, M., Gaviria, L.. (2011). *Manejo de los materiales plásticos reciclados y el mejoramiento de sus propiedades.* Universidad Antonio Nariño. Recuperado de: http://revistas.uan.edu.co/index.php/ingeuan/article/view/201/172 ISSN 2145-0935.

Saltos, A. (2017). *Influencia de la salinidad y su evaluación en urbanización Málaga dos en vía a salitre Guayaquil – Ecuador*. Universidad de Guayaquil. Vol. 3, núm. 3, junio, 2017, pp. 647-666. ISSN: 2477-8818

Sampieri, R., Fernández, C., Baptista, M.. (2014). *Metodología de la investigación.* Editora: McGRAW-HILL. Sexta edición. México. ISBN: 978-1-4562-2396-0. Recuperado de: http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf

Sarabia, A. (2015). *MAPA DE INTENSIDADES MÁXIMAS OBSERVADAS PARA COLOMBIA.* Servicio Geológico Colombiano. Recuperado de: http://recordcenter.sgc.gov.co/B6/21001100024689/documento/pdf/2105246891101000.pdf

Sierra, M. A., & Paredes Quiroga, P. A. (2014). *Estudio de viabilidad técnica de la implementación del polietileno tereftalato como material para estabilización de taludes.* (Bachelor's thesis).

Santamaría, J. C. (2015). Valorización de residuos orgánicos y su aprovechamiento en la fabricación de nuevos hormigones. (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid) Recuperado de: http://oa.upm.es/50798/1/JUAN_REMIGIO_COLOMA_SANTAMARIA.pdf

Sastre, R., Muñoz, F., (2010*). Propiedades de los materiales y elementos de construcción.* Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona ISBN: 978-84-7653-909-5. Recuperado de: file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/9788476539095.pdf

Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, D. C. (2008). *Manual para la toma de muestras para análisis microbiológico.* Recuperado de: http://www.saludcapital.gov.co/sitios/VigilanciaSaludPublica/Todo%20IIH/Manual%20Toma%20Muestras.pdf

Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá. D.C.. (1997). *Ley 388 de 1997.* Recuperado de: https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=339#1

Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá. D.C.. (1979). *Ley 9 de 1979*. Nivel nacional. Recuperado de: https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1175

Sedano, K., Carvajal, Y., Díaz, Á. (2013). *Análisis de aspectos que incrementan el riesgo de inundaciones en Colombia. Revista Luna Azul*, (37), 219-238. Recuperado de: file:///C:/Users/MARIANA/Downloads/Analisis_de_aspectos_que_incrementan_el_riesgo_de_.pdf

Sierra, M.. (2015). Estudio de factores estructurales en la formación de sistemas tensioactivos mezclados. Recuperado de: http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/1992

Siriphanich, J., Saradhuldhat, P., Romphophak T., Krisanapook, K., Pathaveerat, S., & Tongchitpakdee, S.. (2011). Coconut (Cocos nucifera L.). Postharvest Biology and Thecnology of Tropical and Subtropical Fruits. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition 2011, Pages 8-33, 34e-35e https://doi.org/10.1533/9780857092885.8

Snijder, M. H. B., Keijsers, E. R. P., van den Oever, M. J. A., & van Dam, J. E. G. (2006). *Coir based building and packaging materials: final report of project CFC/FIGHF/11.* (Report / Wageningen UR, Agrotechnology & Food Innovations; No. 592). Wageningen: Agrotechnology & Food Innovations.

Solís, R., Moreno, E., Castro, P.. (2005). *Durabilidad en la estructura de concreto de vivienda en zona costera*. Ingeniería, vol. 9, núm. 1, enero-abril, 2005, pp. 13-18 Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, México. ISSN: 1665-529X. Recuperado de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467/46790102

Spain Green Building Council. (2019). *Reference Guide for Homes design and construction. LEED (Leadership in energy and environmental design).* ISBN # 978-1-932444-12-4. Recuperado de: https://www.usgbc.org/resources/leed-reference-guide-homes-design-and-construction

Spiegel, M., Stephens, L., (2009). *Estadística*. 4ta ed. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Estado de México. Recuperado de: ISBN-13: 978-970-10-6887-8

Suasnavas, D.. (2017). *Degradación de materiales plásticos "PET" (polyethylene terephtalate), como alternativa para su gestión.* Pontificia Universidad Católica de

Ecuador. Recuperado de: http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13224/Degradaci%c3%b3n%20Qu%c3%admica%20del%20PET.pdf?sequence=1&isAllowed=ySuriñach, S., Baró, S., Bordas, S., Clavaguera, N., & Clavaguera-Mora, M. T. (1992). *La calorimetría diferencial de barrido y su aplicación a la Ciencia de Materiales*. Boletin de la Sociedad Española de Ceramica y Vidrio, 1992, vol. 31, num. 1, p. 11-17. Recuperado de: http://boletines.secv.es/upload/199231011.pdf

Susunaga, J. (2014). *Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y prioritario.* Facultad de Ingeniería. Universidad Católica de Colombia. (Tesis de posgrado) Recuperado de: http://repository.ucatolica.edu.co:8080/jspui/bitstream/10983/1727/1/CONSTRUCCI%C3%93N%20SOSTENIBLE%2C%20UNA%20ALTERNATIVA%20PARA%20LA%20EDIFICACI%C3%93N%20DE%20VIVIENDAS%20DE%20INTERES%20SOCIAL%20Y%20

Tamayo, A.. (2012). *Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de cabuya mediante estratificación*. Escuela Politécnica Nacional. Recuperado de: http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4714

Tomczak, F., Sydenstricker, T. H. D., & Satyanarayana, K. G. (2007). *Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part II: Morphology and properties of Brazilian coconut fibers.* Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 38(7), 1710-1721.

Trejos, J., (2014). *Propiedades mecánicas de una matriz poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio.* Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado de: https://core.ac.uk/download/pdf/71397949.pdf

U.S Green Building Council. (2020). *Our brand.* Recuperado de: https://www.usgbc.org/about/brand

Ulffer, M. (2014). *Trabajo de materiales de construcción, usos de la madera en la construcción.* Recuperado de: https://es.slideshare.net/alexandermichaelulfferios/materiales-de-construccin-madera

United Nations Environment Programme (UNEP) With a Foreword by Kofi Annan, UN Secretary-General. (2002). *Global Environment Outlook 3: past, present and future perspectives.* Environmental Management and Health, 13(5), 560-561.

Upadhyaya, P., Garg, M., Kumar, V., & Nema, A. K. (2012). *The effect of water absorption on mechanical properties of wood flour/wheat husk polypropylene hybrid composites.*

Uribe, C.. (2012). *Materiales y prácticas de construcción sostenible.* Universidad EAFIT, Medellín. Recuperado de: https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/5594/Carolina_UribeVelez_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Valencia, F.. (2015). *Fabricación y caracterización físico-mecánica de biocomposites reforzados con fibras naturales.* Universidad del País Vasco. Aplicaciones en el sector neumático. Recuperado de:

https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18822/TESIS_RAMON_VALENCIA_FABUER.pdf;jsessionid=398E0A54B0BD0CB149469A7EAFE4FA27?sequence=1

Vargas, Y., Pérez, L.. (2018). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente.* Fundación Universitaria de San Gil–Unisangil, Yopal, Casanare. Vol. 14 (1) 2018, Revista Facultad de Ciencias Básicas ISSN 1900-4699

Vásquez, J., Ernit, K., & Lozano Ovalle, H. (2018). *Análisis de la influencia de sulfatos y cloruros en el deterioro de estructuras en concreto en zonas costeras del atlántico colombiano*.

Velásquez, S., Peláez, G., Giraldo, D.. (2016). *Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos.* Recuperado de: file:///C:/Users/aulab311/Downloads/Dialnet-UsoDeFibrasVegetalesEnMaterialesCompuestosDeMatriz-5767279.pdf

Villa, K., Echavarría, C., & Blessent, D. (2019). *Wood walls insulated with coconut fiber. DYNA*, *86*(210), 333-337. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532019000300333

Wang, D., Yang, B., Chen, Q., Chen, J., Su, L., Chen, P., Zheng, Z., Miao, J., Qian, J., Xia, R., Shi, Y.. (2019). *A facile evaluation on melt crystallization kinetics and thermal properties of low-density polyethylene (LDPE)/Recycled polyethylene terephthalate (RPET) blends.* Advanced Industrial and Engineering Polymer Research. Volume 2, Issue 3, pages 126-135. ISSN 2542-5048, https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2019.05.002.

Wu, T., & Ke, Y. (2006). *The absorption and thermal behaviors of PET–SiO2 nanocomposite films.* Polymer degradation and stability, 91(9), 2205-2212.Zepeda, R. F. (2008). Construcción sostenible y madera: realidades, mitos y oportunidades. Tecnología en Marcha, 21(4), 92-101.

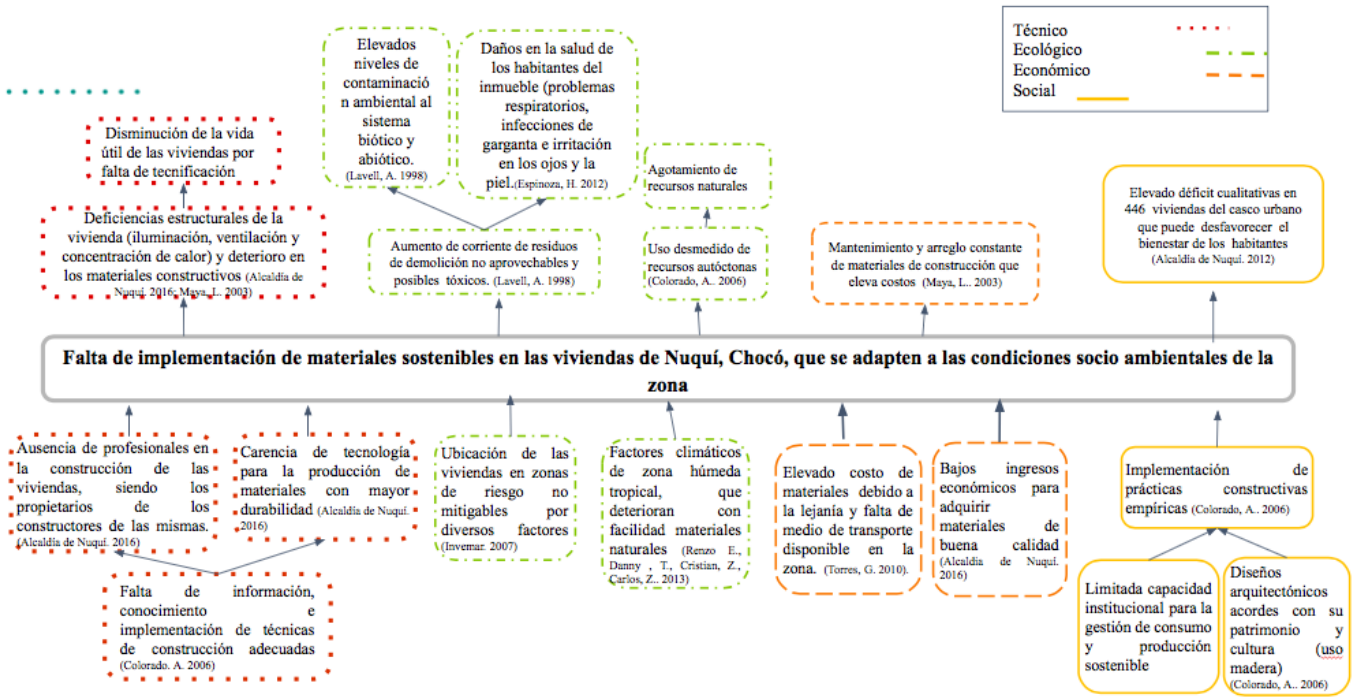
Zepeda, R. F. (2008). *Construcción sostenible y madera: realidades, mitos y oportunidades*. Tecnología en Marcha, 21(4), 92-101. Recuperado de: https://pdfs.semanticscholar.org/930d/579bc111759c8d258018e4679bad76f01a1f.pdf?_ga=2.61098154.708582187.1587334672-81812890.1587334672

Zenaida, H. M. (2012). *MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS: APUNTES.* Universidad de la Rioja, España: Servicio de Publicaciones. Recuperado de: https://www.unirioja.es/cu/zehernan/docencia/MAD_710/Lib489791.pdf

Zeppelin, C.. (2012*). Cielos falsos: rasos y modulares. Recomendaciones técnicas.* Corporación de Desarrollo tecnológico. Recuperado de: https://issuu.com/publicacionescdt/docs/cielos_falsos_segunda_edicion_-_mar ISBN: 978-956-7911-20-2

13 Anexos

Anexo 1. Árbol de problemas



Anexo 2. *Formato de encuestas a los habitantes del casco urbano de Nuquí, Chocó*

Fecha
Nombre
Edad
Preguntas de selección múltiple con única respuesta
A. Madera

1. ¿De qué materiales están hechas las paredes de la vivienda?	B. Concreto
	C. Ladrillo
	D. Adobe
	E. Zinc
	F. Otros.
2. ¿De qué materiales está hecho el techo de su vivienda?	a).Madera
	b). Lámina de fibrocemento
	c).Ladrillo
	d).Adobe
	e).Teja de zinc
	f).Palma
	g). Otros.
3. ¿De qué materiales está hecho el piso de su vivienda?	a).Tierra
	b).Cemento
	c). Recubrimiento en baldosa
	d).Recubrimiento en madera
	e). Otro
4. ¿Cuál de los siguientes puede ser el motivo por el cual se seleccionaron esos materiales de construcción para su vivienda?	a). Tradición
	b). Facilidad económica
	c). Disponibilidad de materiales
	d). Duración de los materiales
	e). Otro
5. ¿Cuál considera usted que es el nivel de humedad dentro de su vivienda generado por los materiales utilizados actualmente para su construcción?	a). Alto
	b). Medio
	c). Bajo
	d). No se presenta
6. ¿Cuál considera usted que es el nivel de concentración de calor dentro de las viviendas generado por los materiales utilizados actualmente para su construcción?	a).Alto
	b).Medio
	c). Bajo
	d). No se presenta
7. ¿Cuál considera de las siguientes, la condición principal que puede afectar o generar deterioro de los materiales?	a). Factores climatológicos (precipitaciones, viento, temperatura, humedad)
	b). Vectores (ácaros, polillas), hongos.
	c). Vandalismo
	d). Ninguno
8. ¿Qué alternativa de solución considera pertinente para la problemática del modelo constructivo actual?	a). Cambio de los materiales de construcción
	b). Reforzamiento de los materiales de construcción
	c). Mejora en las técnicas de construcción
	d). Nueva construcción
9. ¿Cuál de las siguientes condiciones considera que es deficiente en su vivienda?	a). Ventilación
	b). Iluminación
	c). Espacio

	d). Otro
	e). ninguno
10. ¿Cuál de las siguientes, podría ser una condición importante en el momento de construir, comprar o arrendar una vivienda?	a). Estética
	b). Seguridad
	c). Habitabilidad
	d) Costos
	e) Otro
11. ¿Ha tenido que cambiar alguna parte de su vivienda o la totalidad de la misma?	a). Si
	b). No
12. Si respondió SI a la pregunta anterior, ¿cuáles son las razones?	a). La vivienda es muy pequeña
	b). El estado de conservación de la vivienda no es adecuado
	c). La ubicación de la vivienda es inapropiada
	d). Otra
13. ¿Usted realiza separación de residuos en su hogar?	a). Si
	b). No

Fuente: Autores

Anexo 3. *Resultados complementarios de la determinación de contenido de fibra de coco.*

Extraíbles

Muestra	Peso inicial de la muestra (g)	Peso muestra libre de extraíbles (g)	Contenido de extraíbles (%)
1	5,6400 ± 0,0001	5,1400± 0,0001	8,8650± 0,004
2	3,9654± 0,0001	3,8253± 0,0001	3,5330± 0,004
3	5,1040± 0,0001	4,8649± 0,0001	4,6846± 0,008
Promedio	--	--	6,1990± 0,003

Fuente: Autoras

Lignina

Muestra	Peso inicial de la muestra (g)	Peso final de la muestra (g)	Peso papel filtro (g)	Contenido de lignina
1	1,0057± 0,0001	0,3946± 0,0001	0,4927± 0,0001	39,4600± 0,0002
2	1,0000± 0,0001	0,4400± 0,0001	0,5017± 0,0001	44,0000± 0,0002
3	0,9991± 0,0001	0,4591± 0,0001	0,4826± 0,0001	45,9100± 0,0002
Promedio	--	--	--	**43,0500±0,000008**

Fuente: Autoras

Celulosa

Muestra	Peso inicial de la muestra (g)	Peso Final de la muestra (g)	Contenido de celulosa (%)
1	1,0066±0,0001	0,8022 ± 0,0001	18,6279 % ±0,0008
2	1,0030± 0,0001	0,8157± 0,0001	18,0682 % ±0,0006
3	0,9991± 0,0001	0,7976± 0,0001	19,4380 % ± 0,0005
Promedio	--	--	**18,711 ± 0,00007**

Fuente: Autoras, 2019

Anexo 4. *Resultados complementarios del porcentaje de hinchamiento de los materiales.*

Fibra de coco sin tratamiento (FC)

Tiempo (h)	Muestra 1 (%)	Muestra 2 (%)	Muestra 3 (%)	Promedio (%)	Incertidumbre (±)
0,000	0	0	0	0	0
0,707	229,8	255	216,3	234	49
1,000	230,3	237,8	229,7	233	11
1,414	274,7	268,3	245,2	263	39
1,732	265,5	259,5	234,5	253	41
2,000	275,8	251	259,6	262	31
2,236	297,4	299,4	247,4	281	73
2,449	291,7	277,4	262,8	277	36

Fuente: Autoras, 2020

Fibra de coco con tratamiento (FCT)

Tiempo (h)	Muestra 1 (%)	Muestra 2 (%)	Muestra 3 (%)	Promedio (%)	Incertidumbre (±)
0,000	0	0	0	0	0
0,707	140,2	168,7	149,9	153	36
1,000	150,4	155,1	151,9	152	6
1,414	147,8	153,4	140,01	147	17
1,732	132,3	136,2	131,8	133	6
2,000	157,6	150,3	134,7	148	29
2,236	151,7	132,2	132,2	139	28
2,449	140,7	127,7	138,6	136	17

Fuente: Autoras, 2020

PET 100%

Tiempo (h)	Muestra 1 (%)	Muestra 2 (%)	Muestra 3 (%)	Promedio (%)	Incertidumbre (±)
0,000	0	0	0	0	0
0,707	0,077	0,083	0,071	0,08	0,02
1,000	0,1156	0,1095	0,1035	0,11	0,02
1,414	0,1135	0,1156	0,112	0,114	0,005
1,732	0,1014	0,1136	0,1075	0,11	0,02
2,000	0,1095	0,1257	0,1217	0,12	0,02
2,236	0,1115	0,1338	0,1136	0,12	0,03
2,449	0,1135	0,1521	0,1298	0,13	0,05

Fuente: Autoras, 2020

PET/FC 70/30

Tiempo (h)	Muestra 1 (%)	Muestra 2 (%)	Muestra 3 (%)	Promedio (%)	Incertidumbre (±)
0,000	0	0	0	0	0
0,707	7,302	6,9278	6,6095	6,9	0,9
1,000	11,663	11,105	11,3954	11,4	0,7
1,414	9,923	9,0046	9,4362	9,5	1,1
1,732	10,072	10,3838	10,775	10,4	0,9
2,000	10,861	10,6039	10,8665	10,8	0,4
2,236	10,37	10,1026	10,7467	10,4	0,8
2,449	10,427	9,8242	10,6346	10,3	1

Fuente: Autoras, 2020

PET/FC 80/20

Tiempo (h)	Muestra 1 (%)	Muestra 2 (%)	Muestra 3 (%)	Promedio (%)	Incertidumbre (±)
0,000	0	0	0	0	0
0,707	1,5768	1,434	1,2406	1,4	0,4
1,000	2,4947	2,665	2,3888	2,5	0,3
1,414	5,481	5,703	5,231	5,5	0,6
1,732	4,1526	4,389	4,4054	4,3	0,4
2,000	4,3017	4,192	4,2971	4,3	0,2
2,236	4,6913	4,374	4,462	4,5	0,4
2,449	4,4089	4,166	4,552	4,4	0,5

Fuente: Autoras, 2020

PET/FCT 70/30

Tiempo (h)	Muestra 1 (%)	Muestra 2 (%)	Muestra 3 (%)	Promedio (%)	Incertidumbre (±)
0,000	0	0	0	0	0
0,707	4,684	4,1081	5,066	4,6	1,2
1,000	6,9092	7,501	7,322	7,2	0,8
1,414	5,7348	5,2421	5,564	5,5	0,6
1,732	5,6226	5,6993	5,393	5,6	0,4
2,000	6,2201	5,7129	6,059	6	0,6
2,236	5,6386	5,9075	5,416	5,7	0,6
2,449	5,4852	6,247	5,478	5,7	1,1

Fuente: Autores, 2020

PET/FCT 80/20

Tiempo (h)	Muestra 1 (%)	Muestra 2 (%)	Muestra 3 (%)	Promedio (%)	Incertidumbre (±)
0,000	0	0	0	0	0
0,707	2,5386	2,1802	2,221	2,3	0,5
1,000	3,4962	3,232	3,573	3,4	0,4
1,414	5,1536	4,923	4,7956	5	0,5
1,732	4,0717	4,1308	3,8942	4	0,3
2,000	4,5971	4,8676	4,5899	4,7	0,4
2,236	4,4849	4,9206	4,717	4,7	0,5
2,449	4,7834	4,5472	5,0891	4,8	0,7

Fuente: Autoras, 2020

Anexo 5. *Resultados complementarios de la Capacidad calorífica de los materiales*

- PET 100%

Temperatura recipiente donde se sumergió el sólido: 90,6°C

Tiempo (s)	Temperatura Agua °C	Peso agua: 100,6326g							
			1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min
0,5	19,4	10 s	20,2	20,5	20,5	20,6	20,6	20,6	20,7
1,0	19,6	20 s	20,2	20,5	20,6	20,5	20,6	20,7	20,7
1,5	19,6	30 s	20,2	20,5	20,6	20,7	20,7	20,6	20,6
2,0	19,5	40 s	20,4	20,6	20,6	20,5	20,6	20,6	20,6
2,5	19,6	50 s	20,4	20,5	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6
3,0	19,7	60 s	20,5	20,6	20,6	20,7	20,6	20,6	20,6

Fuente: Autoras, 2020

PET/FCT 70/30

Temperatura recipiente donde se sumergió el sólido: 85,78°C

Tiempo (s)	Temperatura Agua °C	Peso Agua: 100,3238 g							
			1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min
0,5	20,5	10 s	21,2	21,4	21,7	21,8	21,9	21,8	21,8
1,0	20,5	20 s	21,3	21,6	21,7	21,8	21,7	21,8	21,7
1,5	20,6	30 s	21,3	21,8	21,7	21,7	21,8	21,7	21,6
2,0	20,7	40 s	21,6	21,7	21,7	21,9	21,9	21,7	21,8
2,5	20,6	50 s	21,6	21,5	21,6	21,8	21,9	21,9	21,7
3,0	20,6	60 s	21,5	21,5	21,7	21,9	21,8	21,8	21,8

Fuente: Autoras, 2020

PET/FCT 80/20

Temperatura recipiente donde se sumergió el sólido: 86,80°C

Tiempo (s)	Temperatura Agua °C	Peso agua : 100,1055g							
			1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min
0,5	20	10 s	20,7	20,9	20,9	21	21	21	21
1,0	20	20 s	20,8	21	20,9	21	20,9	21	20,9
1,5	20	30 s	20,8	20,9	21	20,9	20,9	20,9	20,9
2,0	20,1	40 s	20,9	20,8	21	21	21	21	21
2,5	20,2	50 s	20,9	20,9	21	21	20,9	21	20,9
3,0	20,2	60 s	20,9	20,9	21	21	21	21	21

Fuente: Autoras, 2020

PET/FC 70/30

Temperatura recipiente donde se sumergió el sólido: 89,55°C

Tiempo (s)	Temperatura Agua °C	Peso agua: 100,0002g							
			1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min
0,5	19,5	10 s	20,4	20,6	20,7	20,9	21	21	21,1
1,0	19,6	20 s	20,4	20,6	20,8	20,9	21,2	20,9	21
1,5	19,5	30 s	20,5	20,6	20,7	20,9	20,9	21	21,2
2,0	19,5	40 s	20,5	20,6	20,8	20,9	20,9	21	21,2
2,5	19,6	50 s	20,5	20,7	20,8	21	20,9	21	21,1
3,0	19,6	60 s	20,5	20,7	20,9	21,1	21	21,1	21

Fuente: Autoras, 2020

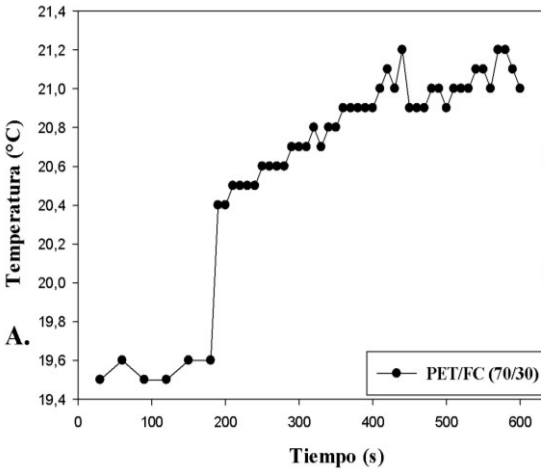
PET/FC 80/20

Temperatura recipiente donde se sumergió el sólido: 90,10°C

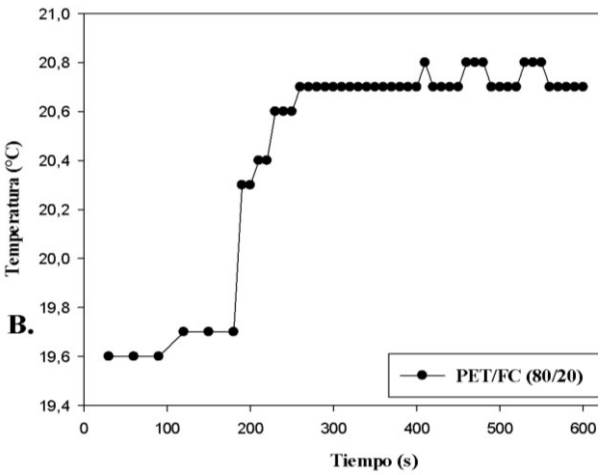
Tiempo (s)	Temperatura Agua °C	Peso agua: 100,8612g							
			1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min
0,5	19,6	10 s	20,3	20,6	20,7	20,7	20,7	20,7	20,8
1,0	19,6	20 s	20,3	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7
1,5	19,6	30 s	20,4	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7
2,0	19,7	40 s	20,4	20,7	20,7	20,7	20,8	20,7	20,7
2,5	19,7	50 s	20,6	20,7	20,7	20,8	20,8	20,8	20,7
3,0	19,7	60 s	20,6	20,7	20,7	20,7	20,8	20,8	20,7

Fuente: Autoras, 2020

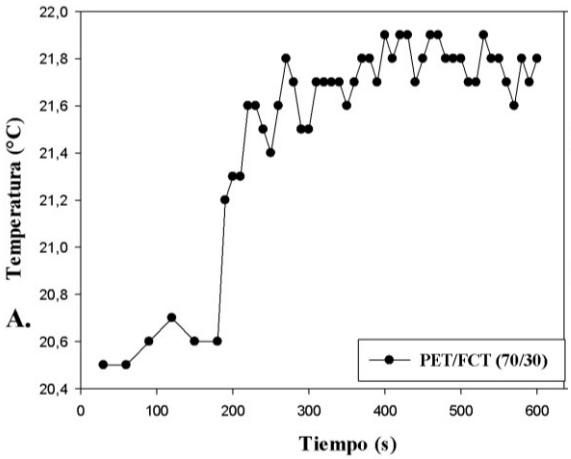
Anexo 6. *Termogramas de Tiempo vs. Temperatura de los biocompuestos PET/FC 70/30-80/20 y PET/FCT 70/30-80/20.*



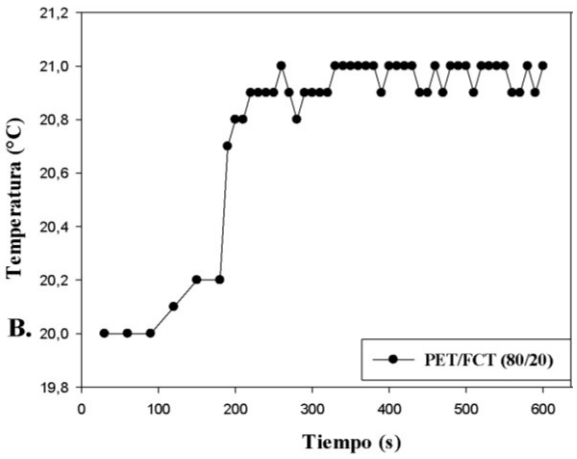
Fuente: Autoras, 2020



Fuente: Autoras, 2020



Fuente: Autoras, 2020



Fuente: Autoras, 2020

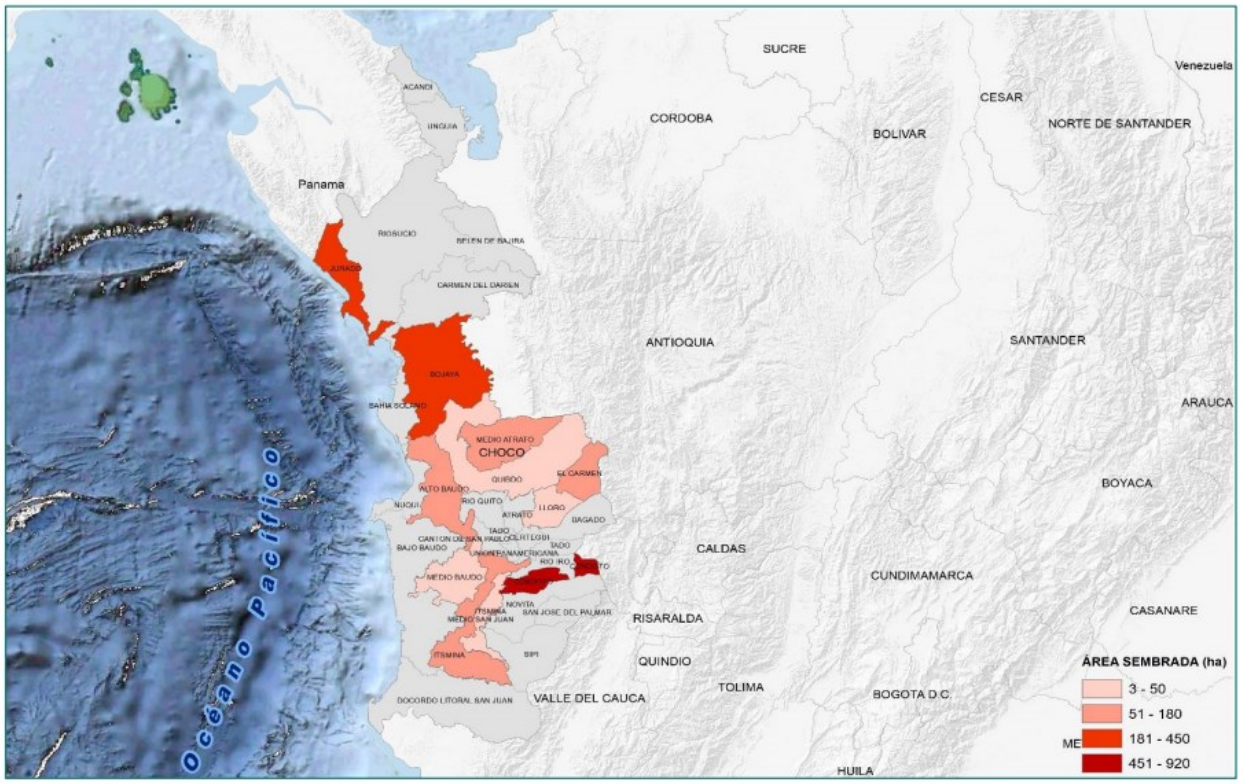
Anexo 7. *Resultados complementarios de Calor específico del PET y biocompuestos.*

	Proporción	**Masa Agua (g)**	**Masa sólido (g)**	**△T° Agua**	**Delta T° sólido**	***Cp* agua J/g°C**	***Cp* sólido J/g°C**
PET	100%	100,6326	4,8216	1,3	70,0	4,182	1,6210
PET/FCT	70%-30%	100,3238	4,2190	1,4	63,98	4,182	2,1794
	80%-20%	100,1055	4,0619	1,0	65,8	4,182	1,5663
PET/FC	70%-30%	100,0002	4,4142	1,7	68,35	4,182	2,3564
	80%-20%	100,8612	4,0971	1,2	69,3	4,182	1,7827

Fuente: Autoras

Anexo 8. *Mapa del área sembrada de producción Cocotera en el departamento del Chocó para el año 2017.*

134 ha sembradas para el municipio de Nuquí, Chocó



Fuente: Agronet, 2017

Anexo 9. *Proyección de la producción de Coco en Nuquí, Chocó para el año 2020.*

Año	**Producción coco (ton)**
2013	1680
2014	1680
2015	1834
2016	1834
2017	1876
2018	1944,60
2019	2005,08
2020	2034,56

Fuente: Autoras con referencias de Agronet, 2014; Agronet, 2015; Agronet, 2016; Agronet, 2017