



EVALUACIÓN DE UN BIOCOMPOSITO ELABORADO CON RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DEL CULTIVO DE ARROZ (CASCARILLA Y TAMO) Y SU POTENCIAL APLICACIÓN EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL, PAZ DE ARIPORO, CASANARE.

**Antonella Bernal Vargas
Leidy Paola Carvajal Cano**

**Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 2019**

Evaluación de un biocomposito elaborado con residuos agroindustriales del cultivo de arroz (cascarilla y tamo) y su potencial aplicación en Viviendas de Interés Social, Paz de Ariporo, Casanare

EVALUACIÓN DE UN BIOCOMPOSITO ELABORADO CON RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DEL CULTIVO DE ARROZ (CASCARILLA Y TAMO) Y SU POTENCIAL APLICACIÓN EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL, PAZ DE ARIPORO, CASANARE.

**Antonella Bernal Vargas
Leidy Paola Carvajal Cano**

**Director:
José Francisco Ibla Gordillo, cPhD**

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

Línea de investigación:
Infraestructura sustentable

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

2019

Acta de sustentación



SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

ACTA No: 1133

El día **29 OCT 2019**, en las instalaciones de la Universidad El Bosque, se desarrolló la sustentación del trabajo de grado titulado **EVALUACIÓN DE UN BIOCOMPOSITO ELABORADO CON RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DEL CULTIVO DE ARROZ (CASCARILLA Y TAMO) Y SU POTENCIAL APLICACIÓN EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL EN EL MUNICIPIO PAZ DE ARIPORO, CASANARE**, escrito por **ANTONELLA BERNAL VARGAS, C.C. 1032493176** y **LEIDY PAOLA CARVAJAL CANO, C.C. 1019134242**, bajo la dirección de **JOSÉ FRANCISCO IBLA GORDILLO, C.C. 80241303**, como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental. El trabajo fue evaluado por los jurados **SANDRA CECILIA BAUTISTA RODRÍGUEZ, C.C. 52233309** y **OSCAR EDUARDO RODRÍGUEZ AGUIRRE, C.C. 19473917**, quienes deliberaron y concluyeron que cumple con los criterios de calidad, por lo que se determina que el trabajo es **Aprobado**.

En constancia, se firmó en Bogotá, D.C., **29 OCT 2019**


KENNETH OCHOA VARGAS
Director
Programa de Ingeniería Ambiental


GERMÁN AGUDELO ASCENCIO
Secretario Académico
Facultad de Ingeniería



1. Tabla de contenido

1. Tabla de contenido	4
2. Listado de tablas	6
3. Listado de figuras	6
4. Resumen	9
5. Abstract	10
6. Introducción	10
7. Planteamiento del problema	11
8. Justificación	13
9. Objetivos	15
General	15
Específicos	15
10. Marco de referencia	16
10. 1. Estado del arte	16
10. 2. Marco Conceptual	19
10. 3. Marco Teórico	21
10. 4. Marco Normativo	23
10.4.1. Normas legales	23
10.4.2. Normas Técnicas	24
10. 5. Marco Geográfico	26
10. 6. Marco Institucional	27
11. Marco metodológico	28
11. 1. Primer objetivo. Realizar un diagnóstico ambiental en el municipio Paz de Ariporo, Casanare relacionado con la generación del residuo agroindustrial del cultivo de arroz	29
11. 2. Segundo objetivo. Elaborar un biocomposito a partir de los residuos agroindustriales del cultivo de arroz y una matriz polimérica.	30
11. 2. 1. Análisis químico	32
11. 2. 1. 1. Cantidad de extraíbles	32
11. 2. 1. 2. Composición de lignina	33
11. 2. 1. 3. Composición de celulosa	34
11. 2. 2. Análisis físico	35
11. 2. 2. 1. Porcentaje de humedad	35
11. 2. 2. 2. Densidad residuos (Cascarilla, tamo, polietileno)	36

11. 2. 2. 3. Prueba de hinchamiento	37
11. 2. 2. 4. Microscopía electrónica de barrido	38
11. 2. 3. Preparación del biocomposito	39
11. 3. Tercer objetivo. Caracterizar física y químicamente el biocomposito elaborado.	40
11. 3. 1. Técnica de infrarrojo EIRTF	41
11. 3. 2. Análisis térmico	41
11. 4. Cuarto objetivo. Proponer la potencial aplicación como material constructivo para las Viviendas de Interés Social del municipio de Paz de Ariporo	43
13. Aspectos éticos	46
14. Resultados y análisis	47
14. 1. Objetivo 1: Realizar un diagnóstico ambiental en el municipio Paz de Ariporo, Casanare relacionado con la generación del residuo agroindustrial del cultivo de arroz.	47
14. 2. Objetivo 2: Elaborar un biocomposito a partir de los residuos agroindustriales del cultivo de arroz y una matriz polimérica.	57
14. 2. 1. Análisis químico	59
14. 2. 2.1 Análisis físico	62
14. 2. 3. 2 Elaboración del biocomposito	70
14.3. Tercer objetivo. Caracterizar física y químicamente el biocomposito elaborado.	73
14. 3.1 Pruebas físicas:	72
14. 3. 1. 1. Densidad de biocompositos	72
14. 3. 1. 1. Porcentaje de hinchamiento	74
14. 3. 2: Análisis químico	76
14. 3. 2. 1. Técnica de espectroscopia EIRTF	76
14. 3. 2. 2. Microscopia de barrido de (MEB):	77
14.2.4 Propiedad térmica	83
14. 4. Objetivo 4: Establecer la potencial aplicación dentro del modelo constructivo del biocomposito obtenido mediante el diseño experimental	90
14. 4.1. Revisión bibliográfica viviendas clima cálido y generalidades Viviendas de Interés Social (VIS)	90
14.4.2. Matriz de correlación	92
15. Conclusiones	103
16. Recomendaciones	104
17. Referencias Bibliográficas	106
Anexos	118

2. Listado de tablas

Tabla 1 Normas legales que aplican al proyecto.....	23
Tabla 2 Normas técnicas que aplican al proyecto.....	24
Tabla 3 Tabla metodológica.....	44
Tabla 4 Resultados entrevistas realizadas a cultivadores.....	48
Tabla 5 Información proyectos de Vivienda de Interés Social (VIS) en municipio Paz de Ariporo.....	53
Tabla 6 Composición porcentual de lignina y celulosa (tamo y cascarilla).....	60
Tabla 7 Resultados de densidad promedio de residuos vegetales y polietileno.....	64
Tabla 8 Códigos porcentuales de la composición de los biocompositos	70
Tabla 9 Resultados densidad promedio de biocompositos elaborados y su densidad esperada	72
Tabla 10 Criterio de asignación del grado de importancia de las propiedades físicas a evaluar	82
Tabla 11 Ponderación de las categorías	83
Tabla 12 Asignación de puntaje para cada biocomposito.....	83
Tabla 13 Datos para determinación de la capacidad calorífica del biocomposito PE/TA-CA (80/20) ..	84
Tabla 14 Datos para determinación de la capacidad calorífica del biocomposito PE/TA-CA (70/30) ..	85
Tabla 15 Capacidad calorífica (Cp) de materiales convencionales usados en construcción	85
Tabla 16 Ajuste de gráficas de termogramas de cambio de temperatura.....	87
Tabla 17 Resultados de coeficiente de conductividad térmica	88
Tabla 18 Coeficiente de conductividad térmica de materiales convencionales usados en construcción	89
Tabla 19 Características de las VIS	91
Tabla 20 Materiales	92
Tabla 21 Matriz de correlación	94
Tabla 22 Matriz de evaluación de materiales y recursos sistema BD+C: Homes	97
Tabla 23 Matriz de evaluación del material bajo criterios del sistema LEED BD+C: Homes.....	98
Tabla 24. Matriz de evaluación de materiales y recursos sistema BD+C: General	98
Tabla 25 Matriz de evaluación del material bajo criterios del sistema LEED BD+C: General	99
Tabla 26 Puntaje proyectos VIS o VIP referencial CASA Colombia.....	101
Tabla 27 Lineamientos categoría eficiencia de recursos “materiales”	101
Tabla 28 Puntos obtenidos en la evaluación del biocomposito en el Referencial CASA.....	102

3. Listado de figuras

Figura 1. Árbol de problemas..	13
Figura 2. Morfología de la planta de arroz.	20
Figura 3 Localización del municipio..	27
Figura 4. Diagrama metodológico diagnóstico ambiental.	29
Figura 5. Metodología toma de muestras.....	30

Figura 6. Diagrama general para elaboración del biocomposito..	31
Figura 7. Procedimiento para determinación de extraíbles.....	33
Figura 8. Procedimiento determinación porcentaje de lignina. .	34
Figura 9. Procedimiento determinación porcentaje de celulosa. .	35
Figura 10. Procedimiento porcentaje de humedad.....	36
Figura 11. Procedimiento para determinar densidad.	37
Figura 12. Procedimiento para determinar porcentaje de hinchamiento.	38
Figura 13. Procedimiento de Microscopía Electrónica de Barrido.....	39
Figura 14. Procedimiento para preparación del biocomposito..	40
Figura 15. Metodología general tercer objetivo.....	40
Figura 16. Procedimiento de técnica de infrarrojo.	41
Figura 17. Metodología Capacidad calorífica.....	42
Figura 18. Montaje coeficiente de conductividad térmica.	43
Figura 19. Metodología de coeficiente de conductividad térmica.	43
Figura 20. Procedimiento de aplicación del biocomposito como material constructivo..	44
Figura 21. Ubicación puntos visitados en la salida de campo a Paz de Ariporo, Casanare.....	47
Figura 22. Puntos visitados en la visita de campo a Paz de Ariporo, Casanare.....	48
Figura 23. Tamo de arroz en cultivos.	50
Figura 24. Lote de cascarilla de arroz.	50
Figura 25. Generación de arroz y sus residuos naturales de las fincas 1 y 2, municipio Paz de Ariporo, Casanare.	51
Figura 26. Exterior casas proyecto de VIS..	54
Figura 27. Interior de Vivienda Interés Social (baño y sala-comedor).....	55
Figura 28. Interior de Vivienda Interés Social (habitaciones y cocina)	55
Figura 29. Micrografía de cascarilla de arroz tomada por estereoscopio Olympus sz61..	57
Figura 30. Micrografía de tamo de arroz tomada por Estereoscopio Olympus sz61.....	58
Figura 31. Empaque de polietileno de alta de densidad de abono 25-4-25 de 50 kg.....	58
Figura 32. Estructura química de lignina.	59
Figura 33. Estructura química de la celulosa.	59
Figura 34. Estructura química del PE.	61
Figura 35. (A) Espectro de infrarrojo TA tamizado; (B) Espectro CA tamizado.	61
Figura 36. Espectro del PE.....	62
Figura 37. Moldes de PE.....	62
Figura 38. Resultados porcentaje de humedad del tamo y la cascarilla comparados con datos bibliográficos.	63
Figura 39. Resultados densidad del TA, CA y PE comparados con datos bibliográficos. Fuente: Autoras basadas en datos de Kargbo et al. (2010) para el TA; Echeverría & López (2010) para la CA e ISO 1183-1, (2004) para el PE.	64
Figura 40. Prueba de hinchamiento TA en base húmeda.....	65
Figura 41. Prueba de hinchamiento CA en base húmeda.	65
Figura 42. Pruebas de hinchamiento PE en base húmeda.....	66
Figura 43. Comparación del porcentaje promedio de hinchamiento de los residuos en base húmeda. ..	66
Figura 44. (A) Micrografía del TA con intensidad de 10 kV de magnitud de 728 x con escala 200 µm; (B) Micrografía del TA con intensidad de 10 kV de magnitud de 2000 x con escala 50 µm.	67
Figura 45. Espectro de EDS para análisis semicuantitativo elemental del TA.....	67

Figura 46. (A) Micrografía del TA con intensidad de 10 kV de magnitud de 2000 x con escala 200 μm ; (B) Micrografía del TA con intensidad de 10 kV de magnitud de 728 x con escala 200 μm ; (C) Micrografía del TA con intensidad de 10 kV de magnitud de 4.0 kx con escala 20 μm .	68
Figura 47. Espectro de EDS para análisis semicuantitativo elemental de la CA.	69
Figura 48. Moldes utilizados en la elaboración del biocomposito.	70
Figura 49. Tratamiento del TA	71
Figura 50. Tratamiento de la CA.	71
Figura 51. (A) Biocompositos PE/TA-CA proporción 80/20; (B) Biocompositos PE/TA-CA proporción 70/30.	72
Figura 52. Densidad obtenida y esperada de biocompositos (A) PE/TA (80/20); (B) PE/CA (80/20); (C) PE/TA-CA (80/20); (D) PE/TA-CA (70/30).	73
Figura 53. (A) Prueba de hinchamiento PE/TA (80/20) base húmeda; (B) Prueba de hinchamiento biocomposito PE/CA (80/20) base húmeda.	74
Figura 54. (A) Prueba de hinchamiento biocomposito PE/TA-CA (80/20) base húmeda; (B) Prueba de hinchamiento biocomposito PE/TA-CA (70/30) base húmeda.	75
Figura 55. (A) Comparación del promedio del porcentaje de hinchamiento biocompositos de PE/TA y PE/CA (80/20) base húmeda; (B) Biocompositos PE/TA-CA (80/20 y 70/30) base húmeda.	75
Figura 56. (A) Espectro de infrarrojo biocomposito PE/TA (80/20); (B) Espectro biocomposito PE/CA (80/20); (C) Espectro biocomposito PE/TA-CA (70/30); (D) Espectro biocomposito PE/TA-CA (80/20).	77
Figura 57. (A) Micrografía Biocomposito PE/TA (80/ 20) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 200 x con escala 500 μm ; (B) Micrografía Biocomposito PE/TA (80/ 20) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 3.00 kx con escala 50 μm ; (C) Micrografía Biocomposito PE/TA (80/ 20) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 3.36 kx con escala 50 μm .	78
Figura 58. (A) Micrografía Biocomposito PE/CA (80/ 20) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 728 x con escala 200 μm ; (B) Micrografía Biocomposito PE/CA (80/ 20) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 1.95 kx con escala 50 μm ; (C) Micrografía Biocomposito PE/CA (80/ 20) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 3.99 kx con escala 20 μm .	79
Figura 59. (A) Micrografía Biocomposito PE/TA-CA (70/ 30) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 200 x con escala 500 μm ; (B) Micrografía Biocomposito PE/TA-CA (70/ 30) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 1.20 kx con escala 100 μm ; (C) Micrografía Biocomposito PE/TA-CA (70/ 30) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 2.55 x con escala 50 μm .	80
Figura 60. (A) Micrografía Biocomposito PE/TA-CA (80/ 20) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 238 x con escala 500 μm ; (B) Micrografía Biocomposito PE/TA-CA (80/ 20) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 827 x con escala 200 μm ; (C) Micrografía Biocomposito PE/TA-CA (80/ 20) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 2.41 kx con escala 50 μm .	81
Figura 61. Termograma capacidad calorífica biocompositos PE/TA-CA (80/20) y PE/TA-CA (70/30). Fuente: Autoras.	84
Figura 62. (A) Termograma biocomposito PE/TA-CA (80/20); (B) Termograma ajustado biocomposito PE/TA-CA (80/20).	86
Figura 63. Termogramas ajustados PE/TA-CA (80/20), PE/TA-CA (70/30) y PE.	88
Figura 64. Planos de la VIS y esquema estructural del corte axial del muro.	95
Figura 65. Categorías Referencial CASA Colombia.	101

4. Resumen

El presente proyecto tiene como propósito evaluar un biocomposito elaborado con residuos agroindustriales de la producción de arroz como la cascarilla (CA), el tamo (TA) y costales de polietileno (PE) procedentes del municipio Paz de Ariporo, Casanare, los cuales se diagnosticaron mediante una visita de campo al municipio. Primero se caracterizó física y químicamente cada uno de los residuos en donde se determinó que dada la polaridad de los residuos vegetales y la no polaridad del polietileno, podrían contribuir a la funcionalidad de un biocomposito aprovechado como material de construcción. Se elaboraron biocompositos en dos composiciones porcentuales 80/20 y 70/30 del residuo polimérico y residuos vegetales respectivamente, con combinaciones de PE/TA, PE/CA y PE/TA-CA, posteriormente se analizaron algunas de sus propiedades físicas y químicas, en donde se determinó que el biocomposito PE/TA-CA de proporción 80/20 era el de mejor adhesión interfacial, con una densidad de $680 \pm 70 \text{ kg/m}^3$, una absorción de agua de 5,7%, una capacidad calorífica de $1800 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ y un coeficiente de conductividad térmica de $3,3\text{W/m}^\circ\text{C}$, presentando propiedades aislantes. Por último, se estableció la potencial aplicación de dicho biocomposito en el modelo constructivo de las Viviendas de Interés Social (VIS) en Paz de Ariporo, considerando que los materiales de construcción deben ser ligeros y de baja capacidad térmica en las construcciones de clima cálido húmedo, asimismo se comprobó la sostenibilidad del material mediante una evaluación realizada bajo los lineamientos de construcción sostenible establecidos en los sistemas de certificación LEED y CASA Colombia.

Palabras clave: *Residuos agroindustriales, tamo de arroz, cascarilla de arroz, construcción sostenible, biocomposito, residuo polimérico.*

5. Abstract

The purpose of this project is to evaluate a biocomposite made with agro-industrial waste from rice production such as rice husk (CA), rice straw (TA) and polyethylene sacks (PE) from the Paz de Ariporo, Casanare, which were diagnosed through the field visit to the municipality. First, each of the wastes was physically and chemically characterized where it was determined that given the polarity of the plant residues and the non-polarity of the polyethylene, they could contribute to the functionality of a biocomposite used as a construction material. Biocomposites were prepared in two compositions 80/20 and 70/30 of the polymeric residue and plant residues respectively, with combinations of PE / TA, PE / CA and PE / TA-CA, subsequently. Some of their physical and chemical properties were analyzed, where it was found that the PE / TA-CA biocomposite of 80/20 of composition was the best interfacial adhesion, with a density of $680 \pm 70 \text{ kg / m}^3$, a water absorption of 5.7%, a heat capacity of $1800 \text{ J/kg } ^\circ \text{C}$ and a coefficient of thermal conductivity of $3.3 \text{ W / m } ^\circ \text{C}$, which makes it have insulating properties. Finally, the potential application of this biocomposite was established in the construction model of the Social Interest Housing (VIS) in Paz de Ariporo, considering that the construction materials must be light and of low thermal capacity in the construction of humid warm weather. Likewise, the sustainability of the material was verified through an evaluation carried out under the sustainable construction guidelines established in the LEED and CASA Colombia certification systems.

Keywords: *Agroindustrial waste, rice straw, rice husk, sustainable building, biocomposite, polymeric waste.*

6. Introducción

En el presente trabajo se aborda el problema del desaprovechamiento de residuos agrícolas en la industria arrocera en Colombia, teniendo en cuenta que aproximadamente 6'282.407 ton/año de residuos son generados por cada 2'463.689 ton/año de producción de arroz (González & Adab, 2017). Los principales residuos que se generan en esta industria son la cascarilla y el tamo de arroz, en donde la cantidad de residuo de cascarilla que se obtiene es de aproximadamente 20% del total de producción de arroz (Sierra & Mejía, 2015), sumado a que es un desecho de difícil biodegradación; asimismo, por cada kilogramo de grano de arroz se produce aproximadamente 1,5 kilogramos de tamo de arroz (Cruz et al., 2017).

Es por esto que este proyecto de grado propone la evaluación de un biocomposito a partir de residuos agroindustriales de la producción de arroz, por medio de la determinación de sus propiedades para establecer su posible función en la construcción de viviendas de interés social (VIS). Se establece como

lugar el municipio de Paz de Ariporo, Casanare, el cual cuenta con un sistema de VIS y una alta producción de arroz, lo que significa una mayor obtención de residuos agroindustriales por ser uno de los municipios con mayor extensión de cultivos para la producción arrocería en el área del llano. Esta propuesta tiene como fin generar un beneficio social, económico y ecológico en esta zona.

Primero se realizó un diagnóstico ambiental de la zona, en donde se observó la dinámica del cultivo y se identificaron las proporciones del residuo natural que se generan, su uso y disposición final, al igual que el reconocimiento de un residuo polimérico adecuado para servir de matriz polimérica en el biocomposito. Seguido de esto, se realizó la caracterización física y química de los residuos naturales y del residuo polimérico. Posteriormente, se elaboró el biocomposito al cual se le efectuaron pruebas de las propiedades físico-químicas y mecánicas, resultados que luego se correlacionaron con las propiedades físico-químicas y mecánicas de los materiales tradicionales utilizados en la construcción de Viviendas de Interés Social en el país y las propiedades de materiales convencionales utilizados en las viviendas ubicadas en clima cálido. En este orden de ideas, se determinó el potencial uso del material para proponer una futura implementación en Viviendas de Interés Social en el municipio Paz de Ariporo, Casanare.

El proyecto se llevó a cabo gracias a conocimientos técnicos y teóricos adquiridos a lo largo de la carrera de Ingeniería Ambiental, mediante la aplicación y fortalecimiento de habilidades relacionadas a prácticas sostenibles. Cabe recalcar que a pesar de que existen trabajos de grado sobre la cascarilla de arroz en la biblioteca de la Universidad El Bosque, no hay ninguno que elabore un biocomposito con este residuo, es por eso que el tema propuesto es novedoso por su desarrollo y propuesta, además de aportar conocimiento científicos con el progreso y cumplimiento del proyecto.

7. Planteamiento del problema

El arroz es un grano de alimento básico para más de la mitad de la población mundial y se produce en 113 países (FAO, 2004). En Colombia el arroz, es el tercer cultivo que mayor se produce después del café y del maíz (Chica et al., 2016). Existen cinco zonas de producción, las cuales son: Zona Centro, Llanos orientales, Bajo cauca, Costa Norte y Santanderes (Fedearroz, 2006). Según indicadores del Ministerio de Agricultura (2017), la actividad económica de 211 municipios depende del 90% de la industria arrocería. La zona de mayor producción son los Llanos Orientales con un 45,3%, seguido de la Zona Centro con 26,5% y Bajo Cauca con un 15,9%. Para el año 2016, según el DANE en el cuarto censo nacional arrocería la producción de arroz fue de 2.971.975 toneladas en un área de 525.957 hectáreas (DANE, 2016).

Esta actividad produce los residuos agroindustriales más abundantes del mundo, los cuales son el tamo

y la cascarilla de arroz (Peñaranda et al, 2017). El tamo o paja de arroz es el tallo de la planta, el cual se genera al momento de la recolección de los granos de arroz (Sierra & Mejía, 2015). De acuerdo con la FAO en el año 2014 la producción mundial de este subproducto estuvo entre 741- 1.110 millones de toneladas, De igual manera, la cascarilla de arroz es una fibra vegetal que recubre el grano y se genera en el proceso de desgranado (Cadena & Bula, 2002). Generando aproximadamente 123 millones de toneladas (Llanos et al., 2016). Sin embargo, en Colombia la producción de los residuos de arroz se genera en mayor proporción que el mismo arroz que se obtiene, es decir, de 2.463.689 de toneladas de grano de arroz al año, alrededor de 6.282.407 toneladas son de residuos agroindustriales, 5.789.669 toneladas de tamo de arroz y 492.738 toneladas de cascarilla de arroz (Núñez, 2012).

Estos subproductos poseen una biomasa lignocelulósica compuesta por polímeros, los cuales hacen que exista una difícil degradación (Sánchez et al., 2010). Igualmente, poseen una densidad baja, por lo que al acumularse ocupa grandes espacios (Prada & Cortés, 2010). Es por eso que, gran parte de estos subproductos son trasladados a los rellenos sanitarios o son incinerados a cielo abierto, por lo que generan gases de efecto invernadero y afectan la calidad del ambiente y la salud pública (González & Adab, 2017). Actualmente, en Colombia el tamo no ha tenido tantas aplicaciones en la reincorporación de éste en procesos productivos, a diferencia de la cascarilla de arroz, la cual ha tenido diversos usos. Se estima que menos del 5% del total de los residuos de la cascarilla se usa en establos, avicultura, jardinería y en otros manejos que no requieren del total de la biomasa (Piñeros, 2014); situación que evidencia que los residuos o subproductos del cultivo de arroz no han tenido potenciales usos que traigan beneficios para los productores y el entorno de este (Sierra & Mejía, 2015).

Sumado a esto, la falta de conocimiento en temas de educación ambiental (Rengifo, Quitiaquez & Mora, 2012) y el desaprovechamiento de estos residuos agroindustriales con potencial de incorporación a un nuevo proceso productivo, han anulado la posibilidad de que se consolide una verdadera cultura de conservación del ambiente, que propenda por el manejo correcto de los residuos generados en este tipo de actividades productivas (Rodríguez & Fernández, 2010). Adicionalmente, los actores involucrados en el proceso del arroz, en este caso agricultores y molinos procesadores del grano sólo se enfocan en la producción del grano de arroz como producto final, dejando de lado y no prestando interés a los subproductos generados y desechados en el proceso de producción, lo que refleja el desconocimiento de las propiedades y la utilidad de reaprovechamiento que se le podría dar a los mismos residuos (Cerón, 2014).

El municipio Paz de Ariporo, ubicado en el Departamento de Casanare es uno de los principales productores de arroz, ya que se encuentra en la zona de los Llanos Orientales, la cual posee el 19,3% de las unidades productoras de arroz en Colombia (Fedearroz, 2017). Este municipio tiene población vulnerable, considerando que al año 2011 la población con necesidades básicas insatisfechas fue de 43,56% (Secretaría de Salud Municipal, 2017), resaltando que, al hacer una relación respecto a los datos expuestos de producción de arroz, Paz de Ariporo representa el 35% de la producción anual nacional de arroz. Es por esto que, se requiere un óptimo aprovechamiento de los residuos agroindustriales como la cascarilla y el tamo provenientes del cultivo de arroz, debido a que pueden tener un valor agregado gracias a sus componentes y propiedades, lo que puede contribuir a mejorar la calidad de vida de la población vulnerable de dicho municipio.

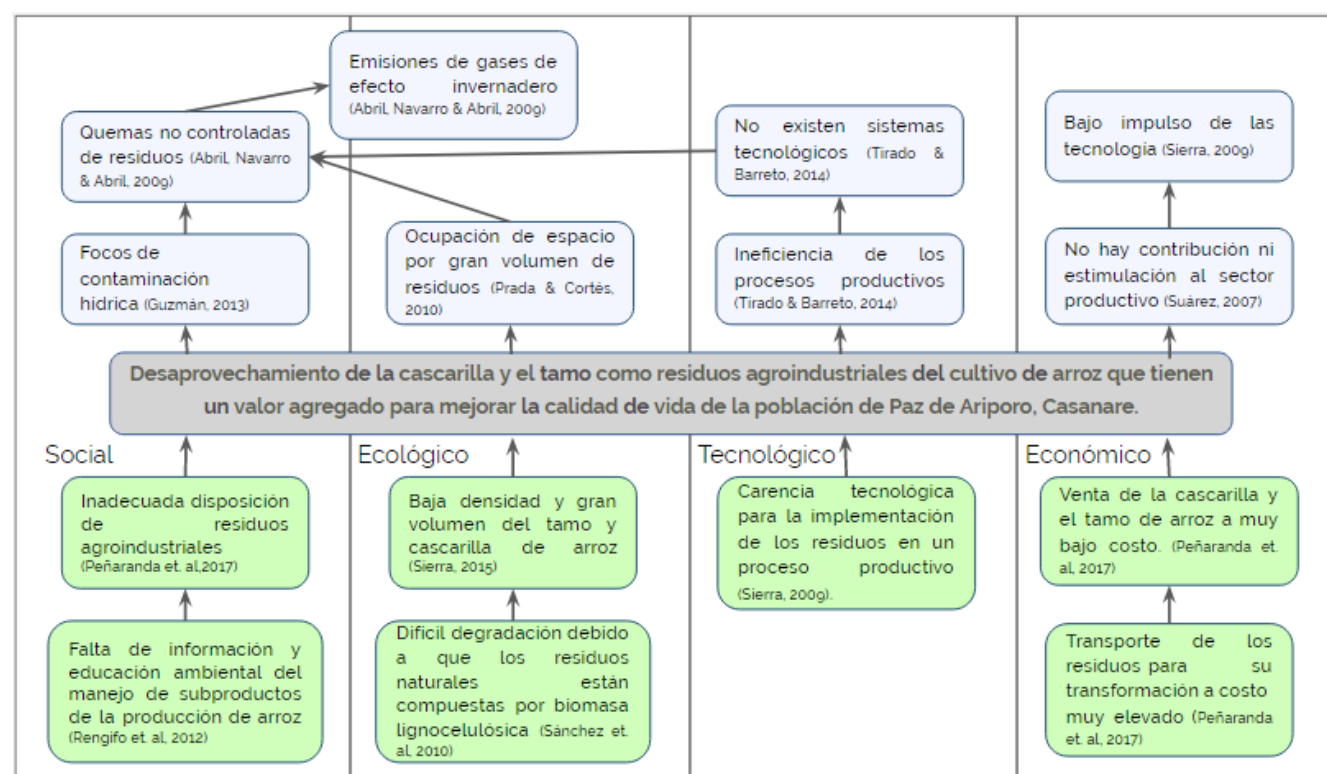


Figura 1. Árbol de problemas.
Fuente: Autores con base en referencias citadas.

8. Justificación

Actualmente, la reincorporación de residuos agroindustriales es una alternativa sustentable para dar solución al desaprovechamiento y la contaminación generada por la disposición final que tienen estos residuos (García & Mendiola, 2015), ya que estos poseen un alto potencial para ser aprovechados en la elaboración de nuevos productos, dándoles un valor agregado y recuperando las condiciones ambientales alteradas (Vargas & Pérez, 2018). Lo anterior, considerando que en el ámbito nacional no se hace uso de los residuos como la cascarilla y el tamo para la elaboración de biocompositos, por lo que es necesario conocer la potencialidad que tienen dichos residuos en la elaboración de materiales para construcción (Sierra, 2009). Esto, teniendo en cuenta que la elaboración de un biocomposito, basado en una fibra natural y una matriz polimérica, es una alternativa novedosa que puede llegar a ser más viable que los compuestos tradicionales (sintéticos) (Roig, 2015), debido a que ofrecen una elevada resistencia

mecánica con respecto a su densidad, así como también resistencia a la degradación y a la corrosión (AIMPLAS, 2013).

Sumado a esto, este proyecto está enfocado en aportar al cumplimiento de 3 de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) enunciados por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2016), los cuales son: el objetivo nueve, “Industria, Innovación e Infraestructura”, el cual impulsa la inversión en infraestructura y la innovación y por medio de este proyecto se promueve el desarrollo sostenible, generando alternativas a problemáticas ambientales actuales en la industria agrícola, además de realizar un aporte investigativo y social; el número once, “Ciudades y Comunidades Sostenibles”, donde se contempla que para lograr un desarrollo sostenible se requiere transformar la forma en que se construye, contribuyendo así, de forma directa al modelo constructivo de Viviendas de Interés Social, mediante el principio de fabricación de materiales de la construcción sostenible; por último el objetivo número doce, “Producción y Consumo Responsables”, donde se plasma la búsqueda de una gestión eficiente de los recursos naturales, aportando a la reincorporación de residuos naturales y poliméricos con un escaso aprovechamiento involucrándose en un nuevo proceso productivo en el cual se ayuda a generar una producción responsable y sostenible, reduciendo así la huella ecológica ocasionada por estos residuos (CCCS, 2017).

Es importante resaltar que el proyecto está contemplado dentro de la teoría de construcción sostenible, puesto que uno de los aspectos fundamentales de dicha teoría es la elaboración de materiales con un bajo impacto en el ambiente, generando una buena gestión y reutilización de los recursos naturales (Gutierrez, 2008). Según la Editorial Construir, entre las principales ventajas ambientales que tienen las infraestructuras con materiales sostenibles se destacan la protección del ecosistema, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, el mejoramiento de la calidad del aire y del agua, la reducción de las corrientes de desechos, la conservación y restauración de los recursos naturales, así como el control de temperatura, entre otros aspectos (Editorial Construir, 2017).

De igual manera, la investigación tiene un aporte positivo al ámbito social de la zona, pues está pensado en la elaboración de un biocomposito con propiedades térmicas que mejoren la calidad de vida de los habitantes que acceden a los proyectos de VIS desarrollados por el municipio Paz de Ariporo, Casanare. Y a su vez, se estaría dando un valor funcional a este residuo agrícola, mediante la elaboración de materiales para la construcción de viviendas.

Aunado a esto, la elaboración de un material basado en residuos naturales y un residuo polimérico, trae consigo un avance en el aspecto científico, debido a la innovación, investigación y aplicación de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de Ingeniería Ambiental, cuyas habilidades son las de integrar la tecnología y las ciencias, para afrontar y resolver problemas en materia ambiental, teniendo un compromiso social para mejorar la calidad de vida de la población involucrada. Del mismo modo, se pretende hacer uso de los conocimientos científicos, así como de la información y experiencias obtenidas en el espacio del semillero de investigación ARPEMS (Aprovechamiento de Residuos Poliméricos en la Elaboración de Materiales Sostenibles) de la Universidad El Bosque, sobre los lineamientos de la construcción sostenible y la elaboración de materiales sostenibles a partir de residuos.

9. Objetivos

General

Evaluar un biocomposito elaborado con residuos agroindustriales provenientes del cultivo de arroz (cascarilla y tamo) junto con un residuo polimérico, y su potencial aplicación en Viviendas de Interés Social en el municipio Paz de Ariporo, Casanare.

Específicos

- Realizar un diagnóstico ambiental en el municipio Paz de Ariporo, Casanare relacionado con la generación del residuo agroindustrial del cultivo de arroz.
- Elaborar un biocomposito a partir de los residuos agroindustriales del cultivo de arroz y una matriz polimérica.

- Caracterizar física y químicamente el biocomposito elaborado.
- Establecer la potencial aplicación dentro del modelo constructivo del biocomposito obtenido mediante el diseño experimental.

10. Marco de referencia

10. 1. Estado del arte

En los últimos años tanto en el ámbito nacional como internacional ha existido un aumento en estudios sobre la fabricación de materiales compuestos mediante el uso de recursos naturales para disminuir el impacto ecológico existente, considerando los residuos de fibras para tal fin, así como también para la elaboración de resinas termoplásticas, extracción de ligninas, etanol, celulosa, entre otras (Tronc et al., 2007; Barragón, 2008). Igualmente, las fibras de origen vegetal llaman la atención como una alternativa para aplicaciones industriales como refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica en relación a sus mejores propiedades respecto a otros materiales con ese mismo uso, su bajo costo y peso ligero (Velásquez et al., 2015). Dicho lo anterior y teniendo en cuenta que, el tamo y la cascarilla son residuos agroindustriales de la producción de arroz, obtenidos de manera masiva del cultivo y de las operaciones de molienda (Bassyouni & Waheed Ul Hasan, 2015), dentro de este marco se realiza una revisión bibliográfica para conocer los avances e información relacionada con el aprovechamiento de estos residuos.

Por un lado, según sustentan estudios el tamo de arroz además de ser uno de los residuos lignocelulósicos, es decir, que está compuesto por celulosa y lignina, es uno de los más abundantes en el mundo, con aproximadamente 1000 millones de toneladas al año (Binod et al., 2010), que habitualmente tienen una eliminación mediante su quema, la cual genera gases de efecto invernadero y daño en la salud pública

(Oanh et al., 2015). Por otro lado, la aplicación como alimento para ganado tiene ciertas limitaciones considerando que su composición hace realmente difícil la biodegradación y digestibilidad en los animales (Nguyen, 1998). Actualmente, como alternativa, el uso que se le da a este residuo en el contexto de la agricultura es su incorporación al suelo como abono para que de este modo se logre el reciclaje de nutrientes, evitando la incorporación de patógenos al sistema y de igual manera la inmovilización de elementos como el nitrógeno (Cruz et al., 2017).

En el ámbito mundial, en Egipto se desarrolló un material de construcción sostenible, un ladrillo compuesto de tamo y cemento para aplicarlo en programas de viviendas de bajo costo; esto como una solución a la contaminación atmosférica y problemas de salud en las ciudades por la quema de grandes cantidades de este residuo abandonado. De igual manera, se le realizaron pruebas mecánicas y de resistencia térmica, en donde se encontró que el material compuesto se puede utilizar en construcciones nuevas, así como en edificios existentes para mejorar el aislamiento térmico. Además, tiene un bajo costo comparado con los materiales tradicionales (Mansour et al., 2007). Asimismo, el tamo de arroz ha sido utilizado en la fabricación de materiales compuestos con matrices poliméricas como polipropileno (Grozdanov et al., 2006), poliestireno (Ismail et al., 2011) y matrices biodegradables como el poli (PoliHidroxi-ButilValerato), más conocido como PHBV (Buzarovska et al., 2008), en donde se estudiaron sus propiedades mecánicas, térmicas y químicas, cuyos resultados mostraron que el tamo de arroz podría utilizarse como un refuerzo ecológico biodegradable en compuestos poliméricos, debido a que poseen una resistencia aceptable hasta un contenido de tamo del 30%. Del mismo modo autores como Grozdanow et al. (2006) y Yang et al. (2014) afirmaron que las propiedades mecánicas del material compuesto pueden mejorarse mediante la modificación del contenido de este residuo.

En Colombia existen investigaciones sobre usos que podría tener el tamo de arroz, uno de éstos desarrollado en la Universidad de la Salle, donde fue utilizado en la elaboración de tejidos artesanales, puesto que cuenta con características que permiten realizar cuerdas, mediante una máquina tejedora artesanal para el aprovechamiento de residuos naturales, el fique y la hoja de palma (Sierra et al., 2015). En otro estudio, se utilizó su ceniza como material alternativo para la sustitución del material de relleno (cuarzo) utilizado para la manufactura de gres porcelánico, en donde se determinó que la ceniza de tamo sustituye un 25% la composición del cuarzo debido a sus propiedades físicas (Delgado et al., 2015).

Por otra parte, la cascarilla de arroz ha sido estudiada con el fin de ver qué tipo de aprovechamiento se le puede dar, considerando la cantidad excepcional de sílice que contiene, lo cual la hace resistente a la biodegradación y la penetración de la humedad (Bassyouni & Waheed Ul Hasan, 2015). De manera global, los usos que ha tenido ha sido en la producción de electricidad por su propiedad de combustión; en la fabricación de cerámicos y tejas para techo, en la elaboración de muebles o divisiones de paredes como sustituto de la madera por ser un polímero sintético; en la fabricación de bloques de concreto ligero y concreto de alta resistencia, puesto que posee propiedades como material de bajo peso y costo, de fácil manejo, aislante termoacústico y también como sustrato hidropónico por ser liviano, de buen drenaje y con una baja tasa de descomposición (Molina, 2010). Como evidencia de ello, un estudio hecho en Egipto caracterizó y evaluó dos tipos de solventes hechos de cáscara de arroz para la remediación ambiental, en donde se encontró que la eficiencia de ambos solventes en la remoción es cerca del 100% de seis metales pesados (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd y Pb) los cuales se encuentran en el drenaje que contiene la agricultura y las aguas residuales (Daifulla et al., 2003).

En la misma línea, una investigación demuestra que la cascarilla de arroz podría tener una utilización como combustible siendo una alternativa tecnológica puesto que tiene características que así lo permiten,

como su poder calorífico de 3650 Kcal/kg, contenido de carbono de 39,85% y porcentaje de humedad de 6,41%. También sugiere que la cascarilla de arroz funciona para la fabricación de aislantes térmicos por su conductividad térmica $0,036\text{W/m}\cdot\text{k}$ y conformación de cementos para incorporarlos en procesos constructivos (Quiceno & Mosquera, 2010).

En la Fundación Universidad de América de Bogotá D.C. la cascarilla se ha utilizado en la elaboración de materiales compuestos; se evaluó su aplicación para la producción de postes de uso agropecuario con matrices de polietileno y polipropileno, en donde se observó una contribución considerable del contenido de fibra vegetal sobre la densidad del material, haciendo de este un producto liviano y de fácil manejo. Además, se sugiere combinar la cascarilla de arroz junto con otro tipo de fibra natural para que exista una mejor adhesión con la matriz polimérica, así como la disminución del tamaño de la fibra vegetal para que exista una mejor adhesión (Baller & Ríos, 2016). Lo anterior se comprueba mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) en un estudio realizado en Irán, en donde se utilizó cascarilla de arroz trozada hasta en un 40% en una matriz de polipropileno (PP), y se obtuvo una dispersión y adhesión buena entre los componentes, al igual que el aumento en las propiedades mecánicas del compuesto como el módulo de atracción y de flexión (Razavi-Nouri et al., 2006).

De manera complementaria, un estudio realizado en Arabia Saudita, afirma que el tamo y la cascarilla de arroz son residuos agrícolas subutilizados con potencial de uso en compuestos de polímeros reforzados como PVC, Polietileno y Polipropileno, puesto que mejoran las propiedades de los compuestos resultantes y que podrían ser una opción innovadora al uso de los recursos existentes. Dicho estudio analiza los métodos de prueba de las propiedades físicas y mecánicas de las fibras de tamo y cáscara de arroz, así como los tratamientos de superficie de las fibras y el uso de agentes de acoplamiento para la integración de las fibras de tamo o cascarilla en una matriz polimérica. Los resultados obtenidos informan sobre la importancia del porcentaje de humedad de los compuestos puesto que las fibras son de naturaleza hidrófila (gran contenido de humedad) lo que no permite una inserción en la matriz del polímero puesto que esta es hidrófoba; otro aspecto a tener en cuenta según los autores es el tamaño de las fibras, en donde el aumento del tamaño de partícula del tamo es directamente proporcional a la resistencia a la tracción del compuesto, mientras que el aumento del tamaño de cascarilla de arroz disminuye la resistencia a la tracción. Igualmente, indican que la temperatura de descomposición del tamo y la cascarilla es 160° y 180° C respectivamente (Bassyouni & Waheed Ul Hasan, 2015).

Vinculado al concepto de biocompositos, estudios realizados en Colombia han analizado las propiedades térmicas, mecánicas y morfológicas de algunas fibras naturales como damagua, palma estera, caña flecha, iraca y güérregue con el propósito de evaluar su potencial como material de refuerzo en biocompuestos con matrices poliméricas (Mora & Ramón, 2017). Autores como Gómez (2009) afirman que las fibras vegetales pueden ser utilizadas en materiales compuestos de matriz polimérica como refuerzo, especialmente en aplicaciones en donde no se necesitan de altos valores de las propiedades mecánicas (Gómez, 2009). De igual manera, se encuentran estudios que proponen la generación de innovadores materiales a base de recursos vegetales, reciclados, provenientes de residuos y con un menor impacto ambiental por el bajo consumo energético y por biodegradabilidad, asimismo, aquellos que tienen un análisis previo sobre el ciclo de vida, también conocido como ecomateriales. En la Universidad Piloto se encuentra una guía de materiales sostenibles con sus principios para que profesionales como arquitectos e ingenieros lo apliquen en su profesión (Tamayo, 2012), así como una Guía para el diseño de edificaciones sostenibles de la Universidad Pontificia Bolivariana (Elejalde, 2015).

Por todo esto, se comprueba que hasta el presente, en Colombia no hay estudios que evidencien el uso de la cascarilla y el tamo juntos como fibra natural en la elaboración de un material compuesto para la implementación en la construcción de Viviendas de Interés Social.

10. 2. Marco Conceptual

Actualmente, el apresurado desarrollo de la industria y el incremento de la generación de productos para el beneficio humano hace que se deriven residuos o subproductos; entendiendo que un “residuo” es aquel que puede tener o no valor comercial, y que un “subproducto” es un producto secundario con valor agregado como resultado de un proceso industrial (Saval, 2012). Como ejemplo de esto, la agroindustria, la cual produce alimentos mediante el proceso productivo agrícola e industrial, además de esto, origina en la cosecha y en el procesamiento de los productos residuos o subproductos, entre los cuales están los provenientes de las frutas, verduras, semillas, raíces, hojas, tubérculos, entre otros (Yepes et al., 2008). Es por esto que, los residuos agroindustriales pueden encontrarse en estado sólido o líquido y no tienen ningún tipo de utilidad en el proceso que los genera, pero sí tienen potencial para su aprovechamiento o transformación con valor económico, que puede ser de interés comercial o social (Saval, 2012). Por un lado, los residuos naturales están disponibles en grandes cantidades y están compuestos principalmente de lignina, celulosa y hemicelulosa, sin embargo, la composición química depende de factores tales como las características, los métodos del cultivo, cosecha y procesamiento que tengan (Cabrera et al., 2016).

Una de las actividades agroindustriales con mayor presencia en el mundo y con una gran importancia en términos alimentarios es la producción de arroz (Andrade et al., 2014). El proceso productivo del arroz, comienza con el cultivo de arroz, el cual depende de la zona donde se lleve a cabo y del sistema de cultivo que el productor use. En primera instancia se prepara el terreno para garantizar las condiciones adecuadas y obtener un potencial rendimiento del suelo; luego se siembra la planta de arroz en distintos meses del año para aprovechar las condiciones climáticas como la radiación solar y las temperaturas adecuadas para la germinación, crecimiento y desarrollo de la planta. Para el crecimiento de la planta debe haber un riego intenso en la zona de cultivo, puesto que el agua suministra nutrientes indispensables para su crecimiento. Seguido de esto, se encuentra la etapa de cosecha, en donde se completa el ciclo biológico de la planta de arroz, el grano está maduro y tiene un contenido de humedad óptimo de 22 a 25%. Posteriormente se recolecta el grano, generalmente mediante un proceso mecánico con combinadas, que son las máquinas que se usan para tal fin; sin embargo hay formas de cosecha de grano de arroz como la manual y semi-mecanizada, en donde esta última se realiza con trilladoras. En la cosecha, se corta la planta y se recolecta el grano, más conocido como arroz paddy verde; en esta etapa de producción se generan subproductos como el tamo de arroz, granos partidos, cáscaras, semillas de malas hierbas, entre otros (Cardozo, 2018; Fedearroz, 2015; Asociación Correntina de Plantadores de arroz, 2013).

El arroz paddy verde, es el grano sin descascarar, que se obtiene después de su recolección y el que posteriormente se lleva al proceso industrial del arroz. Este proceso consta del secado, en donde se hace una pre-limpieza, un posterior secamiento y almacenamiento; seguido de esto, se encuentra el proceso de trilla en el cual se descascara el grano, se pule y se clasifica según el tamaño y color. Esto depende del tipo de arroz que se obtiene el cual puede ser: arroz integral, que solo ha sido descascarado y no entra a la etapa de pulimiento; el arroz excelso, el cual es el arroz que comúnmente se obtiene de todos los procesos; y el arroz parabolizado que se obtiene después de un proceso de cocción húmeda y secado del arroz con cáscara. En esta etapa se generan subproductos como la cascarilla de arroz, polvo, ramas y pequeñas piedras. Por último, se encuentra el empaquetado para su comercialización (Flor Huila, 2018).

Las plantas de arroz (*Oryza sativa*) se componen de raíces, tallos, hojas, flores y semillas. Las raíces son delgadas, filamentosas y fibrosas, hay raíces seminales o de la corona, las cuales nacen en la radícula y son temporales; y las raíces adventicias o de nodales, poseen una libre ramificación y se originan de las partes inferiores del tallo. El tallo, también conocido como el tamo o la paja de arroz, es cilíndrico y está formado por nudos y entrenudos alternados, más cercanos unos a otros en la parte inferior, normalmente tiene una longitud de 1 a 2 m que depende de la especie de arroz y del método de cultivo, el tallo principal o central se llama macollo. Las hojas salen de los nudos de los tallos, las cuales son largas, planas y alternas. Entre la vaina, la cual es la parte baja de la hoja, y el limbo hay una lígula membranosa que tiene cirros largos y suaves. Las flores, son de color verde, las cuales brotan de los tallos, unos más pequeños que otros, conocidos como espiguillas, cada una es uniforme y en conjunto forman una panoja grande. Por último, las semillas son el grano (ovario maduro), el cual está formado por cariopse y la cáscara que lo recubre. El arroz con cáscara, se conoce industrialmente como también arroz paddy (Franquet & Borrás, 2004; Olmos, 2006; Bassyouni & Waheed Ul Hasan, 2015).

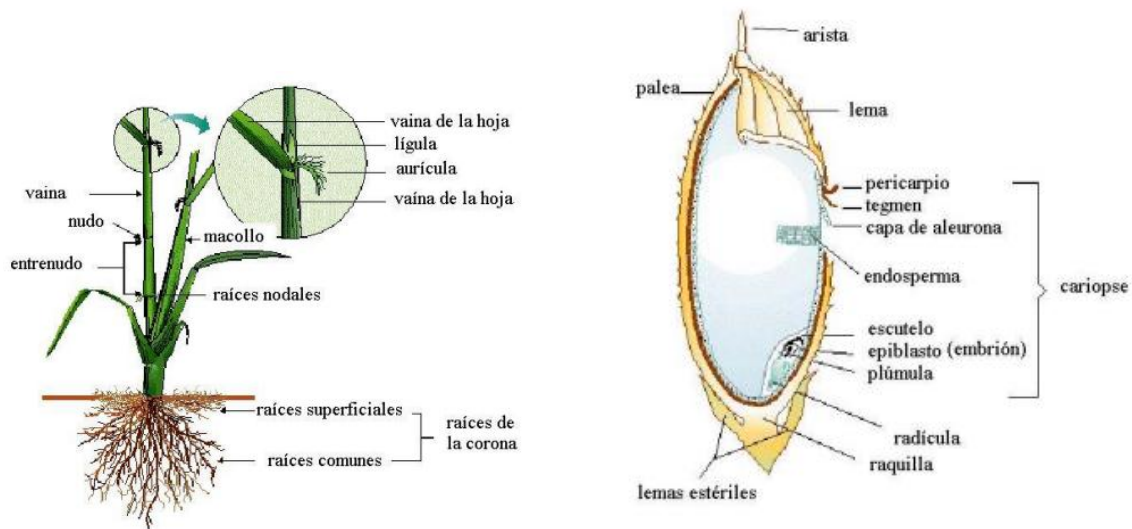


Figura 2. Morfología de la planta de arroz.
Fuente: Olmos (2006).

La cascarilla de arroz es quebradiza, abrasiva, con baja densidad, de color pardo rojizo y está compuesta principalmente por celulosa, sílice, cenizas, carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, azufre extracto no nitrogenado y humedad (Robayo et al., 2013; Prada & Cortés, 2010). La cascarilla de arroz tiene una densidad de 1125 kg/m³ (Ummah et al., 2015) y una composición de 45% de celulosa, 19% de hemicelulosa, 19,5% de lignina, 5-20% de sílice y 15% de cenizas. Mientras que, el tamo tiene una composición aproximada de 38,3 % de celulosa, 28% de hemicelulosa, 14,9% de lignina y 18,8% de cenizas. Teniendo en cuenta esto, el componente principal del tamo y la cascarilla de arroz es la celulosa, un polisacárido de cadena larga que consiste en 7000–15,000 monómeros de glucosa. El tamo de arroz es un compuesto reforzado de fibras de celulosa alineadas para formar microfibrillas con un diámetro de 3 a 4 nm, unidas por hemicelulosa y lignina para formar macrofibrillas con un diámetro de alrededor de 10 a 25 nm (Waheed Ul Hasan, 2015).

Los compuestos están formados por dos o más fases distintas, que cuando se unen dan como resultado un material con propiedades diferentes y muchas veces mejoradas, a la de los componentes individuales. Un material compuesto tiene una matriz continua, en la cual se introduce una o más fases de refuerzo o discontinuas (Fowler et al., 2006). De aquí se derivan los biocompuestos, los cuales son materiales compuestos que contienen una o más fases derivadas de un origen biológico. Generalmente éstos contienen una matriz y un refuerzo que se acoplan para potencializar sus propiedades. La matriz puede ser constituida por polímeros tanto naturales como sintéticos, idealmente derivados de recursos naturales tales como aceites vegetales o almidones; sin embargo, por lo general se usan polímeros sintéticos derivados de material fósil, los cuales predominan y pueden ser termoplásticos "vírgenes" o reciclados como el polietileno, polipropileno, poliestireno y cloruro de polivinilo, o termoestables vírgenes tales como poliésteres insaturados, fenol formaldehído, isocianatos y epoxis. El refuerzo, puede comprender igualmente fibras vegetales como algodón, lino, cáñamo y similares, o fibras de madera reciclada o papel de desecho, inclusive subproductos de cultivos alimenticios o agroindustriales (Fowler et al., 2006; Hudecki et al., 2019).

Consiguiente a esto se desarrollan procedimientos y materiales más eficaces basados en el concepto de biocompuestos, para su implementación en la construcción, especialmente de infraestructuras (viviendas, edificaciones, etc). Dichos materiales, son sustancias con cualidades físicas y químicas como dureza, fragilidad, flexibilidad, aislación térmica, transparencia, impermeabilidad, entre otras, que en conjunto se necesitan para fabricar un objeto con aplicación en el proceso de construcción. Estos materiales por lo general son duraderos, necesitan un escaso mantenimiento y pueden reutilizarse, reciclarse o recuperarse, considerando que tanto la fabricación de éstos como la implementación generan un menor impacto ambiental (Díaz et al., 2011). Basado en el respeto en el ambiente, los materiales de construcción sostenible constituyen una manera de satisfacer las necesidades de vivienda e infraestructura del presente sin que se vea afectada la capacidad de satisfacer las necesidades de futuras generaciones, tomando en cuenta siempre tres ejes: factores ecológicos, socioeconómicos y culturales (Salas & Oteiza, 2009). Teniendo en cuenta lo anterior, dichos materiales se pueden implementar en las viviendas de interés social, entiendo que son las que se construyen y ejecutan para darle garantía al derecho de vivienda de aquellos hogares que tienen ingresos muy bajos (Minvivienda, 2009).

10. 3. Marco Teórico

Debido al enfoque de este proyecto se consolidaron las teorías principales que sirvieron como eje principal y de apoyo en el desarrollo de este. El Desarrollo sostenible, adoptado en 1987 por la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo en el libro “nuestro futuro común”, también conocido como el “reporte de la Comisión Brundtland” se define como *“el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”* definiéndolo también *“un objetivo factible en todo el mundo, ya fuese a escala local, nacional, regional o internacional”* (ONU, 2002). Como dice Carrizosa (1998), el desarrollo sostenible *“es aquel que hace perpetua la elevación de la calidad de vida de las sociedades y asegura la perpetuidad de la vida humana en la tierra”* (Carrizosa, 1998). Es decir, son intereses económicos que pretenden un desarrollo económico y la preservación del ambiente (Bergh & Jeroen, 1996), considerando “los límites de sostenibilidad”, es decir, las limitaciones de los recursos naturales y la capacidad de carga que tienen los ecosistemas (Farrell & Hart, 1998).

En esta misma línea se encuentra la Teoría de Ingeniería ecológica siendo “*la integración de las ventajas humanas y las funciones ambientales por medio del manejo de los ecosistemas; el diseño y mejoramiento de las soluciones ingenieriles en la frontera entre la economía, la tecnología y los ecosistemas; el aprovechamiento de la resiliencia, la auto organización, la autorregulación y las funciones de los sistemas naturales para fines y beneficios para los humanos*” (Gallopín, 2003). En los años sesenta se planteó establecer un puente entre la ingeniería y la ecología, buscando satisfacer necesidades de la sociedad y al mismo tiempo de la naturaleza, lo que se denominó Ingeniería Ecológica, la cual ha evolucionado y se ha enfocado en la aplicación los conocimientos de la ingeniería para estudiar los sistemas complejos como por ejemplo, mediante el diseño de ecosistemas artificiales encaminados al tratamiento de aguas residuales y la restauración de ecosistemas degradados, hecho que se ha expandido a todas las ingenierías y a la industria en donde el ahorro de energía, de recursos naturales, la ecoeficiencia y la conservación del ambiente son también sus preocupaciones (Guhl, 2015).

A modo de relación entre las teorías expuestas anteriormente, en la continuidad y finalidad del proyecto se aborda la Construcción sostenible la cual plantea de forma integral los problemas ecológicos, sociales y económicos de un edificio en el contexto de su comunidad, mediante el consumo de recursos durante el ciclo de vida, los impactos ambientales, la salud de los ocupantes y los ecosistemas locales (Kibert, 2016). En otras palabras, la construcción sostenible analiza todo el ciclo de vida: desde el diseño arquitectónico del edificio y la obtención de las materias primas, hasta que éstas regresan al medio como residuos (Gutiérrez, 2008). En este orden de ideas, la construcción sostenible, es el desarrollo de la construcción convencional, pero con una responsabilidad ambiental por parte de todos los participantes, en donde se consideran las diferentes alternativas en el proceso de construcción, en favor de la minimización del agotamiento de los recursos, evitando la degradación ambiental y proporcionando un ambiente saludable, no solo en el interior de las edificaciones sino también en su entorno (Kibert, 1994).

En 1994, una organización internacional de redes de investigación de la construcción, el Grupo de trabajo 16 del Consejo Internacional del Trabajo (CIB), definió la construcción sostenible como “*crear y operar un entorno de construcción saludable basado en la eficiencia de los recursos y el diseño ecológico*”, estructurando 7 principios de construcción sostenible que contribuyen a la toma de decisiones durante cada fase a lo largo de todo el ciclo de vida de la construcción, desde el proceso de diseño (planificación), hasta la eliminación (demolición), dichos principios son: Reducir el consumo de recursos, reutilizar, reciclar, proteger la naturaleza, eliminar los tóxicos, aplicar los costes del ciclo de vida y centrarse en la calidad; estos principios, también evalúan los componentes y otros recursos imprescindibles para la construcción. Además, se aplican a los recursos necesarios para crear y operar el entorno construido durante todo su ciclo de vida: tierra, materiales, agua, energía y ecosistemas (Kibert, 2016).

De modo similar, el autor Goodhew en su libro “Sustainable construction processes” (2016), hace una categorización de cada uno de los aspectos generales del proceso de construcción y su relación con la sostenibilidad; uno de ellos es que la elección de los sistemas garantice que los servicios de construcción y los materiales utilizados a lo largo de la vida útil del edificio sean benignos en lo que respecta a la salud de los ocupantes y el entorno (Goodhew, 2016).

10. 4. Marco Normativo

10.4.1. Normas legales

Tabla 1. Normas legales que aplican al proyecto

Norma legal	Propósito	Sesiones que aplican al proyecto
Constitución Política de Colombia 1991	Fortalecer la unidad de la Nación y asegurar a sus integrantes la vida, la convivencia, el trabajo, la justicia, la igualdad, el conocimiento, la libertad y la paz, dentro de un marco jurídico	<i>Art 51. Todos los colombianos tienen derecho a una vivienda digna</i> <i>Art 69. El Estado fortalecerá la investigación científica en las universidades oficiales y privadas y ofrecerá las condiciones especiales para su desarrollo.</i> <i>Art. 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano</i>
Guías Ambientales para Sector Plásticos. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, Colombia, Julio de 2004	Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y Manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo	Descripción de residuos poliméricos y aplicación de residuos recuperados
LEY 1537 del 20 de Junio de 2012	"Por la cual se dictan normas tendientes a facilitar y promover el desarrollo urbano y el acceso a la vivienda y se dictan otras disposiciones"	Promover y facilitar el acceso a la vivienda
Decreto 1285 del 12 de Junio de 2015	Lineamientos de construcción sostenible para edificaciones.	<i>Artículo 2.</i> Mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes y la ejecución de acciones con responsabilidad ambiental y social.

Resolución 0549 del 10 de Julio de 2015	Reglamento colombiano de construcción sostenible, es una normativa que establece los parámetros y lineamientos técnicos en relación con el uso de los recursos naturales en las nuevas edificaciones, presentado por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, relacionado con el uso eficiente del agua y la energía en las renovaciones urbanas. Pretende reducir las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por el sector de la construcción.	Artículo 2. Medidas pasivas para la selección de materiales.
---	---	--

Tabla 2. Normas legales que aplican al proyecto continuación

Norma legal	Propósito	Sesiones que aplican al proyecto
CONPES 3919, Política Nacional de Edificaciones, del 23 de marzo de 2018.	Impulsa la inclusión de los criterios de sostenibilidad dentro del ciclo de vida de las edificaciones, mediante la transición, seguimiento y control, e incentivos financieros para la implementación de modelos sostenibles.	Toda la política se alinea al proyecto, pues da cumplimiento a los compromisos de la agenda internacional de desarrollo sostenible, dándole énfasis a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 9 y 11, ciudades y comunidades sostenibles y garantizar modalidad de consumo y producción sostenible.

Fuente: Autoras con referencia del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y el Departamento Nacional de Planeación

10.4.2. Normas Técnicas

Tabla 3. Normas técnicas que aplican al proyecto

Norma técnica	Propósito	Sesiones que aplican al proyecto
Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana del Ministerio de Ambiente	Contiene un conjunto de propuestas de gestión ambiental, proponiendo el manejo del suelo, agua, energía y materiales, evitando problemas ambientales en la construcción de vivienda urbana.	<i>Eje temático:</i> Materiales Usos de materiales regionales, modulación de elementos de construcción, uso de materiales con menor impacto ambiental, etc.
Manual de especificaciones Técnicas Construcción	En esta guía se consignan los capítulos, que cubren las actividades que se realizan en la construcción de vivienda de interés social.	Actividad, definición de la actividad, materiales, normas y responsabilidades

Guías de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social	Las normas aplicables en el desarrollo De vivienda de interés social.	Manual de especificaciones técnicas de construcción. Recomendación buenas prácticas.
LEED (The Leadership of Energy and Environmental Design)	Certificado por la implementación de criterios sostenibles en todas las etapas del ciclo de vida de los edificios o construcciones, en el cual se busca mejorar el desempeño de las edificaciones y así mismo su impacto en el ambiente.	Cuenta con indicadores como los materiales y el uso del suelo, lo cuales tienen obtención de puntos claves para alcanzar el certificado, de acuerdo a su adecuada implementación, lo que aplicaría en este proyecto.

Fuente: Autoras con referencia del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), el Consejo de Construcción verde de los Estados Unidos (USGBC) y el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS).

Tabla 4. Normas técnicas que aplican al proyecto continuación

Norma técnica	Propósito	Sesiones que aplican al proyecto
Sistema de certificación CASA COLOMBIA	Herramienta clave para la implementación de estrategias de sostenibilidad en el segmento de vivienda social.	Manejo sostenible de los procesos constructivos, la comprensión del entorno y la especificación de materiales con atributos robustos sobre su impacto ambiental y social. • Categoría eficiencia en materiales (EM) • Categoría bienes (B)

Fuente: Autoras con referencia del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), el Consejo de Construcción verde de los Estados Unidos (USGBC) y el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS).

Por medio de la Tabla 1 y 2 se presentaron las normativas legales y técnicas aplicables al presente proyecto, haciendo énfasis en cuatro temas principales: Viviendas de Interés Social, residuos poliméricos, manejo de residuos agroindustriales en el cultivo de arroz y la construcción sostenible. Al realizar la revisión bibliográfica para el marco de referencia normativo se encontraron vacíos en legislación nacional e internacional en cuanto al manejo de los residuos agrícolas generados en cultivos de arroz, ya que no hay normativa que indique cuál debe ser el tratamiento de estos residuos y tampoco cuál debe ser la disposición final adecuada para los mismos, menos aún manuales de aprovechamiento o reincorporación de residuos de cultivos de arroz.

Por otra parte, en Colombia existe el sistema de certificación CASA Colombia el cual intenta adaptar un proceso similar al de la certificación LEED acorde al contexto colombiano, mediante la adopción de estrategias de sostenibilidad para viviendas de interés social. Cabe destacar que esta certificación tiene como una de sus categorías “bienestar”, en donde uno de sus lineamientos obligatorios es el confort térmico en interiores de acuerdo a las condiciones climáticas del lugar de aplicación; sin embargo, no hay una guía que permita entender la implementación de estos lineamientos en una zona con condiciones

climáticas específicas. De igual manera, CASA Colombia posee una categoría llamada “eficiencia en materiales” cuyos lineamientos no son obligatorios, pero buscan la utilización de materiales regionales y de bajo impacto ambiental (CCCS, 2018).

10. 5. Marco Geográfico

El municipio Paz de Ariporo se localiza al noroeste del departamento de Casanare, el cual se encuentra ubicado en la parte oriental del país, al noroccidente de la Orinoquia. El municipio está a una distancia aproximada de 96 Km de la cabecera municipal de Yopal, capital del departamento, y a 456 km de Bogotá D.C. (Chaparro, 2017). Paz de Ariporo limita al norte con el municipio de Hato Corozal, al sur con el municipio de Trinidad, al este con los Departamentos de Vichada y Arauca y al oeste con los municipios de Pore y Tárama. Posee una extensión de aproximadamente 13.800 Km², siendo uno de los municipios más grandes de Colombia, en donde tan solo 6,5 Km² corresponden al área urbana y 13.793,5 Km² al área rural (Alcaldía Paz de Ariporo, 2016). Tiene una altitud de 340 m.s.n.m, con una temperatura media de 27,4 °C, una temperatura máxima de 33,3°C, una temperatura mínima de 24,6°C y una humedad relativa de 70-90% (IDEAM, 2019), por lo cual se clasifica en un clima cálido húmedo según el Ministerio de Vivienda (2015).

Según el censo realizado por el DANE en 2005 la población era de 27.146 habitantes con una proyección al año 2019 de 26.237 habitantes (DANE, 2005) Sin embargo, a finales del año 2011 se reportaron en el Plan de Desarrollo Municipal 29.995 habitantes, siendo el 50,29% hombres y el 49,71% mujeres, de los cuales el 66,84% está ubicado en el casco urbano y el 31,16% en el área rural (Alcaldía Paz de Ariporo, 2011).

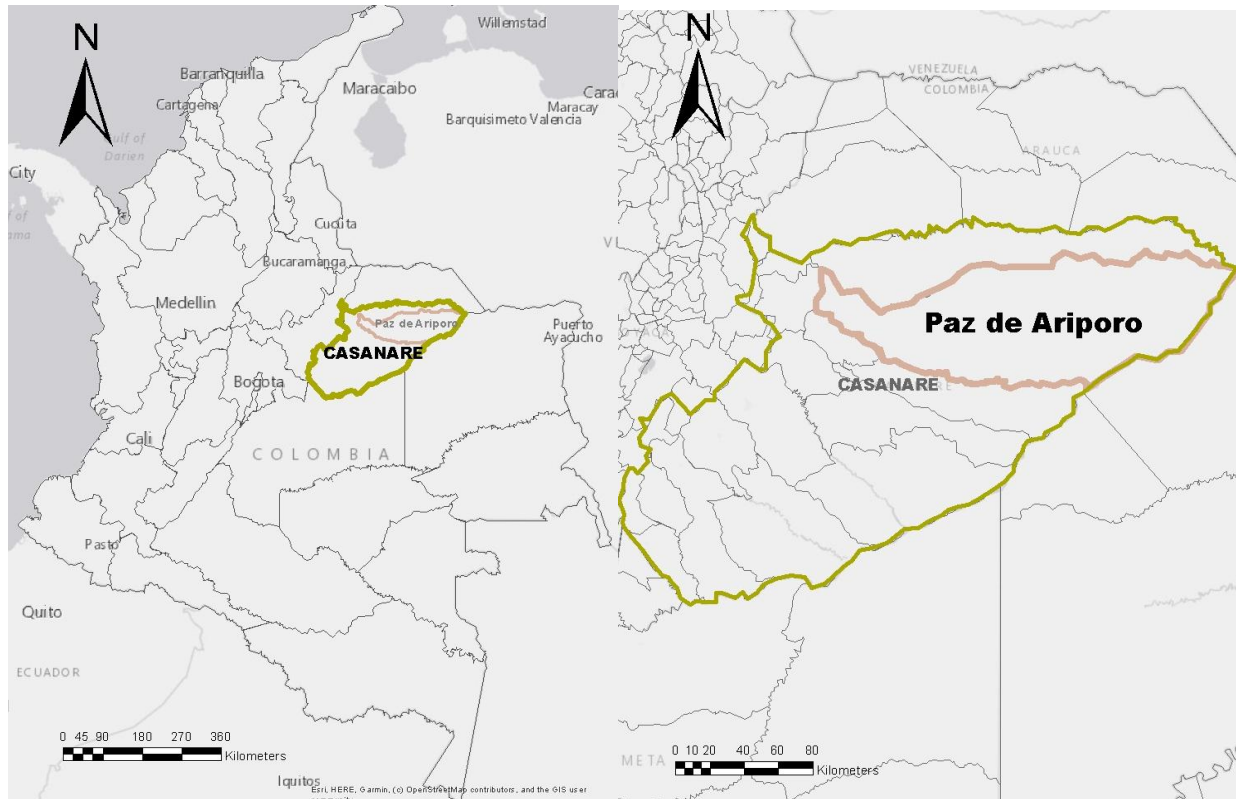


Figura 3 Localización del municipio.
Fuente: Autoras elaborado en ArcGIS.

El municipio se encuentra dentro de la zona de los Llanos Orientales, la cual se caracteriza por tener la mayor extensión de fincas arroceras del país, ya que posee el 19,3% de las unidades productoras de arroz (UPAs), las cuales equivalen a 3.886 UPAs (Fedearroz, 2017), con un área de aproximadamente 40 hectáreas cada una (Fedearroz, 2006). El departamento de Casanare se divide en 19 municipios y es el segundo productor de arroz después del departamento del Meta con un área sembrada de 17.120ha, un área cosechada de 129.549ha y una producción de 706.979 toneladas de arroz (Fedearroz, 2019). Según las evaluaciones agropecuarias, el municipio de Paz de Ariporo en el año 2017 tuvo 27.777 ha de siembra, 27.874 ha de cosecha y 863.376 toneladas de producción de arroz (Ministerio de Agricultura, 2017), realizando una relación respecto a los datos expuestos de producción de arroz, Paz de Ariporo representa el 35% de la producción anual nacional de arroz. Por otro lado, Casanare cuenta con varios programas de Vivienda de Interés Social como Viviendas Sin Límites con proyectos de mejoramiento de viviendas en municipios como Yopal, Pore y Paz de Ariporo (Gobernación de Casanare, 2017). Por otro lado, el municipio cuenta con proyectos de VIS en ejecución.

10. 6. Marco Institucional

A lo largo del proyecto se involucraron diferentes instituciones; en primera instancia la Universidad El Bosque en la cual se hizo uso de laboratorios de investigación, y se realizó un constante acompañamiento académico, haciendo parte del semillero de investigación ARPEMS (Aprovechamiento de Residuos

Poliméricos en la Elaboración de Materiales Sostenibles) de la Universidad El Bosque, un espacio en el que se fortaleció la idea del proyecto y en el cual se adquirieron conocimientos importantes para el desarrollo de este; este semillero de investigación pertenece al Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS), una organización privada que tiene como objetivo principal *“elevar el nivel de sostenibilidad de todos los usos de las edificaciones el nivel de sostenibilidad de todos los usos de las edificaciones nuevas y existentes, y de las ciudades en general”* consolidando conocimiento acerca de la construcción y urbanismo sostenible.

Por otro lado, haciendo enfoque en el objeto y zona en la cual se desarrolló el proyecto, el Fondo Nacional del Arroz cobra un papel fundamental ya que es una institución base para los agricultores del sector arrocero y de donde se extrajeron datos e información relevantes, así como la alcaldía del municipio de Paz de Ariporo, el lugar donde se enfoca el proyecto, desde la recolección de información y muestras, hasta la propuesta de implementación del material resultante de esta investigación.



11. Marco metodológico

El presente capítulo se desarrolló mediante los objetivos planteados anteriormente. La generalidad de todo el proyecto maneja un enfoque de triangulación mixto, debido a que se tratan aspectos cualitativos como se mostrará en el primer y cuarto objetivo; y cuantitativos indicados en el segundo y tercer objetivo; estos enfoques se complementan para lograr el correcto cumplimiento y avance de los objetivos propuestos en el proyecto. La perspectiva en la cual se basa es económica, social y ambiental, trabajando con comunidades y brindándoles una opción de aprovechamiento y beneficio de los residuos naturales (cascarilla y tamo de arroz); el proyecto está conformado por dos alcances principales, exploratorio y descriptivo para diseñar un biocompuesto funcional para una potencial implementación a futuro en la construcción de una Vivienda de Interés Social. Exploratorio debido a que se abre el conocimiento a un tema que está en crecimiento como lo es la construcción sostenible y la elaboración de biocompositos y/o de nuevos materiales sostenibles para la implementación en construcción. Descriptivo, ya que se necesita una investigación detallada de fenómenos que determinen si las propiedades de los componentes y las propiedades del biocomposito son las apropiadas para emplearlo como material en construcción de Viviendas de Interés Social ubicadas en el municipio de Paz de Ariporo.

11. 1. Primer objetivo. Realizar un diagnóstico ambiental en el municipio Paz de Ariporo, Casanare relacionado con la generación del residuo agroindustrial del cultivo de arroz

El enfoque utilizado en el primer objetivo es cualitativo, desarrollado por medio del diagnóstico ambiental en el municipio de Paz de Ariporo, Casanare. Inicialmente se establecieron las fechas previstas para la salida de campo y el área de trabajo, en el transcurso se contactaron los actores involucrados, en este caso los cultivadores de arroz y por otro lado personajes de la alcaldía con roles fundamentales en el área de planeación. Se recolectó información de la zona y se redactó una entrevista para los cultivadores (ANEXO 1) con el fin de saber qué residuos se generan, la cantidad de éstos y cuál es la disposición final que tienen; igualmente se realizó una entrevista a las personas de la alcaldía (ANEXO 2) para conocer los proyectos de Viviendas de Interés Social del municipio, los materiales utilizados y la distribución que éstos tienen. Finalmente antes de las fechas propuestas para la salida se diseñó el proceso de recolección de muestras por medio de los protocolos descritos más adelante. Al emprender hacia el municipio Paz de Ariporo, Casanare se hizo la visita correspondiente a cada finca, realizando la encuesta anteriormente diseñada y tomando las muestras de la cascarilla y el tamo de arroz; posteriormente se asistió a las citas concretadas en la alcaldía y se realizaron las entrevistas; al finalizar la jornada se visitó un proyecto de Viviendas de Interés Social en la parte urbana del municipio. Se considera un Diagnóstico Ambiental en Profundidad (DIPRO), pues se usan instrumentos que involucran la participación de actores de la sociedad objeto de estudio, por medio de instrumentos de investigación. Se hace un análisis cualitativo de la información obtenida mediante el método inductivo (Maykut & Morehouse, 1994).

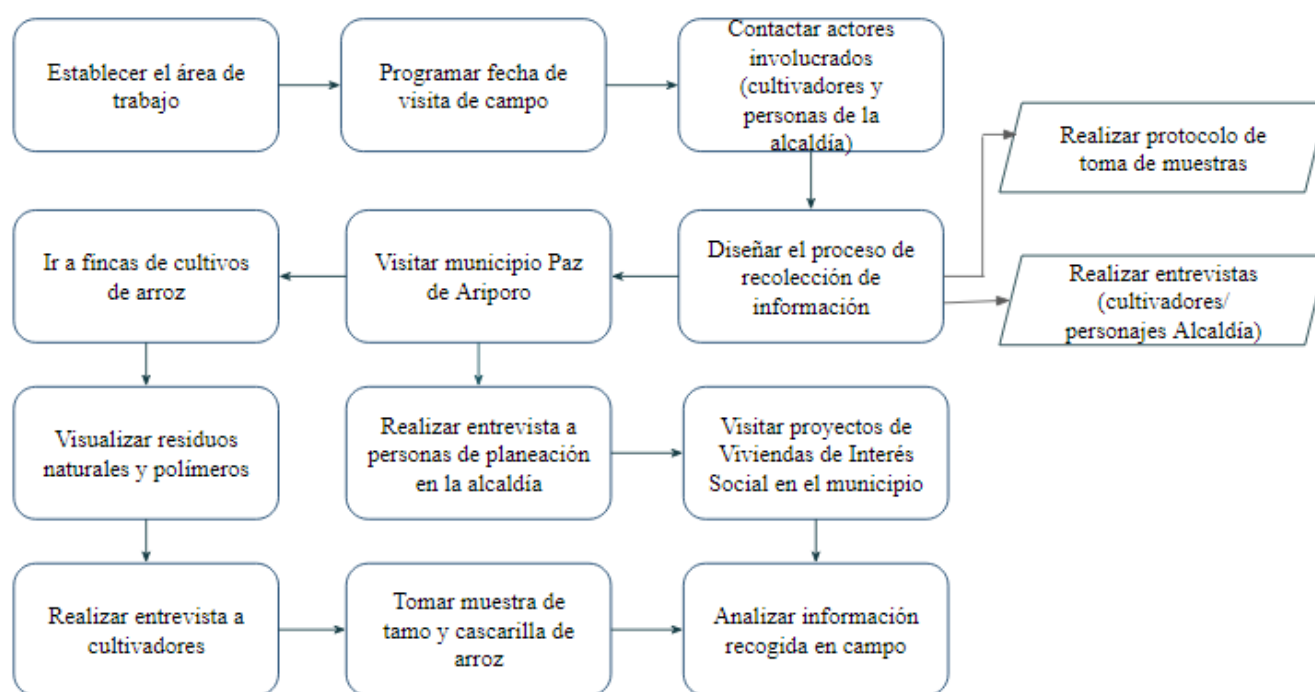


Figura 4. Diagrama metodológico diagnóstico ambiental.

Fuente: Autoras basadas en Gallo & Sejenovich (2013), Salamanca (2005) y Ortiz (2010).

La realización del protocolo de toma de muestras para la cascarilla y el tamo de arroz usado en la salida de campo se basó en el Instructivo de muestreo de productos agrícolas para análisis de residuos de plaguicidas y el documento de Recogida, manipulación y toma de muestras de la FAO (FAO, s.f).

Al llegar a la finca arroceras se hizo un recorrido inicial a todo el cultivo para identificar los residuos de

este y en qué zona se encontraban, se verificó que los residuos no estuvieran enfermos y se tomó muestra de cascarilla y tamo de forma aleatoria, así como se depositaron en envases secos con un cierre hermético, protegiendo las muestras de cambios en la composición y de contaminación; este proceso se realizó teniendo en cuenta fecha y hora de la recogida, nombre del recolector, lugar de origen, punto de muestreo y registro fotográfico.

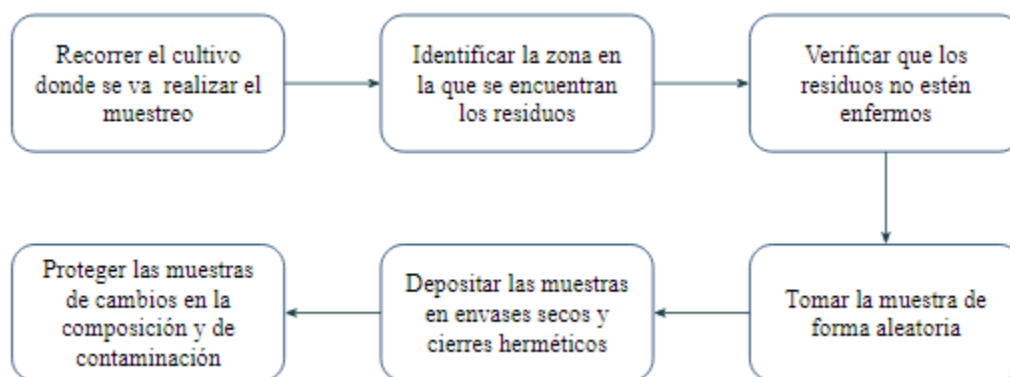


Figura 5. Metodología toma de muestras.

Fuente: Autoras basadas en FAO (s.f) e Instructivo INT/ CPA/01 (2010).

11. 2. Segundo objetivo. Elaborar un biocomposito a partir de los residuos agroindustriales del cultivo de arroz y una matriz polimérica.

El enfoque que se manejó en el desarrollo de todo el objetivo fue cualitativo. Inicialmente para la elaboración del biocomposito se llevó a cabo la caracterización del residuo polimérico y de los residuos naturales (cascarilla y tamo de arroz) utilizando un enfoque cuantitativo; primero se realizó un pre-tratamiento de los residuos naturales, en donde se llevaron a un calentamiento de 70°C por 48h para eliminar la humedad y evitar su descomposición. Posteriormente se analizaron químicamente los residuos naturales por medio de la determinación de celulosa y lignina; luego se realizó un análisis físico hallando el porcentaje de humedad, densidad, porcentaje de hinchamiento y microscopía de barrido para cada uno de los residuos a utilizar. Al finalizar estos procedimientos se prosiguió a preparar el biocomposito con tres tipos de composiciones (cascarilla de arroz (CA) + residuo polimérico (PE); tamo de arroz (TA) + residuo polimérico (PE); cascarilla (CA) + tamo (TA) + residuo polimérico (PE) en dos proporciones, matriz polimérica/fibras naturales: 70/30; 80/20, cada uno de los procesos serán explicados más adelante.

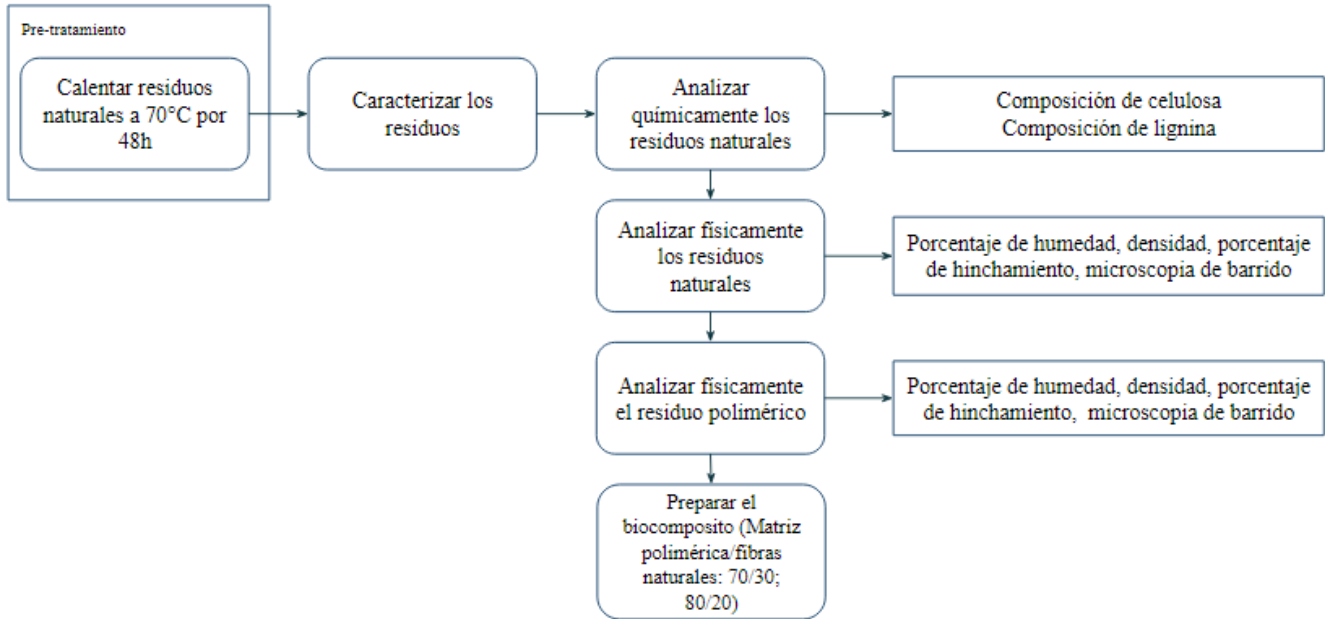


Figura 6. Diagrama general para elaboración del biocomposito.

Fuente: Autoras.

Cabe aclarar que en todos los procedimientos explicados a continuación se tuvo en cuenta la incertidumbre de cada uno de los materiales usados con el fin de realizar un tratamiento estadístico de datos, en donde se halló la media aritmética, la desviación estándar de la muestra y la desviación estándar del promedio de datos; luego se utilizó la herramienta “t student” la cual permite establecer la confianza que puede tener un número de datos, determinada principalmente por los grados de libertad al 95% y medir la propagación de error, para finalmente obtener la incertidumbre del promedio de los datos (Fernández, 2001). Las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes:

$$\bar{x} = \frac{X1 + X2 + \dots + Xn}{n}$$

Ecuación 1. Media aritmética.

En donde:

n =el número de datos

$\bar{x}$ =la media aritmética o promedio

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xi - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Ecuación 2. Desviación estándar.

En donde:

Xi = Dato

n =el número de datos

$\bar{x}$ =la media aritmética o promedio

$$S\bar{x} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 3. Desviación estándar del promedio.

En donde:

S = Desviación estándar

n =el número de datos

$$I\bar{x} = S\bar{x} * (\text{valor } t \text{ student al } 95\%)$$

Ecuación 4. Incertidumbre del promedio.

En dónde:

$S\bar{x}$ = Desviación estándar del promedio

11. 2. 1. Análisis químico

11. 2. 1. 1. Cantidad de extraíbles

Para determinar la composición de lignina y celulosa de los residuos naturales se hizo una preparación previa del tamo y la cascarilla para hallar el porcentaje de los extraíbles los cuales poseen una composición química variada, tales como grasas, gomas, resinas, aceites esenciales, azúcares, alcaloides, almidones y taninos. El procedimiento se realizó siguiendo la norma ANSI/ASTM D1105-56, en donde se colocó en un dedal 7.5g de la muestra anteriormente tamizada, seca y con humedad determinada; luego, se colocó el dedal en el sistema de extracción soxhlet manteniendo una relación de $\frac{3}{4}$ de solvente con respecto al balón. Realizando primero una extracción con n-Hexano al 95% durante 12 horas, luego una extracción con Etanol durante 12 horas, al apagar el equipo se espera a que enfríe el sistema; se seca el contenido del dedal (libre de extraíbles) por 48 horas a temperatura ambiente, posteriormente se transfiere el material a una caja de petri previamente tarada y se pesada; después, se seca en un horno eléctrico con recirculación a $80\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 4 horas, se saca la muestra y se transfiere a una desecadora, esperando 15 min; se pesa y seca hasta peso constante, por último se obtiene el porcentaje de extraíbles por medio de la Ecuación 5 (Fonseca, 2006).

$$\% \text{ Extraíbles} = \frac{P_i - P.M}{P_i} * 100$$

Ecuación 5. Porcentaje de extraíbles.

En donde:

PM = Peso de la muestra libre de extraíbles (g)

Pi= Peso inicial (g)

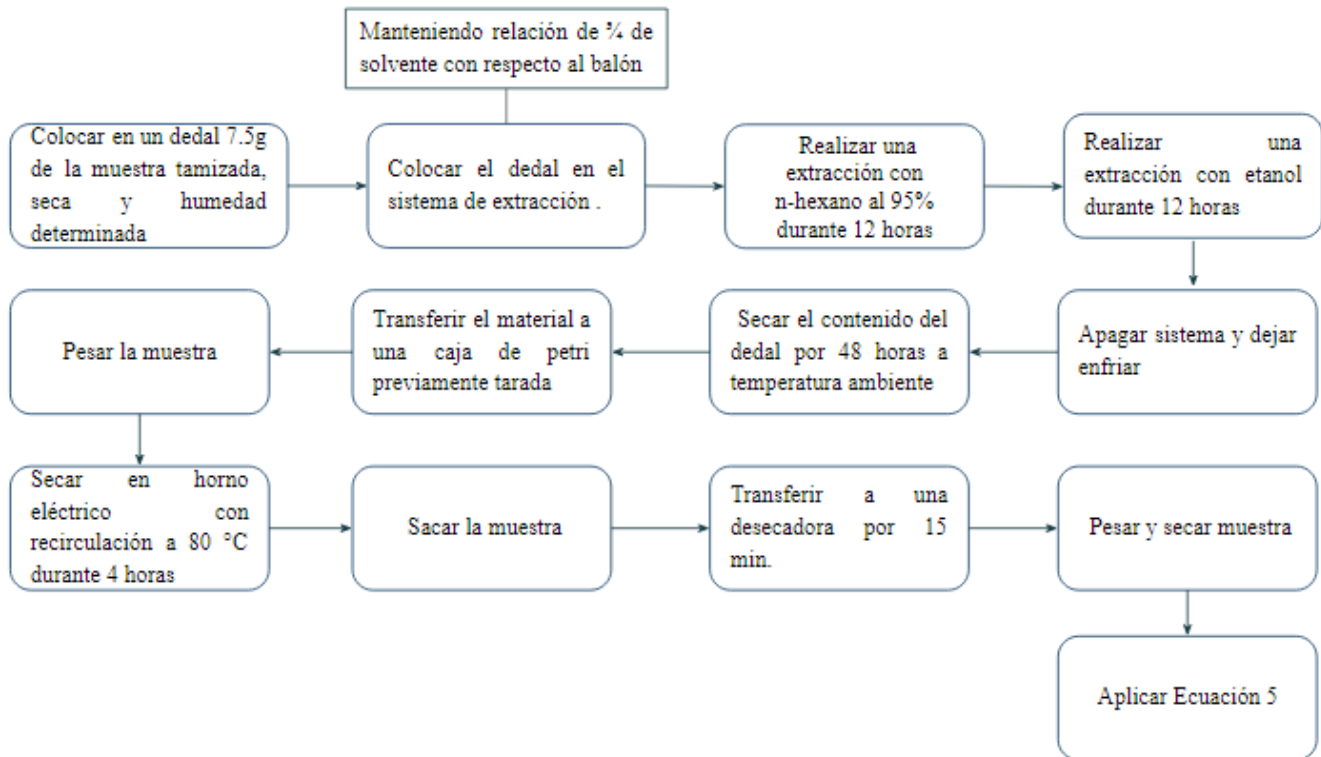


Figura 7. Procedimiento para determinación de extraíbles.
Fuente: Autoras basadas en Fonseca (2006).

11. 2. 1. 2. Composición de lignina

La lignina es una clase de polímero orgánico complejo que forma materiales estructurales importantes (Martone & Estevez, 2009); para determinar la composición en los residuos naturales (cascarilla y tamo de arroz) según la norma ANSI/ASTM D1106-56 se colocó en un beacker de 100 mL, 1 g de muestra libre de extraíbles, se agregaron 15 mL de ácido sulfúrico al 72%, luego se agitó durante 2 horas en una plancha con agitación, en baño maría a 20 °C; pasadas las 2 horas se transfirió a un matraz de 1000 mL conteniendo 560 mL de agua destilada, lo cual dio una solución de ácido al 3%, se hirvió a reflujo por 4 horas en un balón con condensador; posteriormente se decantó hasta dejar una diferencia mínima entre las dos fases, se filtró la solución obtenida con papel filtro previamente tarado y por último se lavó con agua caliente y se secó hasta peso constante a 80 °C ± 5 °C (Fonseca, 2006); al finalizar se obtuvo el porcentaje de lignina por medio de la Ecuación 6.

$$\%Lignina = \frac{PS - PPF}{PMi} * 100\%$$

Ecuación 6. Porcentaje de lignina

En donde:

PN= Peso muestra después de secar (g)

PPF= Peso papel filtro (g)

PMi= Peso muestra inicial (g)

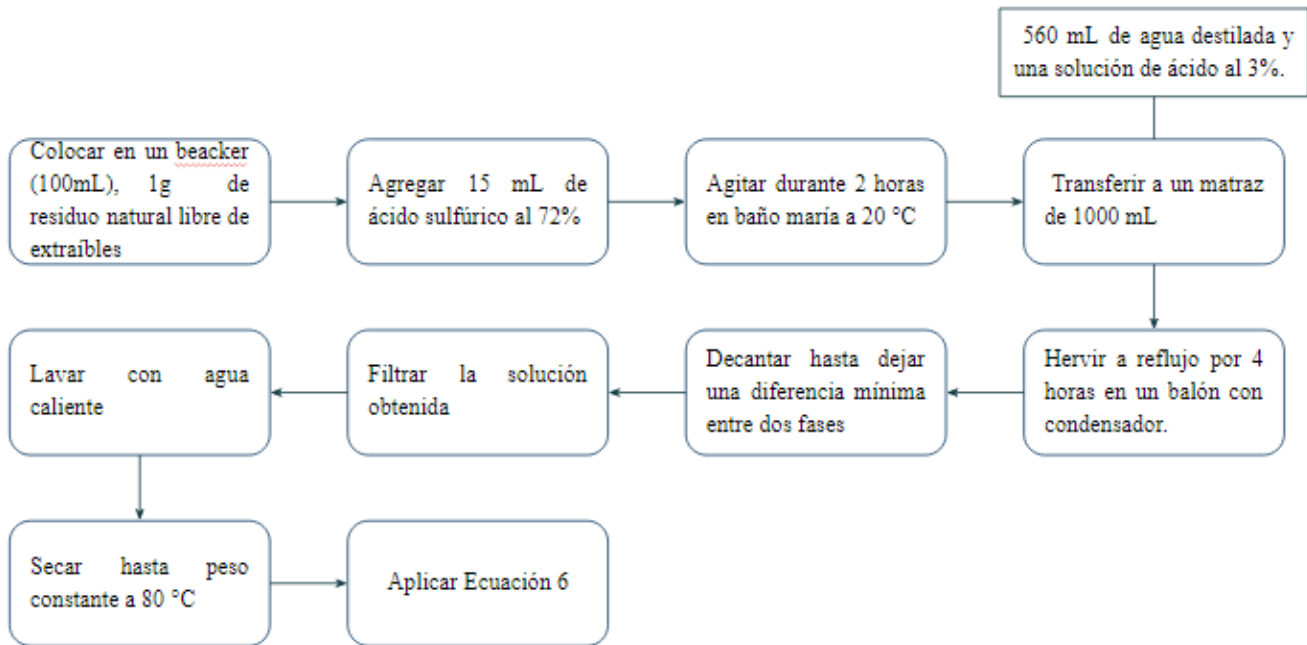


Figura 8. Procedimiento determinación porcentaje de lignina.
Fuente: Autoras basadas en Fonseca (2006).

11. 2. 1. 3. Composición de celulosa

La celulosa es un biopolímero compuesto exclusivamente de moléculas de glucosa (Martínez, J; Lora, E. 2015), para determinar su composición en los residuos naturales (cascarilla y tamo de arroz) según la norma ANSI/ASTM D1103-60, se tomó 1 g de residuo natural libre de extraíbles y se transfirió a un beaker de 100 mL, se agregaron 10 mL de NaOH al 17.5%, se agitó y dejó reposar por 2 min, luego se agitó nuevamente y dejó reposar 3 min, se agregaron de nuevo 5 mL de NaOH al 17.5%, se agitó y dejó reposar 5 min, este último paso se repitió y se dejó reposar 30 min. En baño María a $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ se agregaron 30 mL de agua destilada, se agitó y dejó reposar por 1 hora, posteriormente se filtró al vacío con papel filtro previamente tarado, lavado con una solución preparada de 33 mL de agua destilada y 25 mL de la solución de NaOH al 17.5 %, luego se lavó con 30 mL de agua destilada, y se dejó de aplicar vacío, se adicionaron 15 mL de una solución al 10% de ácido acético y después de 3 min, se aplicó 79 vacío, después se lavó con 50 mL de agua destilada aplicando vacío, finalmente se llevó la muestra contenida en una caja petri a un secador eléctrico, a una temperatura de $80\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 4 horas. Luego de pasado el tiempo se transfirió a una desecadora y se esperó durante 15 min, para pesar; se repitió el secado hasta peso constante (Fonseca, 2006). Finalmente se obtuvo el porcentaje de celulosa utilizando la Ecuación 7.

$$\%Celulosa = \frac{(PMi - PMf) * PML}{Pi} * 100\%$$

Ecuación 7. Porcentaje de celulosa.

En donde:

PMi= Peso muestra inicial (g)

PMf=Peso muestra final (g)

PML= Peso de la muestra libre de extraíbles (g)

Pi=Peso inicial antes de extraíbles (g)

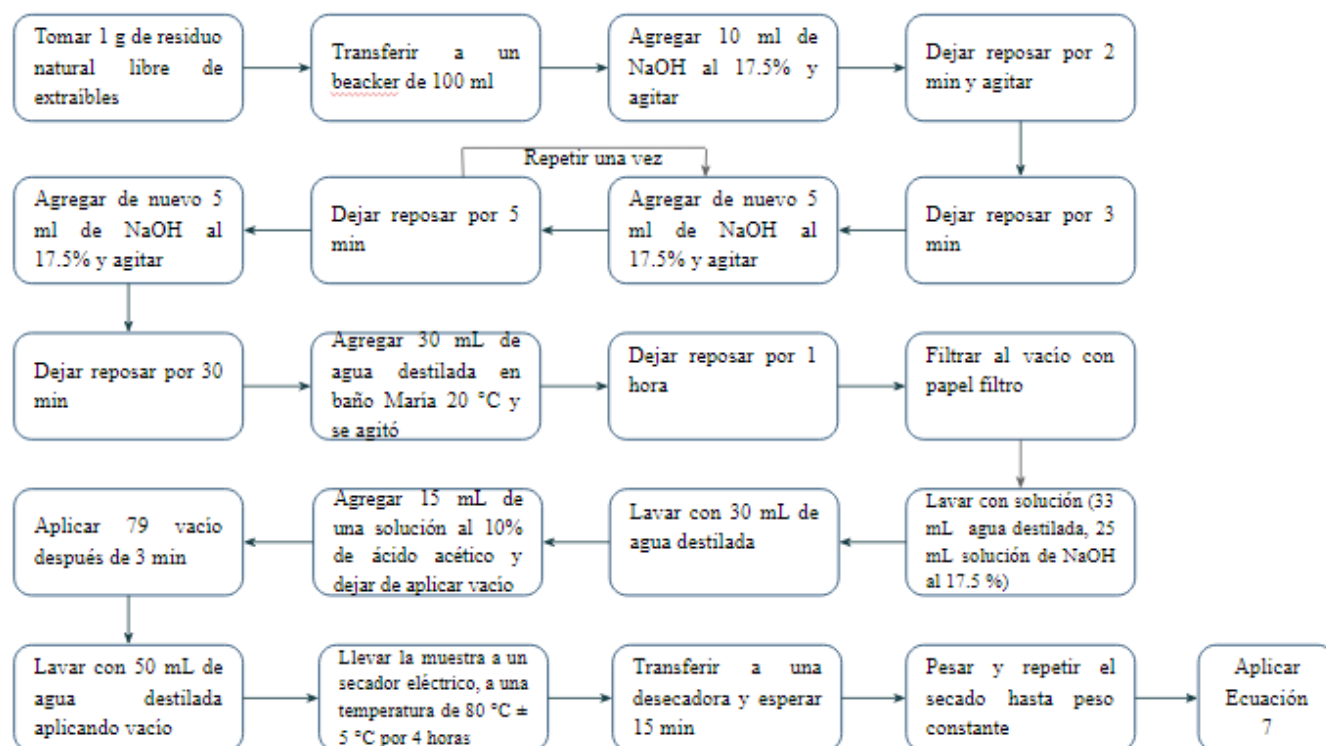


Figura 9. Procedimiento determinación porcentaje de celulosa.

Fuente: Autoras basadas en Fonseca (2006).

11. 2. 2. Análisis físico

11. 2. 2. 1. Porcentaje de humedad

El porcentaje de humedad hace referencia a la cantidad de agua contenida en una muestra orgánica (Quiminet, 2012), este procedimiento se llevó a cabo colocando un crisol con capacidad suficiente para la muestra, en un horno a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5$ durante 2 horas, luego se trasladó hacia una desecadora donde se enfrió por 20 minutos, al terminar este tiempo se pesó; luego se introdujo el crisol de nuevo al horno durante 1 hora y después a la desecadora por 20 minutos, hasta obtener peso constante; posteriormente se pesaron 2 g de muestra, los que se colocaron en el crisol preparado anteriormente; se introdujo dentro del horno a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5$ durante 2 horas, se trasladó hacia una desecadora donde se enfrió por 20 minutos, se pesó y se introdujo el crisol de nuevo durante 1 hora; después a la desecadora por 20 minutos, hasta obtener peso constante. Por último, se utilizó la Ecuación 4 de porcentaje de humedad (Fonseca, 2006). Esta prueba se realizó por triplicado para asegurar la precisión del resultado.

$$\%Humedad = 100 - \frac{(P.B - P.T)}{P.M} * 100$$

Ecuación 8. Porcentaje de humedad

Dónde:

P.B. = Peso bruto (g)

P.T. = Peso tara (peso crisol) (g)

P.M. = Peso de la muestra (g)

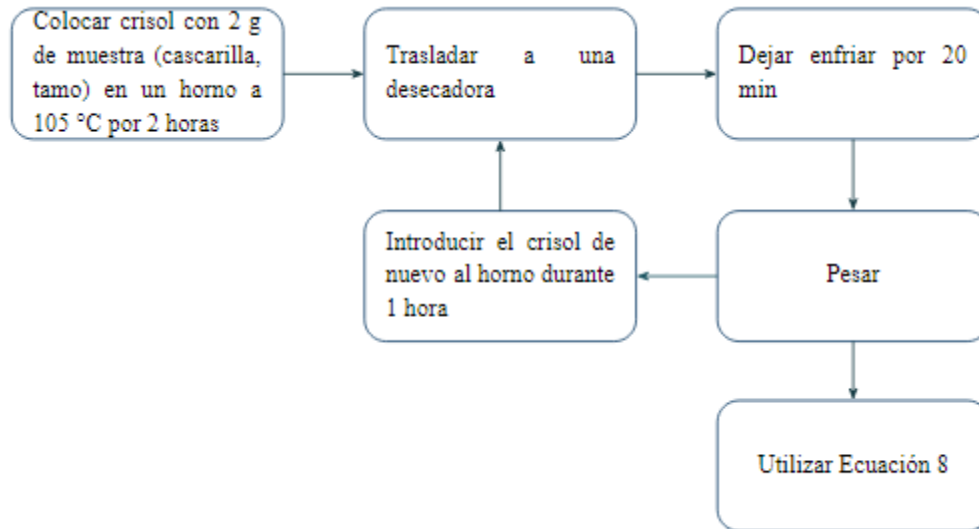


Figura 10. Procedimiento porcentaje de humedad.

Fuente: Autoras basadas en Fonseca (2006).

11. 2. 2. 2. Densidad residuos (Cascarilla, tamo y polietileno)

Para realizar esta prueba se pesaron 3 g de muestra del residuo en una balanza analítica, luego se tomó una probeta de 200 mL y se agregaron 170 mL de agua; se adicionó la muestra de residuo natural (cascarilla, tamo); posteriormente se observó el volumen desplazado y se determinó la densidad usando la Ecuación 9 (Baller & Ríos, 2016). Esta prueba se realizó por triplicado para asegurar la precisión del resultado obtenido.

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

Ecuación 9. Densidad

En donde:

ρ = Densidad de la muestra (mL/g)

m=Masa de la muestra (g)

v=Volumen del agua (mL)

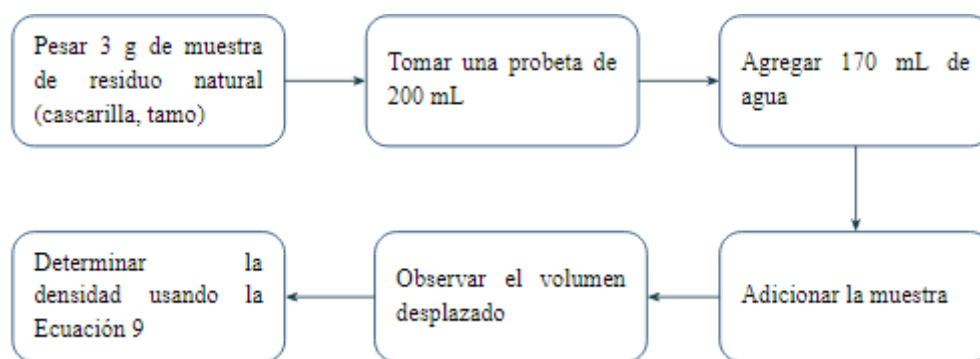


Figura 11. Procedimiento para determinar densidad.

Fuente: Autoras basadas en Baller & Ríos (2016)

11. 2. 2. 3. Prueba de hinchamiento

Es el incremento en la masa de un material seco, cuando es sumergido en agua durante un tiempo determinado (Justo, L. 2018) y se realizó para determinar el porcentaje de agua que absorbe cada uno de los residuos naturales (cascarilla y tamo), el residuo polimérico (polietileno) y el biocomposito en las diferentes composiciones; esta prueba se hizo individualmente para cada uno de ellos y por triplicado para asegurar la precisión de los resultados. Primero, se utilizó una plancha de calentamiento a 70°C 150 rpm y se insertó un agitador magnético a 150 rpm, luego se llenó de agua destilada un vaso precipitado de 300 mL y se puso a calentar en la plancha, posteriormente se pesaron 3 g de residuo, se insertó la muestra en un recipiente previamente preparado para la prueba y cuando la temperatura del agua se encontró en 70°C se agregó en el vaso precipitado asegurando que la muestra estuviera totalmente sumergida, a los 15 min se saca la muestra del vaso precipitado, se seca, se pesa y se vuelve a insertar al vaso precipitado; este procedimiento se realiza de igual manera al paso de 30 min, y cada hora hasta completar las 6 horas. Al finalizar, con los datos obtenidos se determina el porcentaje de hinchamiento en base seca utilizando la Ecuación 10 y el porcentaje de hinchamiento en base húmeda utilizando la Ecuación 11 (Das & Biswas, 2016). Por último, se grafican los resultados obtenidos para ambos porcentajes mediante el software SigmaPlot, en donde se muestra la ganancia de agua a través de la raíz del tiempo de cada una de las muestras a analizar.

$$\%Hinchamiento_{base\ seca} = \frac{m_f - m_i}{m_i} * 100\%$$

Ecuación 10. Porcentaje de hinchamiento en base seca

$$\%Hinchamiento_{base\ húmeda} = \frac{m_f - m_i}{m_f} * 100\%$$

Ecuación 11. Porcentaje de hinchamiento en base húmeda

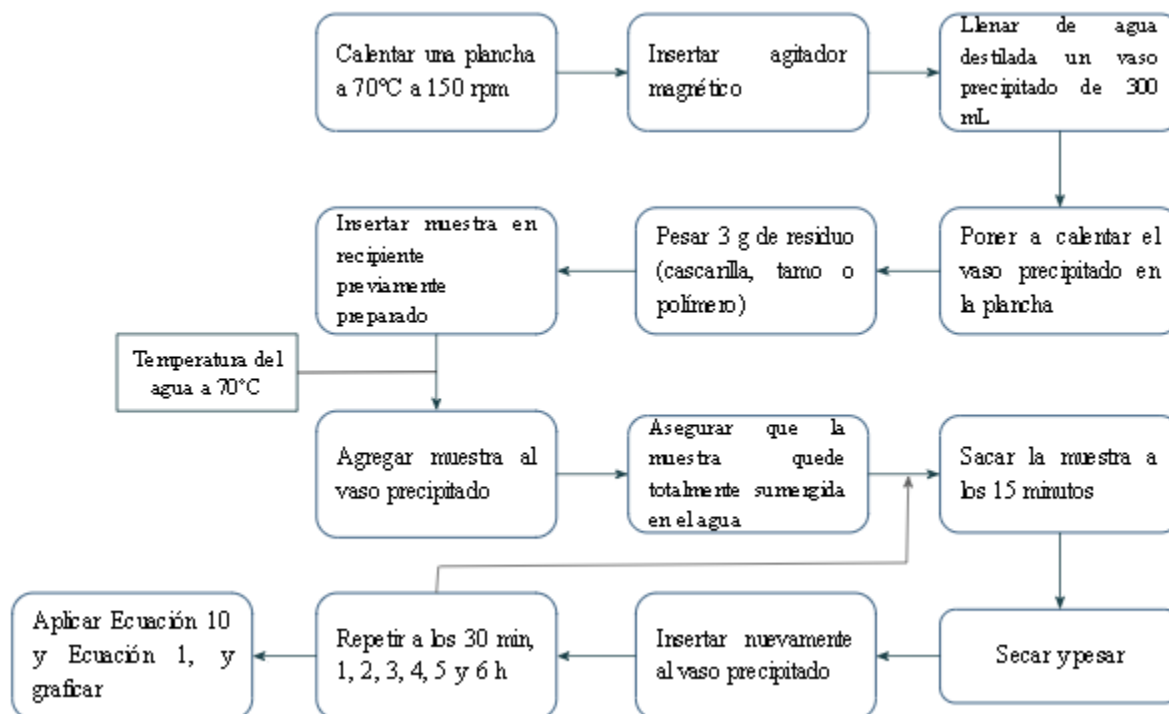


Figura 12. Procedimiento para determinar porcentaje de hinchamiento.
Fuente: Autoras basadas en Das & Biswas (2016).

11. 2. 2. 4. Microscopía electrónica de barrido

Es una técnica que permite analizar la morfología superficial y composición de las muestras, por medio de un enfoque de haz de electrones, con una aceleración de energías de excitación (0,1 kV-30 kV), produciendo imágenes de resolución alta (hasta 3 nm) (Vázquez & Echeverría, 2000). Se emplea Microscopio Electrónico de Barrido Microscopio TESCAN Lyra 3 de alta resolución, el cual permite observar las muestras en tamaños desde centímetros a nanómetros; para este procedimiento se inició con una preparación de muestras, en este caso biológicas y de bajo vacío, por lo cual no es necesario procesar la muestra al utilizar el modo de bajo vacío; las muestras pueden estar hidratadas. Posteriormente se realizó un recubrimiento de muestras para hacerlas conductoras, una capa conductora de 0-50 nm de espesor de elementos como oro o grafito; se colocaron las muestras en soportes, se realizó la observación de las superficies y finalmente se hizo un microanálisis que es la observación de la microestructura y la observación en diferentes fases (Universidad de los Andes, 2019).

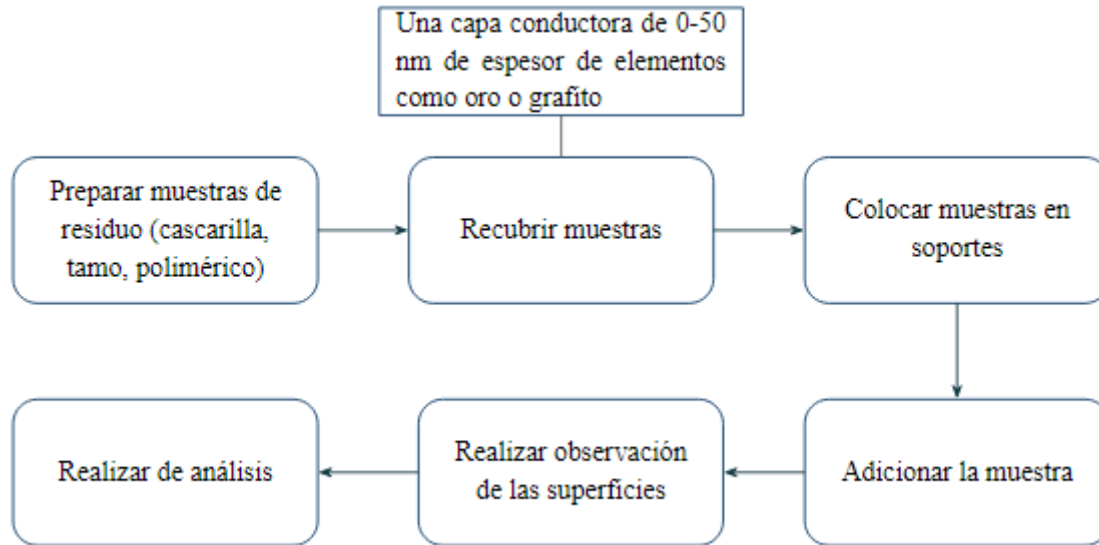


Figura 13. Procedimiento de Microscopía Electrónica de Barrido.

Fuente: Autoras basadas en Universidad de los Andes (2019) y Universidad Carlos III de Madrid (2015).

11. 2. 2. 5. Preparación del biocomposito

La elaboración del biocomposito se realiza por medio de tres moldes (placa base) de acero/ aluminio, laminar, de torsión y de compresión usando desmoldante o material antiadherente, para este proceso se utilizaron muestras de los residuos naturales y el residuo polimérico, previamente secadas en un horno a 70 °C. Se realizaron tres tipos de material, cascarilla de arroz más el residuo polimérico, tamo de arroz más el residuo polimérico y la cascarilla junto con tamo más el residuo polimérico, colocando los componentes en el molde de acuerdo a porcentajes definidos (Matriz polimérica/fibras naturales: 80/20, 70/30), en donde se mezclaron los componentes por fusión y se llevaron a un calentamiento condicionado por el polímero de 200 °C en plancha de calentamiento o mufla, en los tres tipos de material, con las composiciones establecidas; posteriormente se pasó el rodillo para darle presión y cerrar espacios de aire formados, finalmente se dejó enfriar y se desmoldó (Grozdanov et al., 2006; Ramesh et al., 2014; Muthuraj et al., 2019).

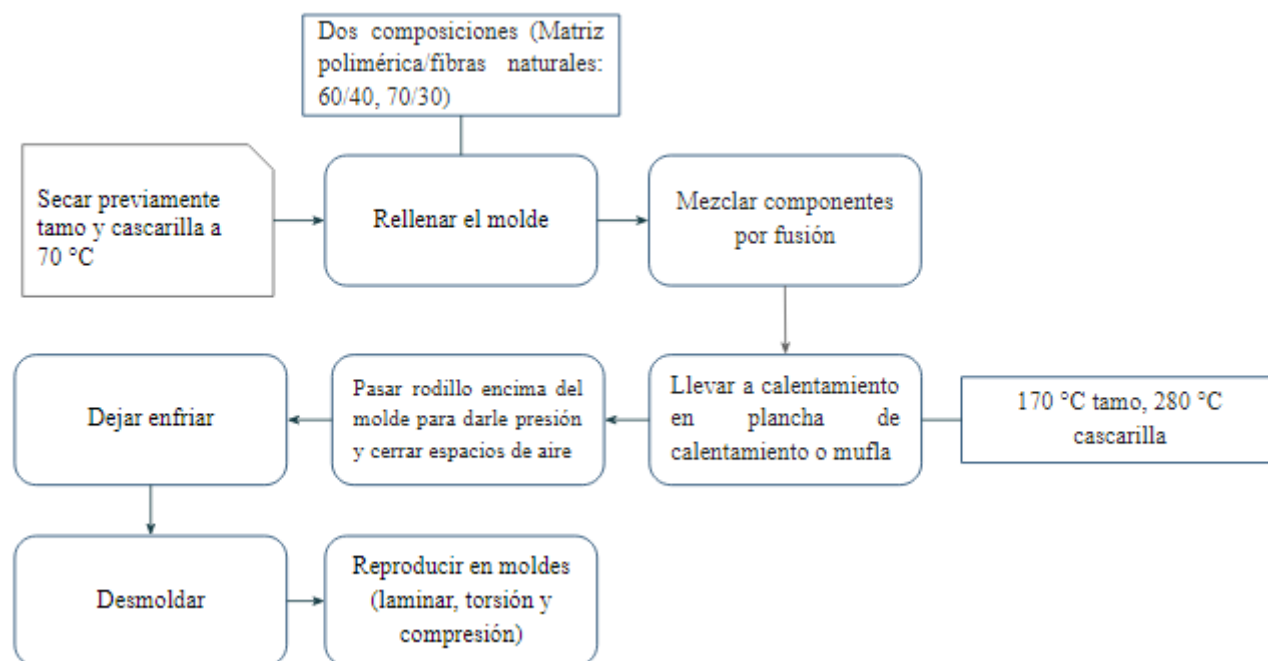


Figura 14. Procedimiento para preparación del biocomposito.

Fuente: Autoras basadas en Grozdanov et al. (2006) Ramesh et al. (2014) y Muthuraj et al. (2019).

11. 3. Tercer objetivo. Caracterizar física y químicamente el biocomposito elaborado.

El enfoque de este objetivo es mixto debido a que se implementan métodos cuantitativos y cualitativos. Para esta caracterización se tuvieron en cuenta ambos porcentajes del biocomposito (70/30; 80/20), se llevó a cabo la realización de la prueba física de densidad e hinchamiento; de igual manera se realizó la prueba de técnica de infrarrojo (EIRTF), y se realizó una prueba térmica al material.

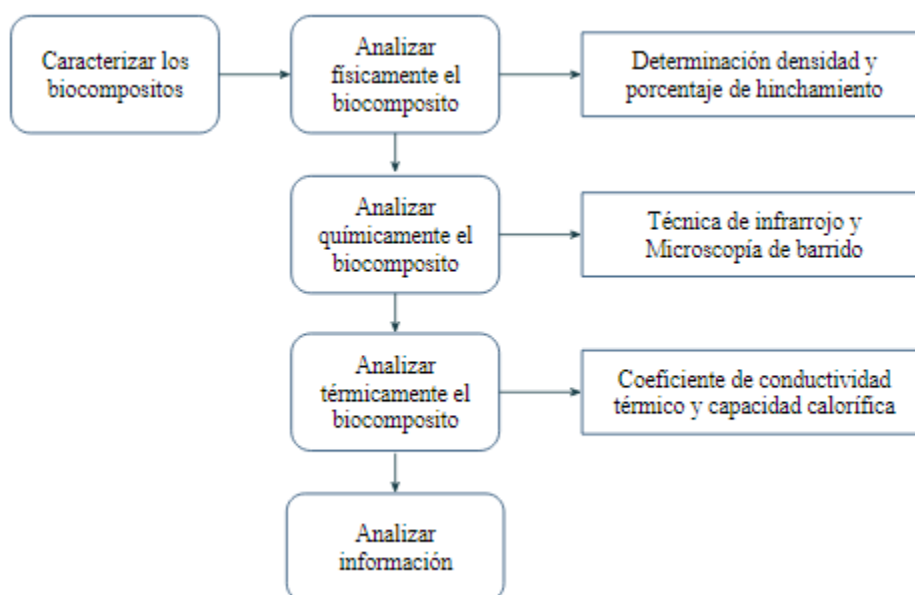


Figura 15. Metodología general tercer objetivo.

Fuente: Autoras.

11. 3. 1. Técnica de infrarrojo EIRTF:

Por medio de esta técnica se llevó a cabo un análisis químico de los biocompositos elaborados, para conocer la composición química de cada uno y su comportamiento en la adhesión a la matriz polimérica. Inicialmente se retiró el protector de la zona de medida (atr diamante) del espectrofotómetro Brucker ATR alpha y se limpió con etanol y papel de arroz; posteriormente se inició el programa “Opus” en el computador y se verificó que leyera las señales del espectrofotómetro; se especificó el número de onda (4000-400 cm^{-1}) y la resolución (resolución 4 cm^{-1}). Luego, se corrigió la línea base y se procedió a colocar las muestras en la zona de medida, asegurando el atr diamante y ejecutando el sistema. Por último, se normalizó la curva en el programa, se ajustaron los ejes y la escala para finalmente guardar el reporte (Quinn & Blair, 2017).

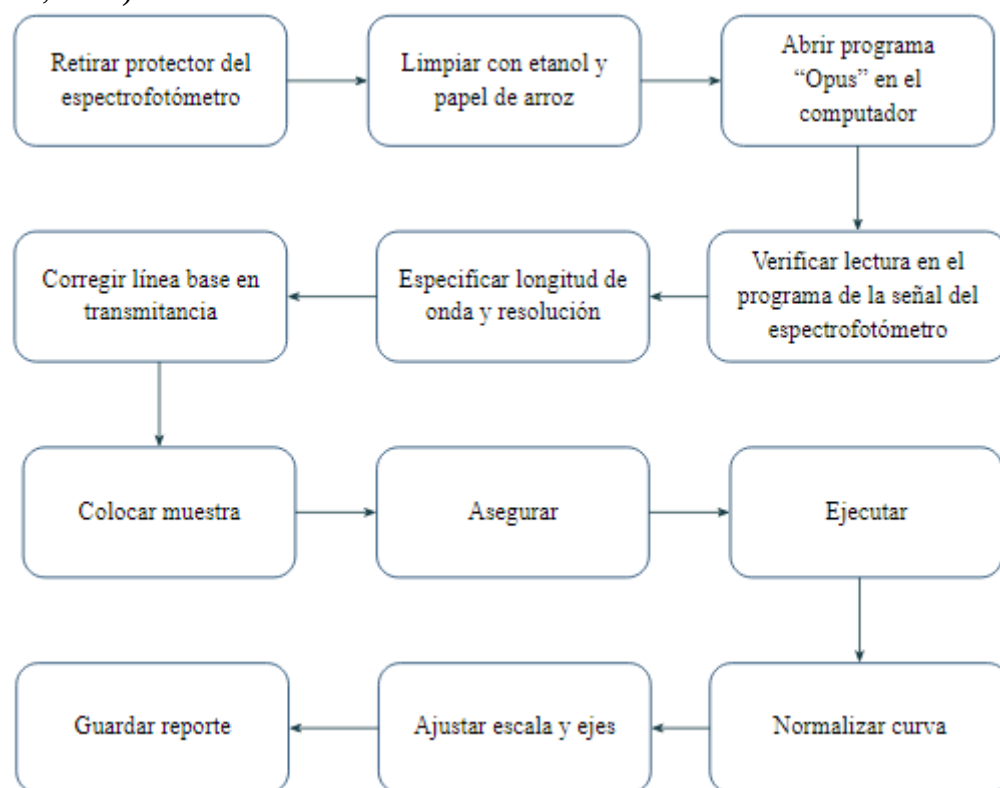


Figura 16. Procedimiento de técnica de infrarrojo.
Fuente: Autoras basadas en Quinn & Blair (2017).

11. 3. 2. Análisis térmico

Para llevar a cabo las siguientes pruebas térmicas se utilizaron dos biocompositos en diferentes proporciones, uno de proporción 80/20 y otro, proporción 70/30, realizando un ensayo diferente para cada uno de ellos.

11. 3. 3. Capacidad calorífica específica (Cp): Es el calor necesario para que un material aumente 1 °C su temperatura (Estévez 2016). Para determinar la Cp se utilizó una técnica calorimétrica, en donde se pesó la muestra (biocompositos) y se introdujo en un vaso de precipitado de 100 mL a punto de ebullición del agua a presión atmosférica de Bogotá (560mmHg) durante 45 min, registrando la temperatura del agua con un termómetro; por otro lado, se pesaron 100 g de agua en un vaso precipitado de 100 mL y se pasó esta masa a un calorímetro con una agitación constante. Posteriormente, una vez pasados los 45 min

se depositó rápidamente la muestra del biocomposito en el calorímetro, registrando los valores de temperatura cada 30 segundos hasta alcanzar la temperatura constante en donde se realizó un termograma. Por último, se aplicó la Ecuación 11 para hallar la Cp del material.

$$Cp = \frac{(m_a * Cp_a * \Delta T_a)}{(m_m * \Delta T_m)}$$

Ecuación 11. Capacidad calorífica específica del material (Engel & Reid, 2007)

En donde:

m_a =Masa del agua (g)

Cp_a = Capacidad calorífica del agua (J/g°C)

ΔT =Delta temperatura agua (°C)

m_m =Masa del material (g)

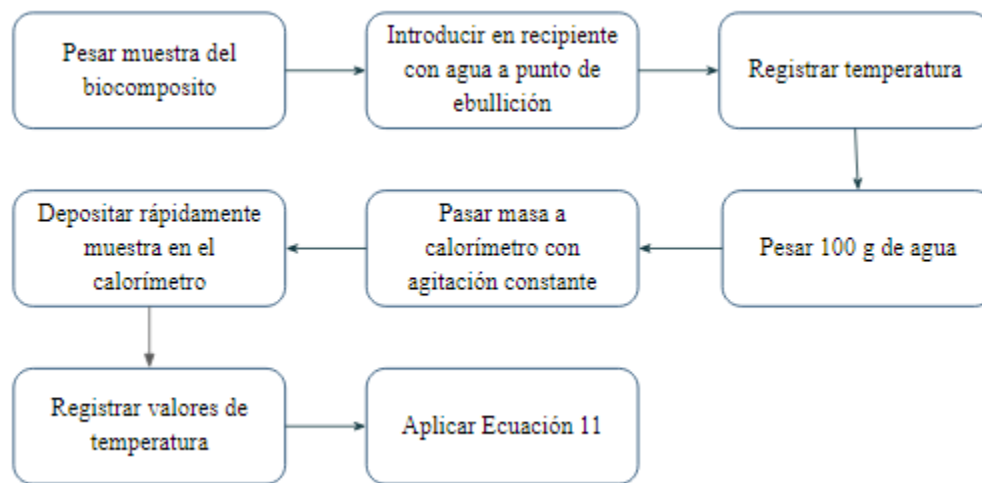


Figura 17. Metodología Capacidad calorífica.

Fuente: Autoras basadas en Engel & Reid (2007).

11.3.3. Coeficiente de conductividad térmica: Es la capacidad de los materiales de conducir calor, es decir, la capacidad de transmitir energía cinética entre sus moléculas. Al empezar el procedimiento se registró el diámetro y la longitud de la muestra, luego se ubicó una fuente de calor (Bombillo de 3v) a 5 cm de un medidor de lux (medida tomada con dispositivo celular - aplicación Light Meter) y se tomó la medida. Luego, se ubicó la muestra a esa misma distancia acomodando dos entradas del Termopar Data Logger CENTER 374 en la muestra (A y B), como se observa en la Figura 19 y se realizó el registro de los datos de T1 (A) y T2 (B) cada 10 segundos hasta completar 10 min. Por último se aplicó la Ecuación 12 (Collieu & Powney, 1977).

$$Q = K * \frac{A * \Delta T}{\Delta x}$$

Ecuación 12. Conductividad térmica (Collieu & Powney, 1977).

En donde:

Q = Flujo de calor por unidad de tiempo (W)

K =Conductividad térmica (W/m°C)

$\Delta T/\Delta x$ =Gradiente de temperatura (°C/m)

A =Área transversal (m^2)

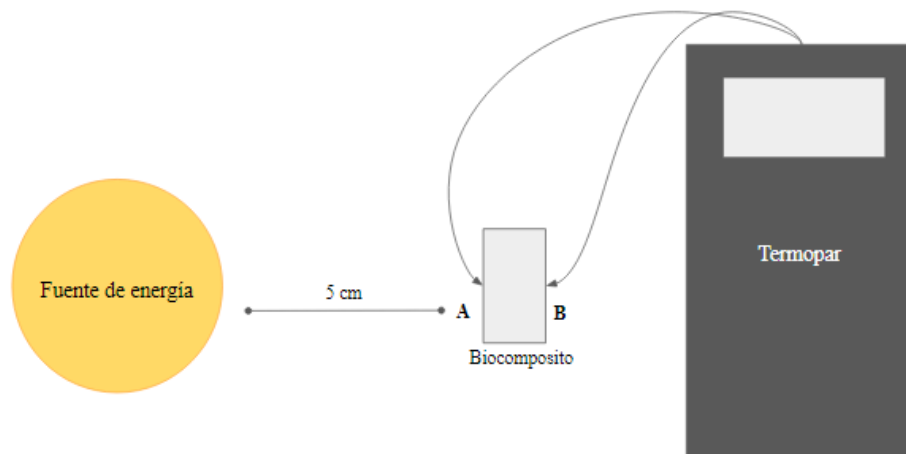


Figura 18. Montaje coeficiente de conductividad térmica.
Fuente: Autoras basadas en Estévez (2016).

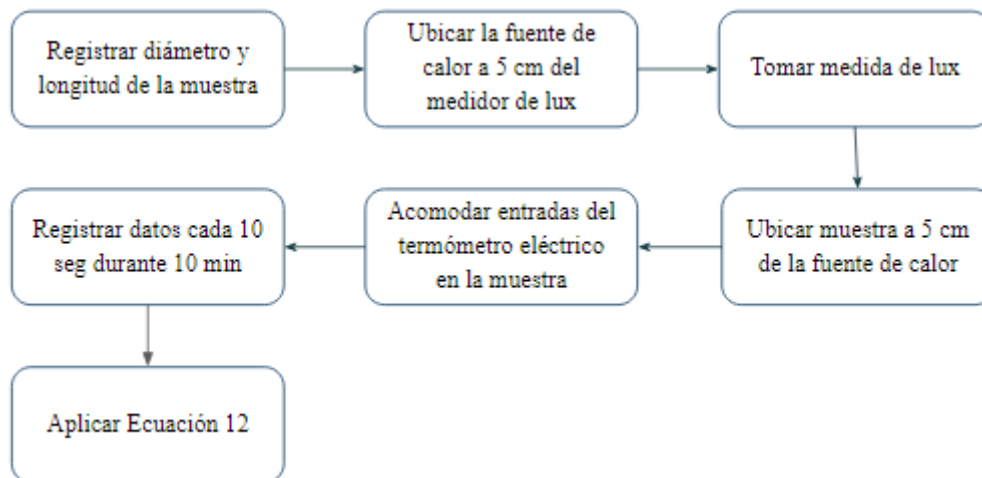


Figura 19. Metodología de coeficiente de conductividad térmica.
Fuente: Autoras basados en Colliou & Powney (1977).

11. 4. Cuarto objetivo. Proponer la potencial aplicación como material constructivo para las Viviendas de Interés Social del municipio de Paz de Ariporo

El último objetivo presenta un enfoque cualitativo, en el cual se realizó una revisión bibliográfica acerca de las características de viviendas en clima cálido y sus condiciones mínimas de confort (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011), asimismo, se realizó una búsqueda de información sobre los materiales convencionales usados en las Viviendas de Interés Social de clima cálido húmedo establecidos en la Guía de Asistencia Técnica para Viviendas de Interés Social. Posteriormente, se elaboró una matriz de correlación entre físicas de los materiales convencionales junto con el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas químicas, físicas y mecánicas del biocomposito elaborado, incorporando criterios ambientales del material y su composición respecto a los materiales tradicionales

para establecer su potencial aplicación en el modelo constructivo de Viviendas de Interés Social en el municipio Paz de Ariporo, Casanare. Posteriormente, se evaluó la sostenibilidad del biocomposito mediante los criterios de evaluación LEED y CASA Colombia.

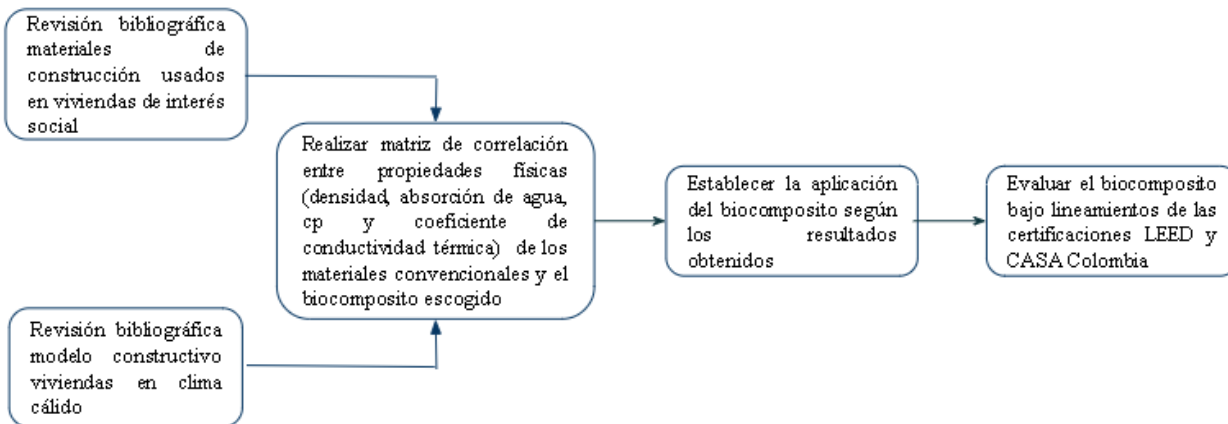


Figura 20. Procedimiento de aplicación del biocomposito como material constructivo.

Fuente: Autoras basadas en Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2011), USGBC (2019), CCCS (2018).

En la *Tabla 3* se puede evidenciar las actividades, técnicas e instrumentos utilizados para el cumplimiento de cada uno de los objetivos propuestos.

13. Aspectos éticos

Al presente proyecto no aplican aspectos éticos puesto que la investigación que se lleva a cabo no incluye estudios en personas y/o animales.

Tabla 5. *Tabla metodológica*

Objetivo General			
Evaluar un biocomposito elaborado con residuos agroindustriales provenientes del cultivo de arroz (cascarilla y tamo) junto con un residuo polimérico, y su potencial aplicación en Viviendas de Interés Social en el municipio Paz de Ariporo, Casanare.			
Objetivo específico	Actividad	Técnica	Instrumento
1. Realizar un diagnóstico ambiental en el municipio Paz de Ariporo, Casanare relacionado con la generación del residuo agroindustrial del cultivo de arroz.	Planeación visita técnica	Localización de la zona	SIG (ArcGis)
		Diseño entrevista	Software Microsoft Word
	Visita técnica	Observación	Registro fotográfico
			Notas de campo
		Aplicación entrevistas	Entrevista (formato de preguntas)
		Recolección de muestras	Protocolo de recolección de muestras
			Bolsas herméticas
			Registro fotográfico
2. Elaborar un biocomposito a partir de los residuos agroindustriales del cultivo de arroz y una matriz polimérica.	Pretratamiento de muestras	Secado	Horno eléctrico y balanza analítica
		Reducción tamaño	Tijeras y licuadora
		Tamizado	Tamizador 355 micrómetros
	Caracterización química de residuos	Determinación porcentaje de extraíbles	Dedal, montaje soxhlet, reactivos, desecadora, horno eléctrico y balanza analítica
		Determinación porcentaje de lignina	Sistema de reflujo, plancha de calentamiento, reactivos, horno eléctrico y balanza analítica
		Determinación porcentaje de celulosa	reactivos, filtro al vacío, horno eléctrico y balanza analítica
	Caracterización física de residuos	Determinación de porcentaje de humedad	Horno eléctrico y balanza analítica
		Determinación densidad	Probetas y agua destilada

Fuente: Autoras.

Tabla 6. Tabla metodológica continuación

Objetivo específico	Actividad	Técnica	Instrumento
2. Elaborar un biocomposito a partir de los residuos agroindustriales del cultivo de arroz y una matriz polimérica.	Caracterización física de residuos	Determinación porcentaje de hinchamiento	Plancha de calentamiento, vaso de precipitado (100mL), agitador magnético, agua estilada, termómetro y balanza analítica
		Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)	Microscopio Electrónico de Barrido TESCAN Lyra 3 de alta resolución
	Elaboración de biocomposito	Moldeo	Mufla, moldes (laminar, compresión y torsión), lija y silicona desmoldante
3. Caracterizar física y químicamente el biocomposito elaborado.	Pruebas físicas del biocomposito	Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)	Microscopio Electrónico de Barrido TESCAN Lyra 3 de alta resolución
		Determinación densidad	Probetas y agua destilada
		Determinación porcentaje de hinchamiento	Plancha de calentamiento, vaso de precipitado (100mL), agitador magnético, agua estilada, termómetro y balanza analítica
	Prueba química del biocomposito	Técnica infrarrojo	Espectrofotómetro Brucker ATR alpha, software OPUS
	Prueba térmica	Determinación capacidad calorífica (Técnica calorimétrica)	Termómetro, vaso de precipitado 100 mL, Termopar Data Logger CENTER 374
		Determinación coeficiente de conductividad térmica	Bombillo 3v, Termopar Data Logger CENTER 374 y aplicación Light Meter
4. Proponer la potencial aplicación como material constructivo para las Viviendas de Interés Social del municipio de Paz de Ariporo.	Elaboración matrices de correlación	Revisión bibliográfica o correlación de resultados	Informes, guías, bases de datos y resultados objetivo 2 y 3

Fuente: Autoras.

14. Resultados y análisis

14. 1. *Objetivo 1: Realizar un diagnóstico ambiental en el municipio Paz de Ariporo, Casanare relacionado con la generación del residuo agroindustrial del cultivo de arroz.*

La visita de campo realizada al municipio Paz de Ariporo los días 11 y 12 de abril del 2019 se dividió en dos etapas. En la primera etapa se llevó a cabo la visita a dos fincas arroceras localizadas vía Pore, en donde se efectuó un recorrido en éstas, ubicando los residuos producidos en la dinámica del cultivo y haciendo una respectiva toma de muestras por medio del protocolo estipulado en la *Figura 5*. Estas muestras fueron rotuladas y guardadas en bolsas ziploc para evitar daños durante el transporte a Bogotá. Posteriormente se realizó la entrevista previamente planteada a los cultivadores (ANEXO 1). En la segunda etapa, se hizo la visita al área de planificación de la alcaldía municipal de Paz de Ariporo, localizando al personal especializado en los proyectos de Viviendas de Interés Social (VIS), con el propósito de obtener información relevante por medio de la entrevista diseñada (ANEXO 2) y al finalizar se visitó un proyecto de VIS en proceso de construcción. En la *Figura 21* y *Figura 22* se observan los puntos geográficos de la salida técnica.

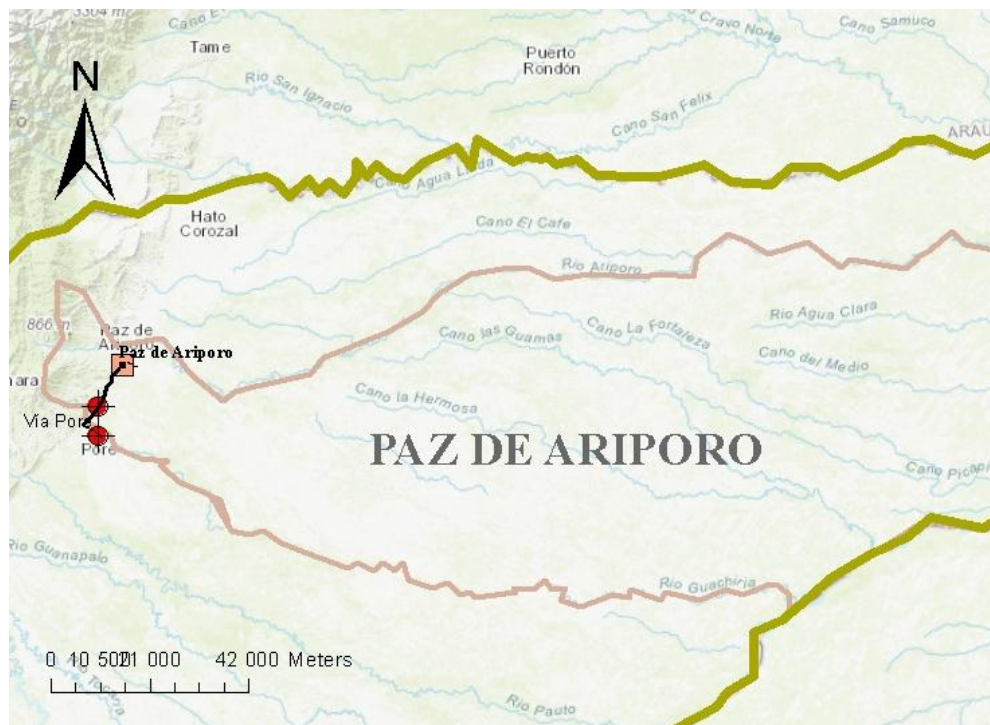


Figura 21. Ubicación puntos visitados en la salida de campo a Paz de Ariporo, Casanare.

Fuente: Autoras elaborado en ArcGIS

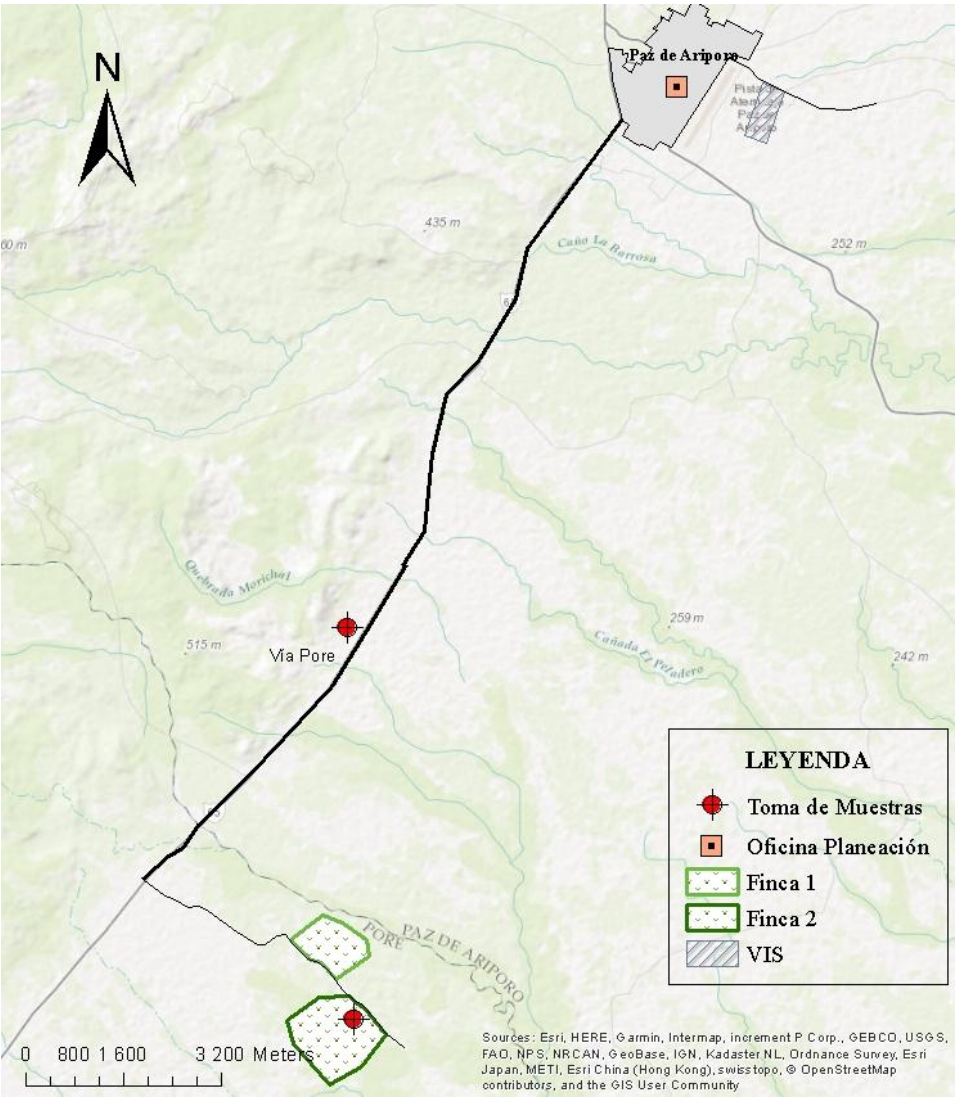


Figura 22. Puntos visitados en la visita de campo a Paz de Ariporo, Casanare.
Fuente: Autoras elaborado en ArcGIS.

ETAPA 1:

Tabla 7. Resultados entrevistas realizadas a cultivadores

Preguntas	Entrevistado 1	Entrevistado 2
Nombres	Obed Ruiz	Antonio Cetino
¿De cuántas hectáreas es el cultivo?	80 Ha	150 Ha
¿Cuánta es la producción arroz anual?	6 ton/Ha	5 ton/Ha
¿Qué tipo de arroz se produce?	Secano, croposent 304, Fedearroz 47 y Fedearroz 68	

Tabla 8. *Resultados entrevistas realizadas a cultivadores continuación*

Preguntas	Entrevistado 1	Entrevistado 2
¿A quién le vende el arroz?	A molinos como Diana, Roa, Molino Yopal y Fedearroz	
¿Cuál es el residuo que más se genera?	Tamo de arroz por su gran volumen y follaje	
¿Cuál es la cantidad de residuo generado?	No poseen registros cuantificables de estos	
¿Cuenta con Manual de Manejo de residuos del cultivo?	Ninguno tiene manual acerca del manejo de los residuos del cultivo y afirman que ninguna entidad competente lo exige	
¿Qué hacen con los residuos naturales que se generan en el proceso del cultivo?	Se acumulan en el área del cultivo para su biodegradación	Se acumulan y se reutilizan dentro de la finca como abono
¿Pueden tener los residuos naturales un valor económico que lo pueda beneficiar?	No, nadie lo utiliza, no saben qué hacer con estos residuos	Si, cree que puede tener una aplicación por su gran cantidad pero no sabe en qué
¿Se genera algún residuo plástico?	Solamente los recipientes de agroquímicos los cuales son recolectados por terceros al ser residuos peligrosos.	Si, costales de abono Triple 18, 25-4-24 y urea, aproximadamente 400 bultos, los cuales se queman.

Fuente: Autoras y personas entrevistadas.

De la información anterior, se resalta que ambos cultivadores son provenientes de la zona, tienen entre 20 y 10 años de experiencia trabajando en los cultivos de arroz y su función dentro de las fincas es de administradores, ambos cuentan con un personal total de 6 personas.

Como se muestra en la *Figura 23* el tamo de arroz se acumula en el mismo cultivo dejando que se degrade en el suelo para utilizarlo como abono natural, de forma que los nutrientes que posee se reincorporen al suelo.



Figura 23. Tamo de arroz en cultivos.
Fuente: Autoras.

Por otro lado, la cascarilla de arroz es un residuo generado en los molinos de empresas tales como: Diana, Roa, Molino Yopal y Fedearroz. Generalmente estos residuos son abandonados en potreros ubicados a lo largo de la carretera como lo muestra la *Figura 24* sin realizar algún aprovechamiento de este.



Figura 24. Lote de cascarilla de arroz.
Fuente: Autoras.

La selección de los puntos para la recolección de muestras (*Figura 22*) fue dada por la disponibilidad del residuo en el momento de la visita, teniendo en cuenta que no se encontraban en temporada de siembra o cosecha del grano de arroz, de esta manera, el tamo se obtuvo de la finca 2 y la cascarilla de arroz fue tomada de un lote localizado en la vía Pore, donde se encontró una gran acumulación de cáscara dispuesta por los molinos de arroz y lista para su posterior quema. Dicha información fue suministrada por los

cultivadores y argumentada por Sierra (2009) indicando que *“la cáscara de arroz es separada en el proceso de pilado formando verdaderas montañas de cascarilla al costado de los molinos, lo que ocasiona problemas de espacio por la acumulación de este desecho.”*

Basado en la relación establecida por Núñez (2012), se estimó la cantidad de residuos generados en la finca 1 y 2, cuyas áreas de cultivo son 80 y 150 ha con una producción de 5ton/ha y 6ton/ha al año respectivamente, en donde se obtuvo que se producen aproximadamente 3150 ton/año de residuos naturales. En la siguiente *Figura 25* se muestra la relación existente entre la producción de arroz y la generación de residuos del mismo, lo que permite establecer una diferencia en la generación de los residuos en las fincas visitadas.

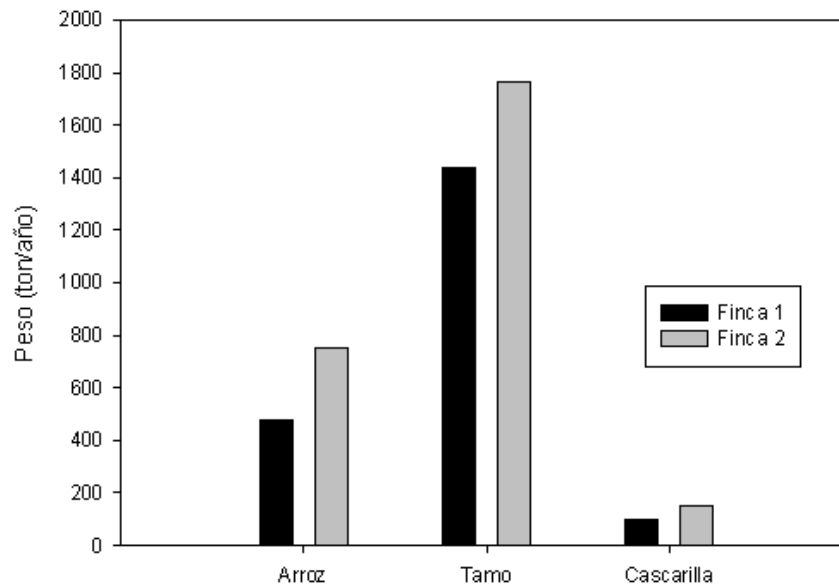


Figura 25. Generación de arroz y sus residuos naturales de las fincas 1 y 2, municipio Paz de Ariporo, Casanare.
Fuente: Autoras basadas en Núñez (2012).

Según la figura anteriormente expuesta, se puede observar que el tamo obtenido es casi 12 veces mayor que la masa de la cascarilla de arroz generada, y a su vez es casi el doble del arroz producido en cada una de las fincas. Asimismo, se puede evidenciar que la finca 2 es la de mayor generación de arroz con 750 ton/año, en donde se originan cerca de 1763 ton/año de tamo y 150 ton/año de cascarilla de arroz.; por lo que se puede evidenciar la magnitud de estos residuos naturales.

En la misma dinámica del cultivo de arroz, se emplean agroquímicos los cuales generan residuos por empaques plásticos en forma de bolsas, sin embargo, al momento de realizar la visita de campo no se evidenció ningún costal de abono puesto que no se encontraban en temporada de siembra, por lo tanto en la visita técnica no fue posible la toma de muestras de dicho residuo. Debido a esto, se realizó una búsqueda de información en la ficha técnica de los abonos TRIPLE 18, 25-4-24 y UREA para conocer las características del empaque de cada uno de estos, en donde se indica que el producto es envasado en empaques laminados con polietileno de alta densidad en presentaciones de 50 kg de contenido neto (Nutrición de plantas S.A, s.f). Según los datos suministrados en las entrevistas y haciendo una estimación en la finca 1 y 2, se producen cerca de 64 kg y 34 kg de costales de abono al año, respectivamente; lo que demuestra que la masa del residuo plástico en comparación con la del tamo es insignificante.

Considerando la generación de este residuo polimérico dentro de los cultivos y teniendo en cuenta que el polietileno es un termoplástico con propiedades como: tenacidad, flexibilidad, buena resistencia a la fatiga, absorción de humedad cercana a cero, de fácil procesamiento y baja conductividad térmica (Yashas Gowda et al., 2018), las cuales le dan una potencialidad al residuo para ser incorporado como matriz polimérica en la elaboración de un material compuesto, teniendo presente que las propiedades de los materiales compuestos dependen principalmente de las características de la matriz (Wang et al., 2011) y que dichos materiales tienden a tener propiedades como: alta resistencia, alto módulo, baja densidad, resistencia a la fatiga, a la corrosión y al desgaste, así como también bajo coeficiente de dilatación térmica (Zweben, 2015), se advierte que el polietileno cumple las condiciones para servir de matriz del biocomposito.

A partir de los datos obtenidos en las dos etapas de la visita de campo al municipio Paz de Ariporo, se evidenció que los cultivadores coinciden con que el residuo que se genera en mayor proporción es el tamo de arroz, debido a su gran volumen y la extensión del área que ocupa, por lo que se dificulta registrar la cantidad de este residuo. Es necesario resaltar que los encargados de los cultivos (administradores), tienen una larga experiencia en la producción de arroz, pese a esto, no tienen ningún tipo de manual ni conocimiento sobre el manejo ni la gestión adecuada de los residuos que se generan en la dinámica del cultivo, ni se le da la importancia apropiada. Por otro lado, en el informe de gestión de la empresa de servicios públicos del municipio, Paz de Ariporo S.A. E.S.P. se indica que la recolección de residuos sólidos comprende únicamente los residuos producidos por las unidades residenciales o familiares, comerciales e institucionales y su transporte hasta el sitio de disposición final, abarcando sólo el área urbana (Naranjo, M. 2017) y dejando de lado al área rural, teniendo en cuenta que ésta corresponde al 99,95% del área total del municipio (Alcaldía Paz de Ariporo, 2016).

En virtud de lo anterior, desde la comunidad no se ha brindado información sobre la disposición adecuada o el uso y aprovechamiento de los residuos. De igual manera, los cultivadores no manifiestan haber recibido algún tipo de capacitación sobre sostenibilidad y mejoramiento en los procesos productivos. Así pues, la falta de educación ambiental en los cultivadores por parte del gobierno, la Federación Nacional de Arroceros y de la misma academia, son una de las razones por las que existe este tipo de situaciones sobre el mal manejo de residuos en la zona. Cabe resaltar que en el foro “ El Agro Empresarial y la Agroindustria son el Camino” realizado el 22 de noviembre de 2016, el presidente de la Junta Directiva de la Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC), Alejandro Estévez Ochoa, aseguró que *“la agroindustria se debe enfocar en la competitividad, inclusión y sostenibilidad haciendo que pequeños y grandes productores, puedan tener una generación transformadora y de valor agregado”*; también establece un reto en el cual se estipula promover el desarrollo de nuevos proyectos de mayor valor agregado por lo que se hace necesario implementar buenas prácticas en los cultivos incluyendo el aprovechamiento de los subproductos generados.

ETAPA 2:

Las entrevistas fueron realizadas a dos colaboradores en el área de planeación del municipio Paz de Ariporo. El primero de ellos, el Jefe del Banco de Programas de Proyectos del municipio, José Edelmo Chaparro Fonseca, encargado de supervisar todos los proyectos planteados dentro del municipio; y el Jefe de Vivienda y Titulación, Juan David Delgado encargado del control, monitoreo y cumplimiento de los proyectos de vivienda. Debido a estos perfiles profesionales, la información suministrada aporta de

manera significativa en el entendimiento de los proyectos y la dinámica de las VIS en la zona. La siguiente tabla expone los resultados obtenidos, cuyos resultados se muestran en la *tabla 5*.

Tabla 9. *Información proyectos de Vivienda de Interés Social (VIS) en municipio Paz de Ariporo*

Preguntas	Entrevistado 1	Entrevistado 2
Nombres	José Edelmo Chaparro Fonseca	Juan David Delgado
Cargo	Jefe del Banco de Programas de Proyectos	Jefe de vivienda y titulación
¿Hay VIS en el municipio?	Sí, hay Viviendas de Interés Social en Paz de Ariporo	
¿Qué proyectos de VIS tienen actualmente, en qué zona?	Todos los proyectos se encuentran en la zona urbana del municipio, actualmente existen 4 proyectos: ● VIPA: 300 casas, se han entregado 250 ● 200 casas gratis: Se han entregado 85 ● Villa carito: Apartamentos, no ha comenzado la construcción ● Proyecto comunidades negras: 50 casas, está en proceso de aprobación	
¿Cuál es el tiempo en el que se ejecutan los proyectos?	Depende del puente de financiación, generalmente de 4 años en adelante, debido a que se demora mucho tiempo cuando se presentan cambios en los mandatos del país como presidente, gobernador y alcalde.	
¿Cuáles son los materiales en las VIS?	● Se usan materiales tradicionales como ladrillo, concreto, hierro y arena.	● Para proyectos actuales se usan materiales tradicionales (ladrillo, cemento y estructura) ● Para nuevos proyectos se usa una malla, una formaleta (estructura en acero) y concreto.
¿Cuáles son las dimensiones que se tienen en cuenta al realizar las construcciones?	Por lo general 5,50 m x 7 m	Mínimo como lo establece el Plan Básico de Ordenamiento Territorial 3,50 m x 4 m
¿Para qué número de personas se realizan las VIS?	Están pensadas para un promedio de 4-5 personas por vivienda, enfocados en la población urbana	Los proyectos están orientados a la población en extrema pobreza para mejorar sus condiciones de calidad de vida en aspectos como el saneamiento básico y hacinamiento.

Tabla 10. *Información proyectos de Vivienda de Interés Social (VIS) en municipio Paz de Ariporo, continuación*

¿Cómo se distribuyen?	Un piso, dos habitaciones, cocina, baño, sala-comedor, patio y parqueadero
¿Se planean las VIS teniendo en cuenta que son de clima cálido?	No se tiene en cuenta este aspecto, se basan en que el proyecto resulte agradable, económico y funcional, además existen unos diseños establecidos para su aplicación a nivel nacional, sin tener en cuenta el clima del lugar donde se va a realizar el proyecto.
¿Han pensado incluir materiales amigables con el ambiente en los proyectos VIS?	No. Cuando se trabaja con el Ministerio de Vivienda es riesgoso realizar una propuesta adicional al diseño, ya que el tiempo y el presupuesto para el desarrollo del proyecto es limitado, además se piensa que incluir lineamientos ambientales puede aumentar significativamente los costos del proyecto.

Fuente: Autoras y personas entrevistadas

Posteriormente, se visitó el proyecto denominado “Los Alelíos”, con modalidad de 200 VIS gratuitas, con un área por vivienda de 104 m² (48 m² área construida y 56 m² área libre), las cuales cuentan con servicios públicos de agua, alcantarillado y luz; estas viviendas tienen dos habitaciones, un baño (enchapado, con un sanitario, lavamanos y una ducha), sala-comedor, patio con lavadero y garaje tal como se muestra en las *Figura 27* y *Figura 28*. Según Olegario Abril García, el arquitecto encargado del proyecto, los materiales que se utilizan para la estructura de la cubierta son: cercha en lámina y tejas de eternit, el marco de las ventanas es de aluminio, los pisos son en concreto y las puertas son metálicas; al día se fabrican 2 viviendas gracias a su modalidad de viviendas prefabricadas. La cimentación de la casa se realiza con una base en recebo compactado y concreto reforzado (placa flotante); los muros interiores y exteriores son estructurales compuestos por placas prefabricadas de concreto y malla electro soldada los cuales se encofran (por formaletas) para fundir el concreto de 4.000 psi.



Figura 26. Exterior casas proyecto de VIS.

Fuente: Autoras.



Figura 27. Interior de Vivienda Interés Social (baño y sala-comedor).
Fuente: Autoras.



Figura 28. Interior de Vivienda Interés Social (habitaciones y cocina)
Fuente: Autoras.

Durante el diagnóstico ambiental realizado, se evidenció la presencia de proyectos de VIS en el municipio, los cuales no contemplan la posibilidad de utilizar materiales alternativos con menor impacto ambiental debido a los posibles costos adicionales, por lo que continúan utilizando materiales tradicionales. A su vez, estos proyectos son pensados para mejorar la calidad de vida de las personas vulnerables del municipio considerando que en el plan de desarrollo “Paz de Ariporo por el camino correcto” 2016-2019 se establece como meta en el sector de Vivienda construir 400 soluciones de vivienda de interés prioritario, en donde se incluyen las VIS, para beneficiar a la población del municipio, especialmente aquella en condición de pobreza y vulnerabilidad (Acuerdo No. 500.02-004, 2016).

Asimismo, en el diseño del modelo constructivo de las VIS en Paz de Ariporo no se tienen en cuenta los materiales recomendados para el clima cálido-húmedo por la Guía de Asistencia Técnica para Viviendas

de Interés Social (2011), donde se indica que *“es necesario considerar los objetivos de la arquitectura bioclimática, con el fin de armonizar espacios y crear óptimas condiciones de confort y bienestar para sus ocupantes, en concordancia con el clima circundante. Se deben crear espacios habitables, que sean funcionales, física y psicológicamente adecuados, que propicien el desarrollo integral del hombre y sus actividades; todo lo anterior, haciendo uso eficiente de la energía y los recursos”*, haciendo énfasis en que las edificaciones ubicadas en clima cálido húmedo deben tener materiales ligeros y de poca capacidad térmica, y que el diseño arquitectónico debe ser acorde con las condiciones climáticas donde se desarrolla la vivienda.

Cabe señalar, que al momento de realizar la visita al proyecto de VIS, se experimentó una sensación térmica elevada dentro de las viviendas en comparación a la temperatura ambiente, lo que muestra que el confort en estas infraestructuras no es el más adecuado para la población de este municipio y sumado a esto la cantidad de habitantes por vivienda, resaltando que estos inmuebles deben procurar cumplir condiciones de alta calidad ambiental, climatización en línea de confort, eficiencia energética y eco-materiales. (Bedoya, C. 2011). En este orden de ideas, es necesario que los proyectos de VIS cuenten con los lineamientos de la construcción sostenible desde la comunidad, en donde el estado sea partícipe de las buenas prácticas ambientales, las cuales empiezan desde la educación de la población y la priorización de los recursos económicos que otorga para que este tipo de proyectos se lleven a cabo de manera sostenible, atendiendo que en el plan de desarrollo 2016-2019, se indica que uno de los temas de prioridad es el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (Acuerdo No. 500.02-004, 2016).

Como muestra de avance, en el ámbito nacional, CASA Colombia marca un nuevo modelo constructivo pensando en la necesidad de buscar nuevos modelos más eficientes y que se puedan promover viviendas dignas y a su vez sostenibles, en donde se disminuya el consumo de agua, de energía y de emisiones de CO₂; además, brindando un confort en temperatura a sus habitantes, en un país de diversidad climática. La primera Vivienda de Interés Social Sostenible del país certificada “CASA Tenjo”, sumó un total de 49 Puntos, para un nivel de sostenibilidad Muy Bueno; está basada en la inyección de poliuretano en el modelo PVC con el cual se aísla térmicamente la casa, proporcionando confort interno y para los habitantes; este proyecto impulsa la transformación de la construcción de viviendas en el país hacia la sostenibilidad, en alineación con las políticas nacionales de Crecimiento Verde que el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible avala y promueve (CCCS, 2018).

Por otro lado, en el contexto internacional, en Egipto se demostró que es posible desarrollar materiales compuestos para la construcción de programas de viviendas de bajo costo, mediante la combinación de cemento y tamo de arroz como uno de los residuos agroindustriales más abundantes en dicho país, en donde el material obtenido además de ser de bajo impacto ambiental, es más económico comparado con los materiales tradicionales y es un aislante térmico el cual ayuda a mejorar las temperaturas dentro de las viviendas teniendo en cuenta el complejo clima de Egipto; su aplicación sirve de estructura de relleno o como un muro de soporte en el piso debido su baja resistencia a la compresión (Mansour et al., 2007).

Considerando todo lo anterior se visualiza que si existe la posibilidad de la elaboración de un material para disminuir el desaprovechamiento de los residuos del cultivo de arroz, mejorando el modelo constructivo de las VIS en Paz de Ariporo, considerando aspectos como los materiales que se utilizan y el confort térmico de la vivienda, así como atendiendo las condiciones climáticas. Es por eso que, en el presente estudio se integran criterios de sostenibilidad en VIS de la zona de interés, los cuales pretenden incrementar el bienestar y la calidad de vida de los habitantes, mediante el uso de materiales regionales, reutilizados y reciclables, es decir, en este caso usando los residuos como recursos (Susunaga, 2014),

estudiando su potencial para tal fin.

14. 2. Objetivo 2: Elaborar un biocomposito a partir de los residuos agroindustriales del cultivo de arroz y una matriz polimérica.

Inicialmente se realizó una descripción física de forma cualitativa por medio de una imagen tomada a los residuos naturales mediante un Estereoscopio Olympus sz61. La cascarilla de arroz tiene una medida aproximada de 0,94 cm de largo y su espesor es de 0,26 cm; su color varía en un tono dorado pálido y presenta una consistencia quebradiza.

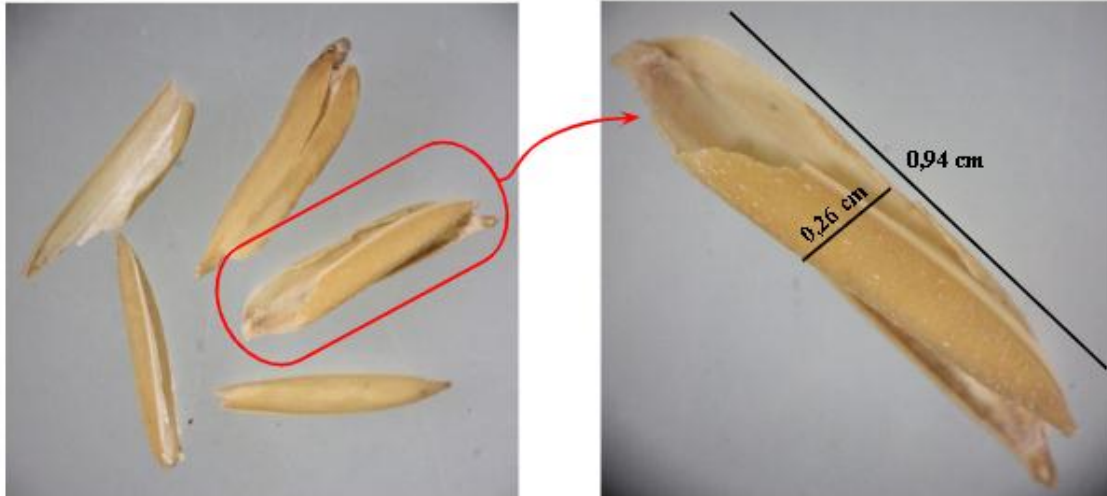


Figura 29. Micrografía de cascarilla de arroz tomada por estereoscopio Olympus sz61.
Fuente: Autoras.

Por otro lado, el tamo de arroz tiene una medida aproximada de 20 cm de largo y un espesor de 0,6 cm, es de color pardo suave, y presenta una estructura por capas.

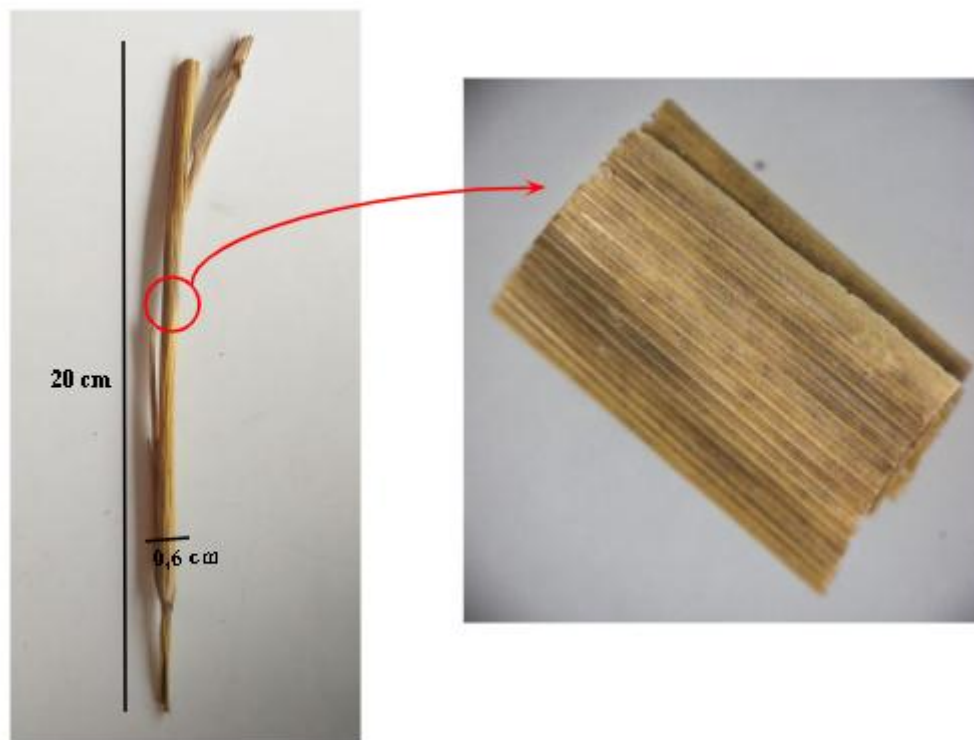


Figura 30. Micrografía de tamo de arroz tomada por Estereoscopio Olympus sz61.
Fuente: Autoras.

Para llevar a cabo la caracterización de las muestras de los residuos naturales recogidos en campo, se realizó un pre-tratamiento de los mismos para así evitar su degradación, mediante el secado en el horno a 70°C por 48 horas para la posterior determinación de sus propiedades. Cabe mencionar que, fue posible obtener los costales de polietileno en cultivos aledaños a la ciudad de Bogotá, así como también en tiendas de agroquímicos; estos fueron lavados para retirar todo tipo de impurezas que pudieran interferir con los resultados de la caracterización.



Figura 31. Empaque de polietileno de alta de densidad de abono 25-4-25 de 50 kg
Fuente: Autoras.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la caracterización química y física de los residuos agroindustriales, nombrándolos de ahora en adelante de la siguiente manera: Tamo (TA), cascarilla (CA) y polietileno (PE).

14. 2. 1. Análisis químico

Inicialmente se determinó la composición y estructura química de la lignina y celulosa, puesto que son los componentes principales del tamo y la cascarilla. De un lado, la lignina es un complejo aromático, heterogéneo, ramificado, de alto peso molecular y no carbohidratado del cual existen muchas unidades estructurales, constituido principalmente por un fenil propano sustituido, cuya estructura química se muestra en la *Figura 32*.

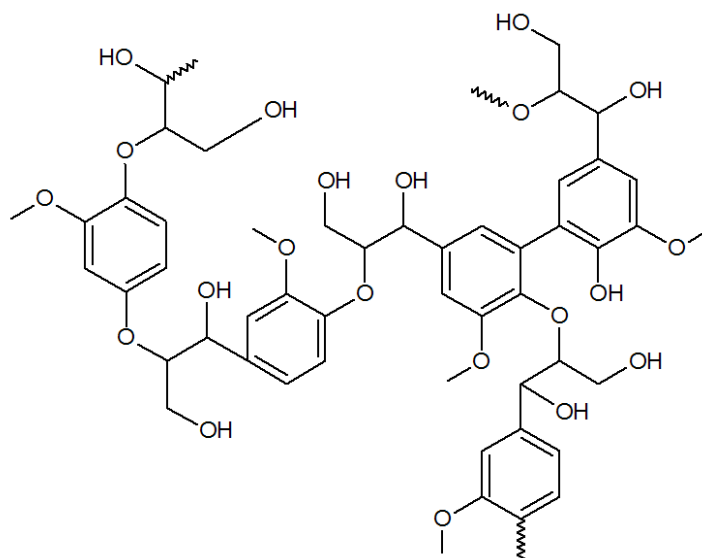


Figura 32. Estructura química de lignina.
Fuente: Vargas et al. (2013).

Por otra parte, la celulosa es un polisacárido compuesto por unidades de glucosa, y su estructura química se muestra en la *Figura 33*. Al provenir de la glucosa, una aldohexosa, posee varios grupos hidroxilo por molécula, los cuales pueden reaccionar químicamente con grupos funcionales como el isocianato, debido a los pares de electrones libres en cada oxígeno de los grupos hidroxilo (Vargas et. al. 2013). Sus propiedades permiten que sea un soporte estructural para las plantas.

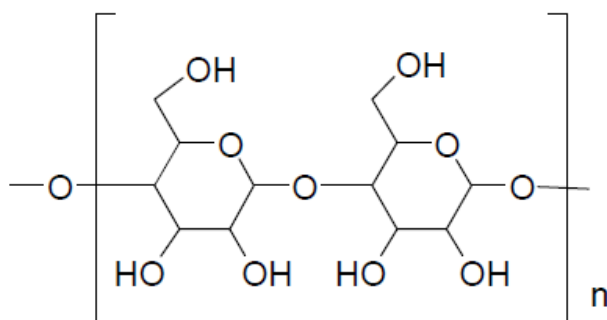


Figura 33. Estructura química de la celulosa.
Fuente: Fonseca (2006).

Conviene destacar que para poder determinar la cantidad de lignina y celulosa presente en los residuos, fue necesario hallar el porcentaje de extraíbles (grasas, gomas, resinas, aceites esenciales, azúcares, alcaloides, almidones y taninos) el cual fue de 9,93% para tamo y 4,81% para cascarilla. Así pues, los resultados obtenidos del porcentaje de lignina y celulosa para cada residuo natural se muestran en la *Tabla 6*, en la cual se realiza una comparación a partir de bibliografía expuesta.

Tabla 11. *Composición porcentual de lignina y celulosa de TA y CA*

	TA			CA		
	(Autoras, 2019)	Cruz et al. (2017)	Yao et al. (2008)	(Autoras, 2019)	Valverde (2007)	Herrera et al. (2012)
Lignina	33,10	15,60	19,00	36,58	22,80	11,27
Celulosa	57,71	36,00	57,00	47,72	39,05	60,12

Fuente: Autoras.

Según los datos experimentales mostrados en la tabla anterior es posible observar que el mayor contenido tanto del tamo como de la cascarilla es de celulosa, correspondiendo al 57,71% y al 47,72% respectivamente, y que a su vez se encuentra en mayor medida en el tamo. Respecto a la lignina, ésta se encuentra contenida en menor proporción en el tamo, no obstante, la diferencia no es significativa entre los residuos (TA=33,10% y CA=36,58).

De igual manera, se puede evidenciar la diferencia en relación con los porcentajes de celulosa y lignina obtenidos en este estudio en cuanto a los datos bibliográficos soportados por investigaciones; esto se debe principalmente a la metodología utilizada, pues en los artículos científicos se llevó a cabo el análisis FDN (fibra detergente neutra) y FDA (fibra de detergente ácido) guiado por la metodología establecida por Georing y Van Soest (1991), la cual utiliza el equipo ankomp 220 para la cuantificación de las fracciones de celulosa y lignina presentes en fibras (Lorenzon et al., 2013). Mientras que, los procedimientos realizados en el presente estudio se basaron en normas técnicas norteamericanas estandarizadas tales como: ANSI/ASTM D1105-56 que determina el porcentaje de sustancias extraíbles; ANSI/ASTM D1103- 60, la cual establece la cantidad de celulosa; y ANSI/ASTM D1106-56 que define el contenido de lignina (Fonseca, 2006).

La lignina posee propiedades aglutinantes que conforman la consistencia fibrosa de los residuos vegetales (RV), donde realizan la función mecánica de sostén (Fonseca, 2006), lo cual proporciona rigidez a la pared celular y actúa como puente de unión entre las células de los residuos vegetales. A su vez, la celulosa es un polisacárido estructural en las plantas y se encuentra en la pared de las células vegetales, en donde forma parte de los tejidos de sostén; una de las propiedades de la celulosa se relaciona con su susceptibilidad a la hidrólisis y su capacidad de absorber agua (Fonseca, 2006).

Debido a estas propiedades el uso de los materiales lignocelulósicos en la formación de polímeros mejora la resistencia a esfuerzos mecánicos, creando un material que es notablemente resistente a los impactos, compresiones y flexiones, además de presentar propiedades de adhesión y maleabilidad (Vargas et al., 2013). Adicionalmente, la cantidad de puentes de hidrógeno en la fibra de celulosa hace que tenga una

estructura muy firme y poco sensible a la degradación; gracias a esto, los componentes de los RV estudiados tienen propiedades beneficiosas para su incorporación en diversos tipos de productos como materiales compuestos que van desde aplicaciones de embalaje hasta materiales de construcción (Marzouki et al., 2019).

Para corroborar que los compuestos determinados anteriormente están presentes en los residuos vegetales, se realizó la Técnica de Espectrofotometría (EIRTF), teniendo en cuenta que en el eje X se localiza el número de onda en cm^{-1} , en donde se indican los modos vibracionales específicos de acuerdo a la composición de los enlaces y en el eje Y se ubica el porcentaje de transmitancia. Para el análisis de los resultados se utilizó la tabla de espectroscopia infrarroja donde se indica la asignación de bandas respecto a los grupos funcionales. Es pertinente mencionar que para realizar el análisis de los espectros, se tuvieron en cuenta las estructuras químicas mencionadas anteriormente y la estructura química del PE la cual se muestra a continuación:

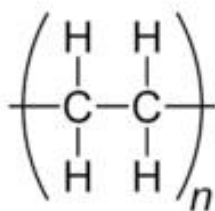


Figura 34. Estructura química del PE.
Fuente: Universidad de Barcelona (s.f).

En las siguientes figuras se muestran las especies químicas predominantes en TA, CA y PE, por medio de espectros.

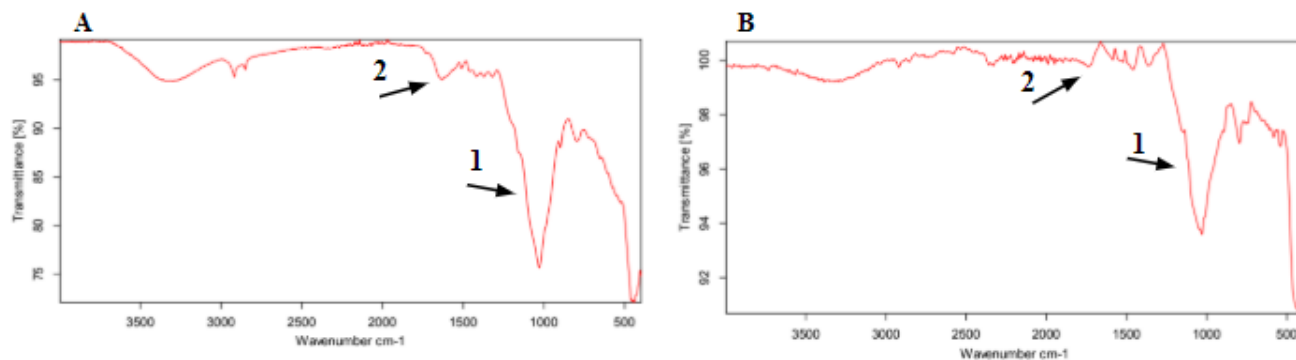


Figura 35. (A) Espectro de infrarrojo TA tamizado; (B) Espectro CA tamizado.
Fuente: Autoras.

Se puede evidenciar que los dos espectros presentan similitud puesto que se conforman por celulosa, hemicelulosa y lignina. Entre la banda 1000 cm^{-1} a la banda 1100 cm^{-1} (1) se muestra una vibración fuerte y media indicando el tipo de enlace O-H y C-O, evidenciando la presencia de alcoholes y éteres; por otro lado es visible que entre los números de onda 1600 cm^{-1} - 1470 cm^{-1} (2) hay presencia de bandas con intensidad débil que indican tipos de enlace C=C y C-H, haciendo alusión a la presencia de grupos aromáticos. Según Arcos, Pinto y Rodríguez (2007) las bandas significativas mayores a 1200 cm^{-1} corresponden a grupos funcionales orgánicos como celulosa, hemicelulosa y lignina, principales componentes de tamo y cascarilla; y las bandas por debajo de los 1200 cm^{-1} pertenecen a grupos funcionales inorgánicos, con rango de vibración de los enlaces principalmente de sílice SiO_2 .

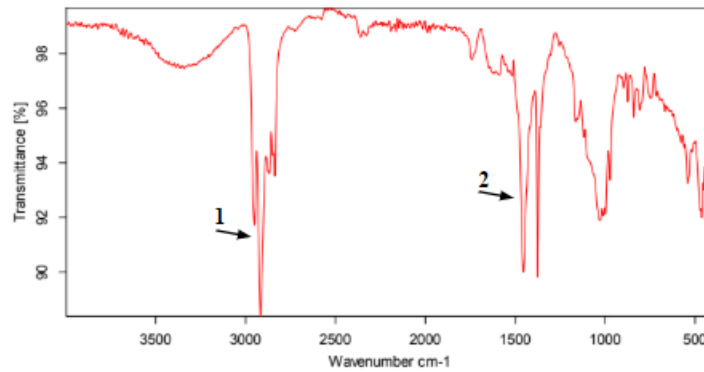


Figura 36. Espectro del PE.

Fuente: Autoras.

En el espectro del polietileno se muestra una banda ubicada entre 3000 cm^{-1} - 2850 cm^{-1} (1) con intensidad fuerte, lo cual confirma la presencia de enlaces C-H, entre el número de onda 1460 cm^{-1} - 1375 cm^{-1} (2) se presenta el enlace CH_3 lo cual hace parte del final de la estructura del polietileno y esto se ratifica por medio de la estructura química del polietileno mostrada en la Figura 34.

14. 2. 2. Análisis físico

14. 2. 2. 1 Porcentaje de humedad residuos

Es indispensable mencionar que para poder caracterizar el residuo polimérico (PE), se elaboraron moldes laminares (Figura 37), por medio de una mufla, llevando el polímero a temperaturas superiores de 130°C puesto que esa es la temperatura de fusión del residuo y se facilitaba más su manejo (Teishev et al., 1993).



Figura 37. Moldes de PE.

Fuente: Autoras.

Para hallar el porcentaje de humedad de los residuos, estos se pusieron en el horno a una temperatura de $104,5^\circ\text{C}$ durante 2 horas, considerando su peso inicial y final para obtener la diferencia en masa y así

determinar el contenido de agua de estos. Los porcentajes obtenidos para los residuos naturales se muestran en la *Figura 38*.

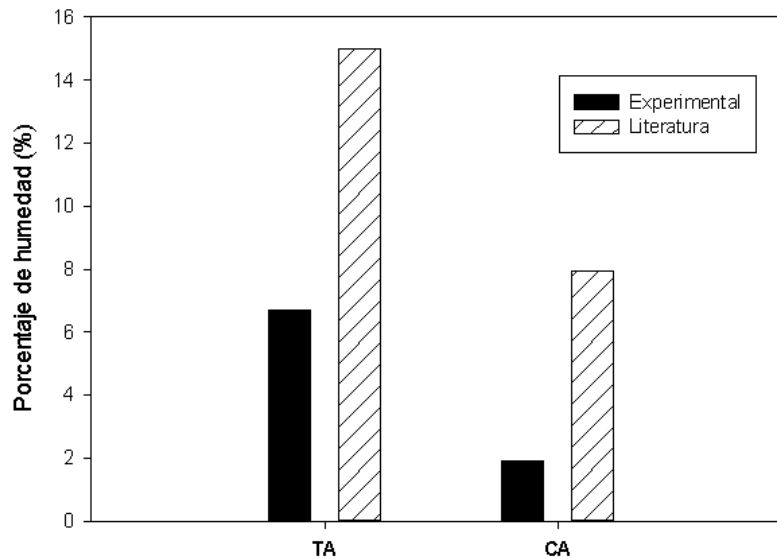


Figura 38. Resultados porcentaje de humedad del tamo y la cascarilla comparados con datos bibliográficos.
Fuente: Autoras basadas en datos de Summers et al. (2003) para TA y Prada & Cortés (2010) para CA.

La gráfica anterior demuestra una diferencia significativa entre los porcentajes de humedad de los residuos vegetales; esto se debe a que los datos de literatura fueron obtenidos mediante la medición de la cantidad de agua de las fibras luego de estar expuestas a la intemperie; mientras que, este estudio realizó un pre-tratamiento de las muestras mediante el secado por 48 h, lo que hizo que disminuyera notablemente la cantidad de agua, dando un porcentaje más bajo del reportado en investigaciones anteriores. Aun así, se puede observar que el tamo contiene casi el doble del contenido de agua de la cascarilla respecto a su masa.

En cuanto al polietileno se obtuvo un bajo porcentaje de humedad correspondiendo a $0,13\% \pm 0,03\%$, esto debido a que este material es hidrofóbico, es decir que no tiene afinidad con el agua puesto que es no polar mientras que el agua es polar (Yashas Gowda et al., 2018); lo cual puede ayudar a combinar las propiedades de los residuos vegetales al momento de formar un material compuesto.

Dicho lo anterior, conocer el porcentaje de humedad es relevante en el proyecto pues indica la masa seca que tiene cada uno de los residuos, los cuales son el recurso principal para la elaboración de biocompositos. Más aún, es un factor que determina la descomposición de los residuos vegetales gracias a la relación existente entre el contenido de agua y el crecimiento de microorganismos (Summers et al., 2003).

14. 2. 2. 2. Determinación de densidad

Para hallar la densidad de los residuos se utilizaron probetas de $250 \text{ mL} \pm 1,5 \text{ mL}$ con un volumen de agua destilada de 220 mL para los 3 ensayos. La masa del residuo natural para cada uno de éstos fue

aproximadamente de 2 g. Para determinar de manera más acertada el desplazamiento del volumen al introducir las muestras se utilizaron recipientes ovalados para asegurar y encapsular la muestra, teniendo en cuenta que el tamo es un material vegetal liviano y que ocupa un gran volumen. De esta manera, primero se pesó cada uno de los recipientes vacíos y se observó el desplazamiento de los mismos, para discriminar este valor en el volumen total de desplazamiento con la muestra. Posteriormente, se ejecutaron los cálculos pertinentes para determinar las densidades. En la *Figura 39* se muestran los datos experimentales sobre la densidad y se comparan los resultados obtenidos en investigaciones anteriores.

Tabla 12. *Resultados densidad promedio de residuos vegetales y polietileno*

Residuo	Densidad (kg/m ³)
Tamo	270 ± 30
Cascarilla	660 ± 10
Polietileno	900 ± 100

Fuente: Autoras.

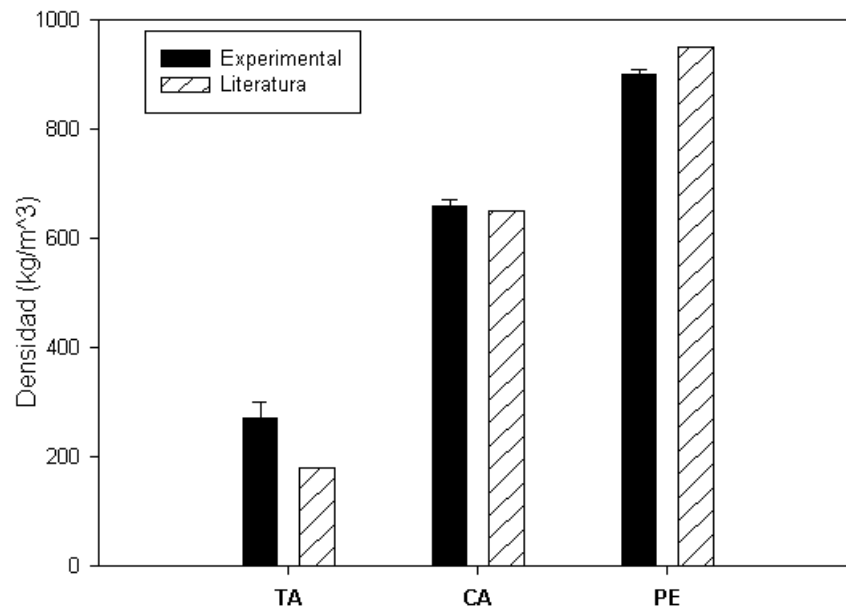


Figura 39. Resultados densidad del TA, CA y PE comparados con datos bibliográficos.

Fuente: Autoras basadas en datos de Kargbo et al. (2010) para el TA; Echeverría & López (2010) para la CA e ISO 1183-1, (2004) para el PE.

Conforme a la gráfica superior se muestra la similitud entre los datos experimentales y bibliográficos, lo que significa que están dentro de los valores esperados. En general las densidades encontradas fueron bajas, en donde el TA posee la menor densidad con un valor de $270\text{kg/m}^3 \pm 30\text{kg/m}^3$, seguido de esto la CA fue de $660\text{kg/m}^3 \pm 10\text{kg/m}^3$; por último, el residuo con mayor densidad fue el de PE con $900\text{kg/m}^3 \pm 100\text{kg/m}^3$. Lo anterior se hace evidente en el manejo y manipulación de éste, ya que una baja masa de este residuo ocupa un área significativa, produciendo dificultades en su almacenamiento e incrementando el costo de su transporte (Sierra, 2009).

14. 2. 1. 3. Porcentaje de hinchamiento

Se determinó el porcentaje de absorción de agua que tienen los residuos durante seis (6) horas en base seca y en base húmeda, graficando los valores en base humedad, debido a que los valores van de 0 a 100% cuyos resultados se muestran a continuación; las gráficas representan en el eje X la raíz cuadrada del tiempo en horas y en el eje Y, el porcentaje de hinchamiento para cada residuo.

En la *Figura 40* se establece que el tamo fue el residuo que presentó la mayor capacidad para absorber agua alcanzando su máximo punto en la primera hora con un porcentaje de $86\% \pm 2\%$, lo que significa que aumentó su peso en seco aproximadamente seis (6) veces; por otro lado, la cascarilla aumentó alrededor de cinco (5) veces su peso inicial, llegando a una máxima absorción de $72\% \pm 2\%$ (*Figura 41*); por último, el polietileno permaneció constante a lo largo de las 6 h de prueba, con un porcentaje máximo de absorción de $0,4\% \pm 0,4\%$, por lo que comparado con los demás residuos su capacidad de absorción es mínima (*Figura 42*).

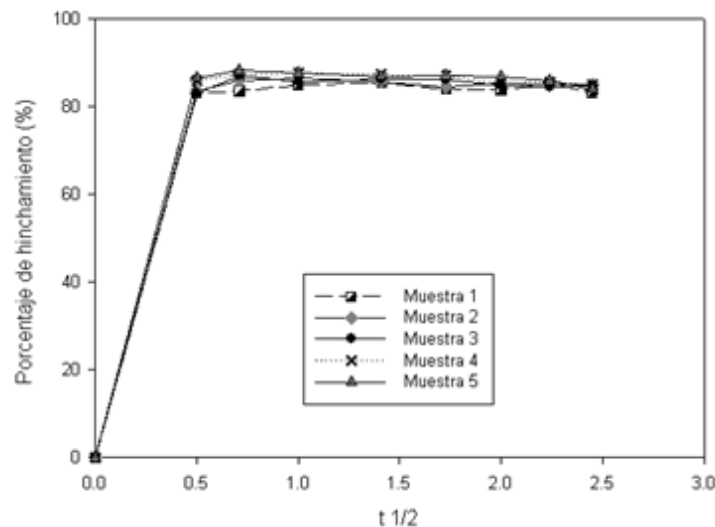


Figura 40. Prueba de hinchamiento TA en base húmeda.
Fuente: Autoras.

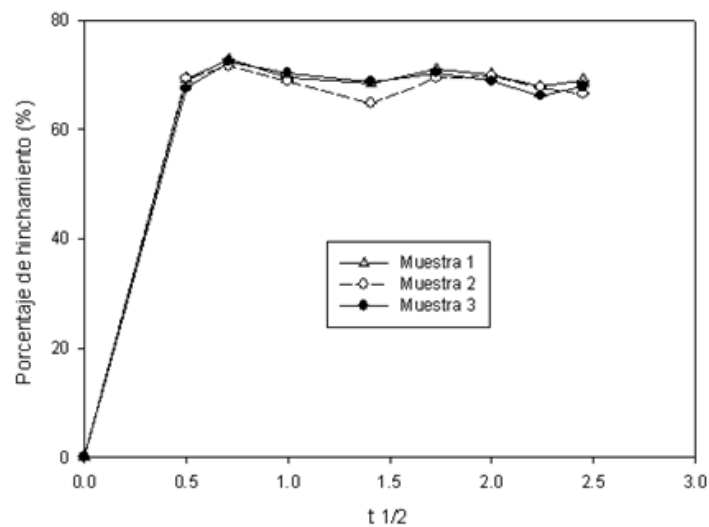


Figura 41. Prueba de hinchamiento CA en base húmeda.
Fuente: Autoras.

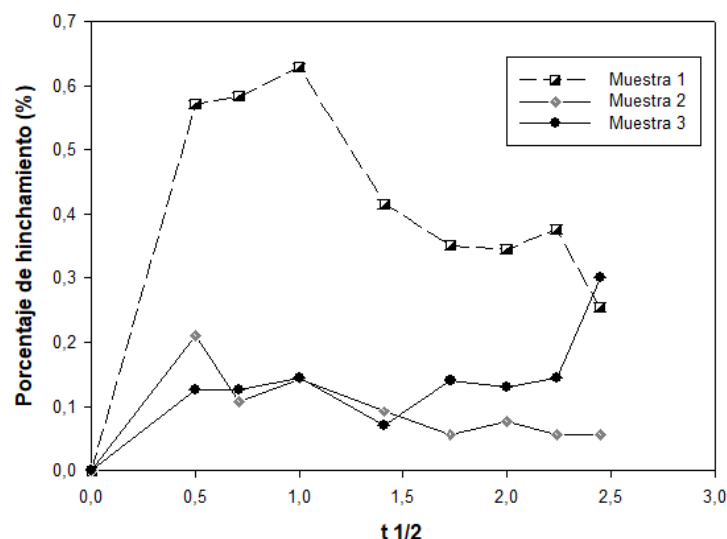


Figura 42. Pruebas de hinchamiento PE en base húmeda.
Fuente: Autoras.

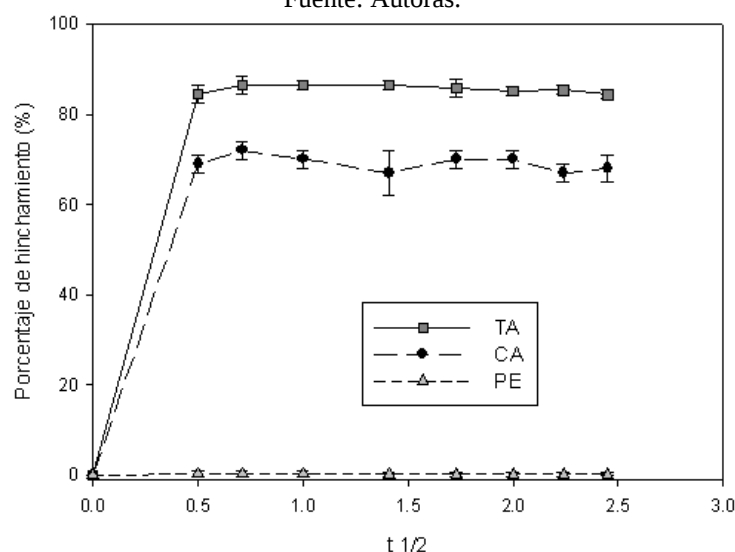


Figura 43. Comparación del porcentaje promedio de hinchamiento de los residuos en base húmeda.
Fuente: Autoras.

Cabe resaltar que la modalidad de las gráficas para todos los residuos fue constante (*Figura 43*) y en el tiempo no se evidencian diferencias significativas, ya que alcanza su estabilidad de absorción de agua durante la primera hora. En vista de que el polietileno absorbe mínimas cantidades de agua se puede inferir que este material en conjunto con los residuos naturales (biocomposito) ayudaría en el aumento de su impermeabilidad.

Para ejemplificar, un proyecto de grado ganador del Premio Nacional a la Vivienda de Interés Social Sustentable Julio Mario Santo Domingo VISS, estudió el desarrollo de nuevos materiales para construcción en la población de Beté, Chocó, en donde se encontró que el PET reforzado con fibra de guadua posee propiedades adecuadas para el desarrollo de materiales compuestos con el fin de mejorar el diseño estructural de viviendas (CCCS, 2016). En dicha investigación se halló que el porcentaje de

hinchamiento en base seca de la guadua alcanzó la estabilización en el contenido de agua en la cuarta hora con un porcentaje de 262,9% (Pérez & Gutiérrez, 2015). Dicho lo anterior, es válido afirmar que aunque el tamo obtuvo un valor máximo de 648,05% en base seca y la cascarilla un valor de 261,54% en base seca, al elaborar un biocomposito con una matriz polimérica como el polietileno, cuya máxima absorción de agua alcanzó un valor de 0,307% en base seca, este biocomposito podría tener un bajo porcentaje de absorción de agua, teniendo en cuenta que algunas propiedades de los materiales compuestos dependen principalmente de las características del material de la matriz.

14. 2. 2. 4. Microscopia de barrido

Por medio de esta técnica se analizó cada uno de los residuos, obteniendo información morfológica, topográfica y composicional en detalle de las muestras. Para esto se analizaron las micrografías de TA, CA y PE obtenidas bajo las condiciones descritas metodológicamente, la cuales se muestran a continuación.

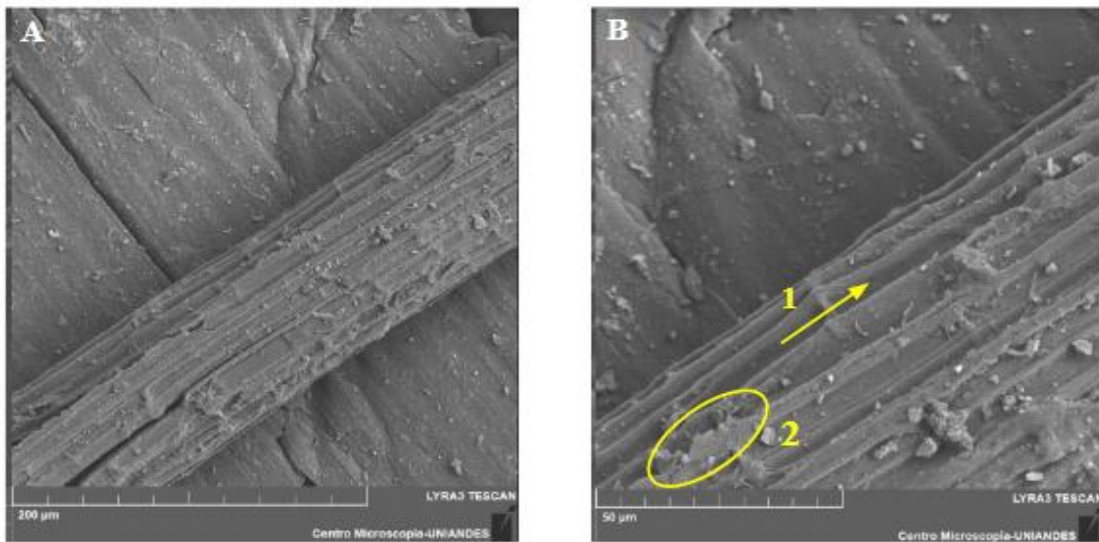


Figura 44. (A) Micrografía del TA con intensidad de 10 kV de magnitud de 728 x con escala 200 µm; (B) Micrografía del TA con intensidad de 10 kV de magnitud de 2000 x con escala 50 µm.

Fuente: Autoras.

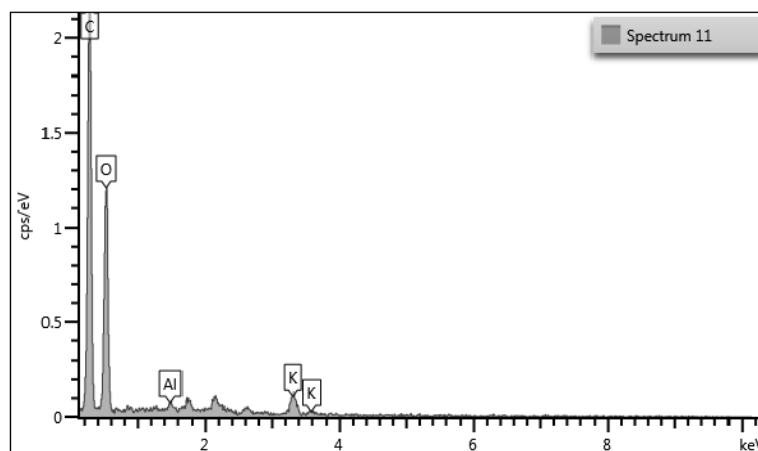


Figura 45. Espectro de EDS para análisis semicuantitativo elemental del TA.

Fuente: Autoras.

En la micrografía (A) de la *Figura 44* se muestran rugosidades, lo que permite al sistema vegetal crecer puesto que capta agua y nutrientes, transportándolos mediante canales formados por fibras de celulosa alineadas y alargadas (1) para formar brotes de microfibra con un diámetro de 3-4 nm. Los brotes de microfibra están unidos por hemicelulosas y lignina para formar macrofibrillas con un diámetro de alrededor de 10-25 nm (Bassyouni & Waheed Ul Hasan, 2015). Asimismo, los canales son diseñados por el sistema vegetal para dar resistencia mecánica y para hacer un fenómeno de capilaridad.

De igual manera, se puede observar el tratamiento físico y mecánico que se le hizo al tamo mediante el calentamiento, corte y tamizado para la disminución del tamaño de las partículas, lo que hace que se deformen superficialmente (2). Teniendo en cuenta también que, tanto en las micrografías (*Figura 44*) como en el espectro de EDS del tamo (*Figura 45*), no hay evidencia de la presencia de la capa de sílice que cubre al tamo no tratado en su estructura compacta, explicando así que la capa de sílice se abrió al momento de realizar el pretratamiento (Momayes et al. 2017).

A continuación se presentan las micrografías obtenidas de la cascarilla:

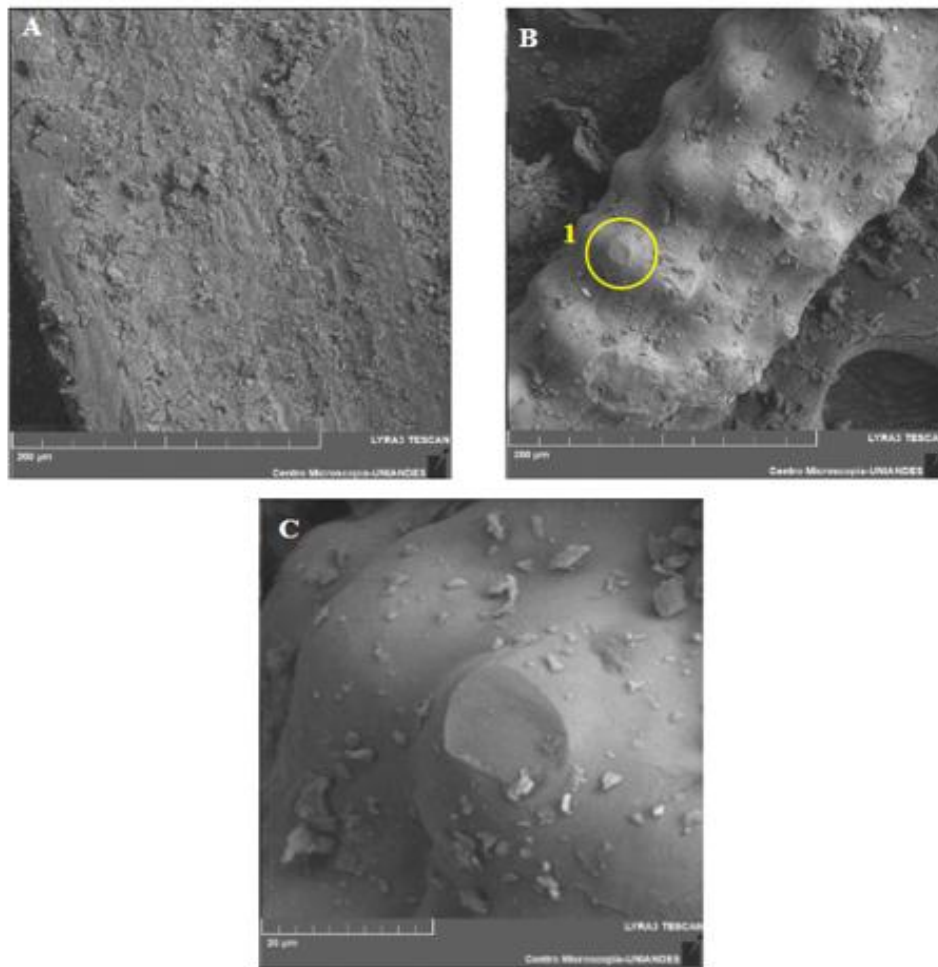


Figura 46. (A) Micrografía del TA con intensidad de 10 kV de magnitud de 2000 x con escala 200 µm; (B) Micrografía del TA con intensidad de 10 kV de magnitud de 728 x con escala 200 µm; (C) Micrografía del TA con intensidad de 10 kV de magnitud de 4.0 kx con escala 20 µm.

Fuente: Autoras.

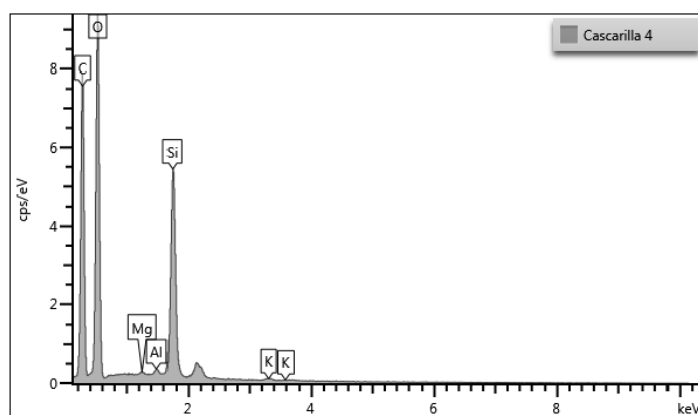


Figura 47. Espectro de EDS para análisis semicuantitativo elemental de la CA.
Fuente: Autoras.

En la *Figura 46*, se muestra que la epidermis tiene una estructura simétrica la cual contiene cutículas corrugadas bien estructuradas dispersas sobre toda la superficie (A) (Bassyouni & Waheed Ul Hasan, 2015; Arcos et al., 2007); al hacer un acercamiento (B) se pueden observar columnas con protuberancias alineadas, simétricas y puntiagudas (C) compuestas principalmente por óxido de silicio sobre la celulosa con un tamaño de aproximadamente 20 μm (Fávaro et al. 2010).

Adicionalmente y tal como se muestra en el espectro de EDS, la CA además de poseer un alto porcentaje de carbono y oxígeno debido a la presencia de lignina y celulosa (*Figura 47*), tiene un contenido de sílice correspondiente al 12,63% del peso, contenido en la superficie externa de la cascarilla de arroz la cual la hace abrasiva y resistente a la humedad; asimismo reduce su biodegradabilidad (Bassyouni & Waheed Ul Hasan, 2015). Igualmente, se hacen evidentes trazas de contaminación de Mg y Al por el corte que tuvo la muestra en la disminución de tamaño.

En términos generales, el porcentaje de humedad obtenido es bajo con respecto al porcentaje de humedad de residuos vegetales como la guadua (35% de capacidad de absorción de agua) (Moreno et al. 2007) De igual manera, el resultado de la densidad de los residuos vegetales fue bajo, en comparación con la densidad del agua (1 g/mL). Igualmente, el porcentaje de hinchamiento de los residuos vegetales muestra una tendencia al equilibrio dentro de la primera hora después de que los residuos vegetales secos entran en contacto con el agua y se mantienen constantes en el tiempo. Sin embargo, se pudo observar que los residuos vegetales presentaron morfologías diferentes por medio de la técnica MEB, lo cual se evidencia en la mayor capacidad de absorción o retención de agua del tamo dado a la presencia de canales y poros en su estructura; mientras que la cascarilla contiene una cantidad de sílice que la hace más resistente a la penetración de humedad y biodegradación (Bassyouni & Waheed Ul Hasan, 2015). Sumado a esto, la composición química de los residuos vegetales y los grupos funcionales presentes en ellos, confirmada en la Técnica EIRTF, tales como alcoholes y éteres los hace polares, es decir hidrofílicos. Asimismo, el polietileno presentó grupos alcanos que al tener enlaces (C - H) en su estructura lo hace ser un material con características no polares, es decir, altamente hidrofóbico. En este orden de ideas, se espera que la adhesión y acoplamiento entre los residuos sea óptima, puesto que al haber sinergia entre los residuos vegetales y la matriz polimérica (PE) pueden contribuir en la funcionalidad de un biocompuesto aprovechado como material de construcción.

14. 2. 3. Preparación del biocomposito

De esta manera, para el desarrollo de este proyecto de investigación, se elaboraron dos (2) composiciones de biocompositos por triplicado (3) en el porcentaje 80/20 (80%/20%) para PE/CA y PE/TA y así evaluar sus propiedades físicas. De igual manera, se realizaron aproximadamente treinta (30) biocompositos en una (1) composición de PE/TA-CA en los porcentajes 80/20 y 70/30. Para cada uno de estos, se hizo un triplicado (3) de moldes laminares, cinco (5) de torsión y cinco (5) de compresión con el fin de realizar una comparación entre ellos para comparar y elegir la mejor composición y proporción del material respecto a sus propiedades. La *Tabla 8* muestra los códigos asignados a las composiciones de los biocompositos elaborados.

Tabla 13. *Códigos porcentuales de la composición de los biocompositos*

Código	Composición PE (%)	Composición TA (%)	Composición CA (%)
PE/TA (80/20)	80	20	-
PE/CA (80/20)	80	-	20
PE/TA-CA (80/20)	80	10	10
PE/TA-CA (70/30)	70	15	15

Fuente: Autoras.

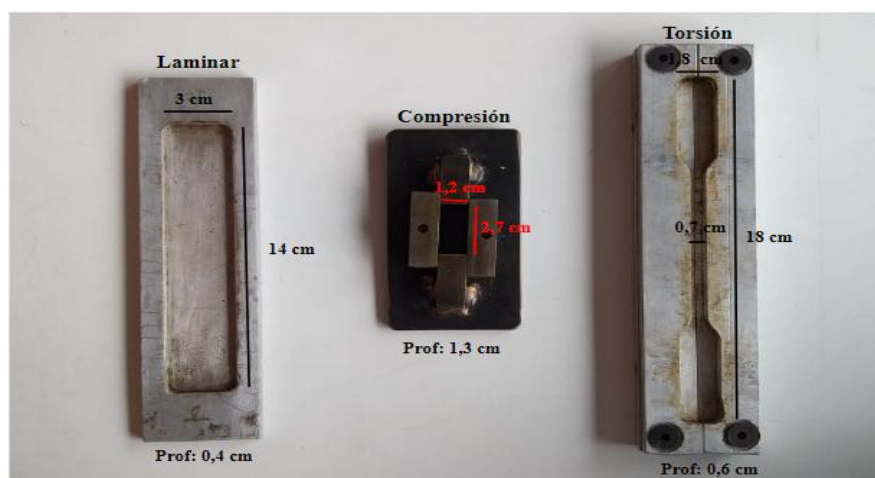


Figura 48. Moldes utilizados en la elaboración del biocomposito.

Fuente: Autoras.

Para realizar los biocompositos se cortaron y tamizaron los residuos naturales para darles un tamaño homogéneo (355 micrómetros), y facilitar su manejo, incorporación y adhesión en la matriz polimérica.



Figura 49. Tratamiento del TA

Fuente: Autoras



Figura 50. Tratamiento de la CA.

Fuente: Autoras.

Posteriormente, se hizo una mezcla del residuo polimérico (PE) y de residuos vegetales (TA y CA) en una cápsula, llevándolos a una temperatura de 200°C establecida manualmente en una mufla y controlada periódicamente, verificando que el polietileno llegará a su temperatura de fusión y de esta manera se pudiera combinar y adherir a los residuos vegetales. Una vez obtenida una mezcla homogénea y de fácil maleabilidad, se vertió en los moldes (*Figura 48*) previamente lubricados con silicona en aerosol para facilitar su desmolde, asegurando que el material estuviera de manera uniforme en todo el molde.

A continuación, se muestran los biocompositos obtenidos para ambas proporciones.

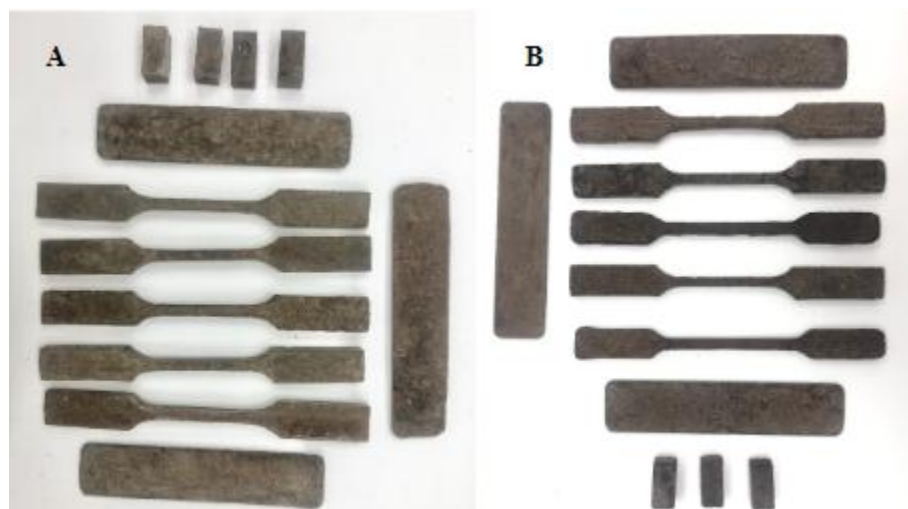


Figura 51. (A) Biocompositos PE/TA-CA proporción 80/20; (B) Biocompositos PE/TA-CA proporción 70/30.
Fuente: Autoras.

Vale la pena resaltar que, al momento de la elaboración de los biocompositos, se encontró que hubo mayor facilidad de acoplamiento de la cascarilla a la matriz polimérica en los biocompositos PE/CA (80/20), PE/TA-CA (80/20 y 70/30), en comparación con el tamo, pues este al tener menor densidad ocupaba mayor área superficial que la cascarilla en los biocompositos, haciendo que el fenómeno de adhesión con el polietileno fuera más lento, tal como se evidenció en el biocomposito PE/TA (80/20), en donde dio como resultado una aglomeración de la fibra en el biocomposito. Por otro lado, el biocomposito PE/TA-CA (80/20 y 70/30) al tener un menor porcentaje de tamo de arroz (10%), tuvo una menor dificultad en su ejecución.

14. 3. Objetivo 3: Caracterizar física y químicamente el biocomposito elaborado.

Para caracterizar físicamente los biocompositos se cortaron en tres, para que la determinación de sus propiedades como el porcentaje de hinchamiento y la densidad no tuvieran tanta incertidumbre debido a la pérdida de masa que se presenta, tal como se muestra a continuación.

14. 3.1 Pruebas físicas:

14. 3. 1. 1. Densidad de biocompositos

El promedio de los resultados experimentales obtenidos en la prueba de densidad, al igual que los datos de densidad esperados para cada uno de los biocompositos, se muestran en la siguiente *Tabla 9*. Cabe mencionar que la densidad esperada se determinó mediante la composición porcentual de los residuos en los biocompositos y sus respectivas densidades, las cuales fueron halladas anteriormente (*Figura 39*).

Tabla 14. Resultados densidad promedio de biocompositos elaborados y su densidad esperada.

Muestra	Densidad experimental (kg/m ³)	Densidad esperada (kg/m ³)
PE/TA (80/20)	700 ± 70	780 ± 90
PE/CA (80/20)	850 ± 70	860 ± 10
PE/TA-CA (80/20)	720 ± 70	820 ± 30
PE/TA-CA (70/30)	680 ± 70	780 ± 10

Fuente: Autoras.

De la *Tabla 9* y la *Figura 52* se deriva que no se halló diferencia significativa entre los valores experimentales obtenidos en la densidad de los biocompositos; sin embargo, el de mayor densidad fue el de PE/CA (80/20) con 850 kg/ m³ ± 70 kg/ m³, con una diferencia máxima de 170 kg/ m³ ± 70 kg/m³ entre los demás biocompositos, en donde el de menor densidad fue el de PE/TA-CA (70/30). Con respecto a los datos obtenidos y los experimentales tanto el biocomposito PE/TA-CA (80/20) como el PE/TA-CA (70/30) fueron menores de lo esperado, con un margen de error de 12% y 14% respectivamente, dichos errores son aceptables considerando que los datos obtenidos en pruebas experimentales no deben superar el 15% de error relativo (Sánchez, 2014). La diferencia entre los valores se debe a factores como la temperatura y la pérdida de masa al momento de realizar el material, los cuales influyen en que los valores sean menores a los esperados, sin embargo, según lo muestra la siguiente gráfica hubo una misma tendencia entre los datos esperados y los obtenidos experimentalmente.

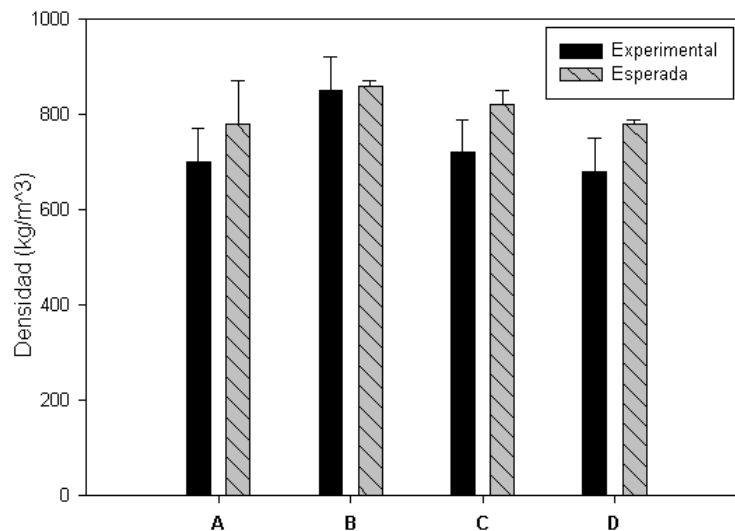


Figura 52. Densidad obtenida y esperada de biocompositos (A) PE/TA (80/20); (B) PE/CA (80/20); (C) PE/TA-CA (80/20); (D) PE/TA-CA (70/30).

Fuente: Autoras.

Del mismo modo, se realizó una comparación y se encontró una similitud entre los datos de densidad obtenidos en la presente investigación y un estudio en el cual se halló una funcionalidad para biocompuestos en construcción de sistemas de abastecimiento de agua con densidades de vástago (20%) - PE de baja densidad (80%) de 0,83 g/mL y residuos foliares (20%) - PE de baja densidad (80%) de 0,75 g/mL (Romero y González, 2019), motivo por el cual los biocompositos elaborados en el proyecto actual

se consideran potenciales para su aplicación en diversos campos de ingeniería teniendo en cuenta que los biocompuestos requeridos deben tener baja densidad y alta resistencia (Thakur et al., 2017).

14. 3. 1. 1. Porcentaje de hinchamiento

Se realizó a los 4 biocompositos elaborados la prueba de porcentaje de hinchamiento por triplicado, plasmando los resultados en las gráficas y mostrando los cálculos de manera más explicativa en anexos.

A continuación, se muestra la comparación de los resultados obtenidos entre los biocompositos PE/TA (80/20) y PE/CA (80/20) (Figura 53), así como los de PE/TA-CA (80/20) y (70/30) (Figura 54) y sus respectivos promedios (Figura 55).

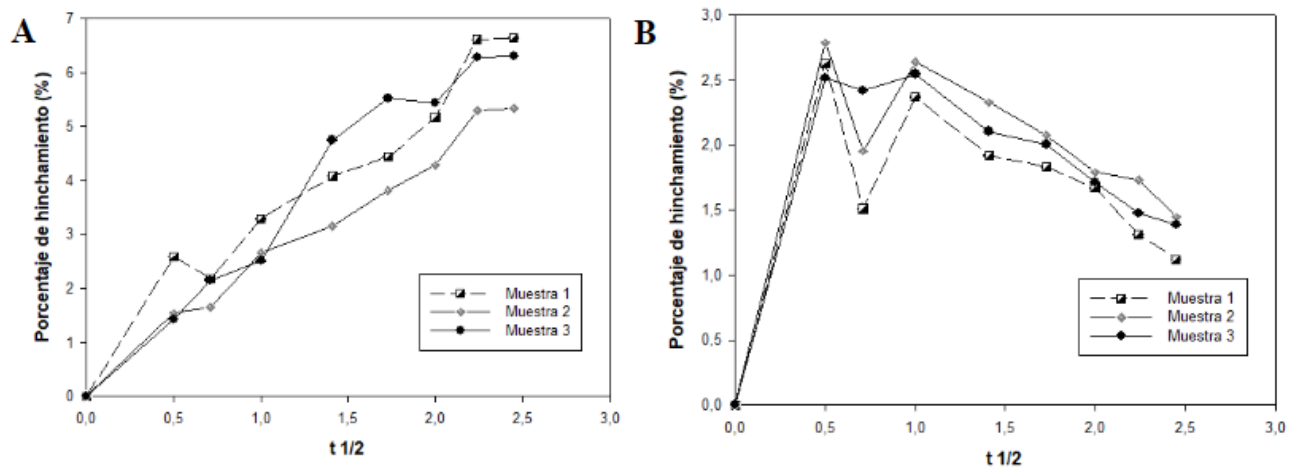


Figura 53. (A) Prueba de hinchamiento PE/TA (80/20) base húmeda; (B) Prueba de hinchamiento biocomposito PE/CA (80/20) base húmeda.

Fuente: Autoras.

En la figura anterior se puede evidenciar un constante incremento de absorción de agua del biocomposito PE/TA (80/20) con respecto al tiempo (A), hasta llegar a su punto de equilibrio en la última hora, siendo este su punto máximo de absorción con un porcentaje de 7,111% en la muestra 1. Por el contrario, en la gráfica B se muestra un aumento inicial, seguido de un descenso gradual durante el periodo de prueba establecido, siendo el punto máximo de absorción 2,786% perteneciente a la muestra 2 del biocomposito PE/CA (80/20).

Los resultados proporcionan soporte concluyente que el polietileno ayuda significativamente a que la capacidad de absorción de agua de los biocompuestos sea menor que la de los residuos vegetales gracias a las propiedades hidrofóbicas del polietileno, reduciendo aproximadamente 79% el porcentaje de hinchamiento del tamo y 70% la de la cascarilla; lo que significa una baja polaridad de los biocompositos.

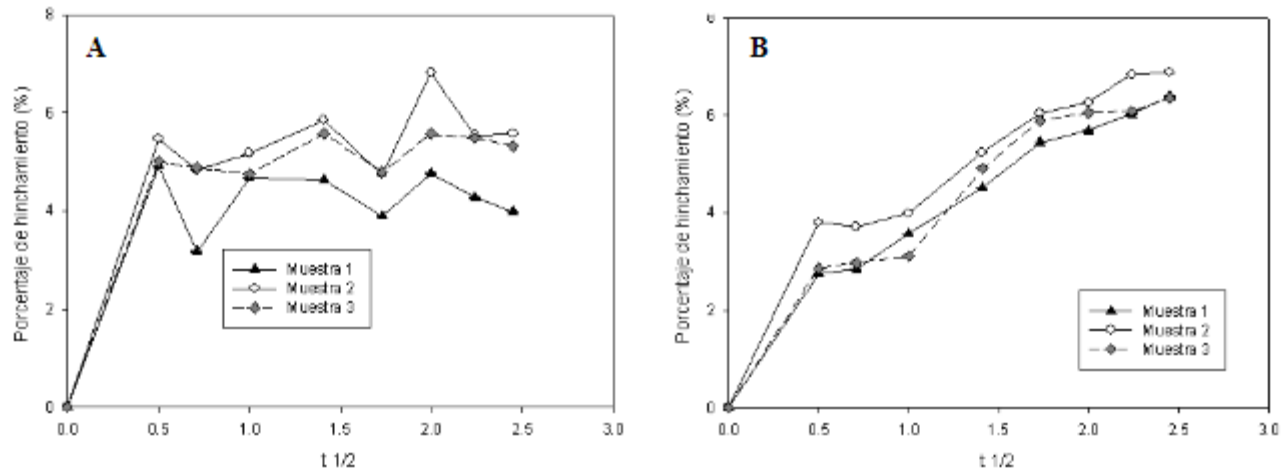


Figura 54. (A) Prueba de hinchamiento biocomposito PE/TA-CA (80/20) base húmeda; (B) Prueba de hinchamiento biocomposito PE/TA-CA (70/30) base húmeda.

Fuente: Autoras.

Es interesante observar la modalidad de equilibrio que se muestra en el biocomposito PE/TA-CA (80/20) en la gráfica (A), puesto que en la primera hora se evidencia un aumento significativo manteniéndose en un grado similar de absorción a lo largo del tiempo de prueba; en comparación con los resultados obtenidos en la gráfica (B) los cuales indican un constante aumento en la capacidad de absorción del biocomposito PE/TA-CA (70/30) a lo largo del tiempo, sin demostrar su punto de saturación de agua, es decir, de equilibrio. Lo anterior se debe en principio al aumento en el porcentaje de tamo, el cual presenta mayor capacidad de absorción de agua y en la disminución del porcentaje de polietileno.

A continuación, se muestra la comparación de los promedios obtenidos en las pruebas de hinchamiento realizadas a cada biocomposito.

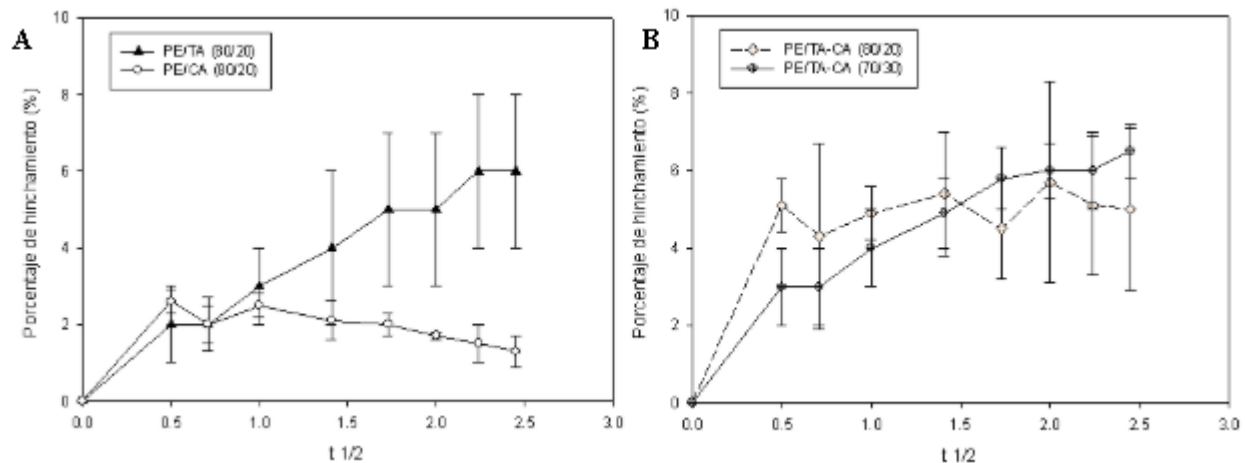


Figura 55. (A) Comparación del promedio del porcentaje de hinchamiento biocompositos de PE/TA y PE/CA (80/20) base húmeda; (B) Biocompositos PE/TA-CA (80/20 y 70/30) base húmeda.

Fuente: Autoras

De la comparación del resultado obtenido en la *Figura 55*, la gráfica A mostró ventajas en el biocomposito PE/CA (80/20) debido a su baja capacidad de absorción de agua con respecto al biocomposito de PE/TA. Por su parte, en la gráfica B se evidencia un porcentaje de absorción similar en los dos porcentajes de PE/TA-CA, sin embargo, el biocomposito PE/TA-CA (80/20) indicó un comportamiento constante a lo largo de las seis (6) horas establecidas, en contraste con el biocomposito PE/TA-CA (70/30), que como se menciona anteriormente no presenta un equilibrio en su capacidad de absorción.

En comparación con trabajos similares los cuales desarrollaron nuevos materiales para construcción, uno realizado en la población de Beté, Chocó, en donde el porcentaje de hinchamiento resultante en el biocomposito realizado con PET y reforzado con fibra de guadua obtuvo un valor máximo de 15,6% (Pérez & Gutiérrez, 2015) y otro ensayo realizado en ladrillos cerámicos mostró que su porcentaje de absorción de agua es de 5,557% (Rojas, 2018); valores cercanos a los datos obtenidos de los biocompositos en el presente estudio que están entre 2,3% y 6,5%, acertando en la posible implementación en el modelo constructivo. Resaltando que la humedad en los materiales de construcción podría ocasionar daños en la salud debido a la posible propagación de mohos, bacterias y pestes de insectos ocasionando problemas de salud en los ocupantes de las construcciones (EPA, 2016).

14. 3. 2: Análisis químico

14. 3. 2. 1. Técnica de espectroscopia EIRTF

En lo que se refiere a la composición química de los biocompositos elaborados, a continuación se muestran los espectros correspondientes.

En la *Figura 56* se hace evidente la similitud entre los espectros, confirmando los resultados de la caracterización química de los residuos agroindustriales, resaltando los grupos funcionales encontrados en cada uno de ellos; en las gráficas A y B se indican alcanos entre la banda de intensidad media ubicada entre 3000 cm^{-1} - 2840 cm^{-1} (1), en la banda de intensidad fuerte entre las bandas 1075 cm^{-1} - 1020 cm^{-1} se encuentran grupos funcionales como éteres y alcoholes. Por último se muestra la presencia de grupos aromáticos en la banda de intensidad fuerte ubicada 900 cm^{-1} - 690 cm^{-1} (3). Mientras que, en las gráficas C y D se indica el estiramiento o doblamiento típicos de grupos como alcanos en la banda de intensidad media en el número de onda 2950 cm^{-1} (4), entre las bandas 1600 cm^{-1} y 1475 cm^{-1} (5) se puede observar una banda con intensidad media haciendo referencia a grupos aromáticos.

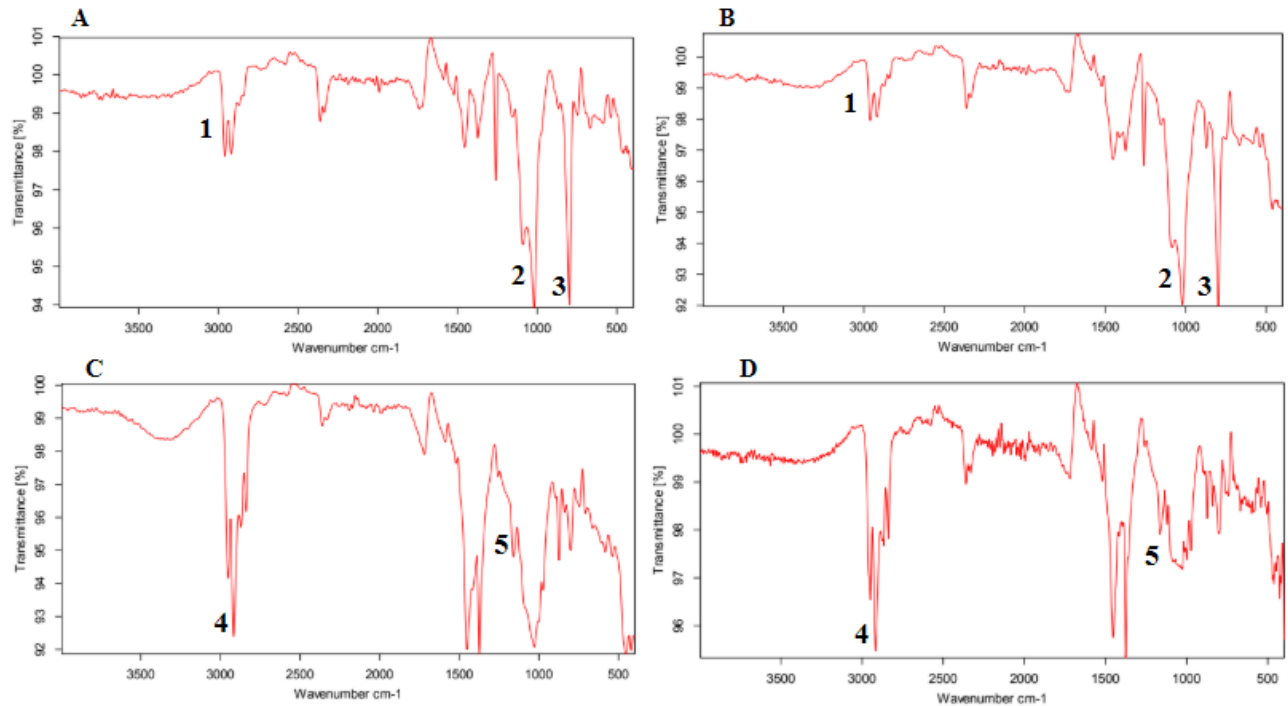


Figura 56. (A) Espectro de infrarrojo biocomposito PE/TA (80/20); (B) Espectro biocomposito PE/CA (80/20); (C) Espectro biocomposito PE/TA-CA (70/30); (D) Espectro biocomposito PE/TA-CA (80/20).

Fuente: Autoras.

14. 3. 2. 2. Microscopia de barrido de (MEB):

Para evaluar estructural y morfológicamente cada uno de los biocompositos elaborados se utilizó MEB, para de esta manera determinar el comportamiento de adhesión en cada uno de ellos y conocer si pueden tener un buen rendimiento a nivel macroscópico. Es pertinente mencionar que los materiales compuestos incluyen tres fases físicas básicas: la fase continua o matriz (polietileno); la fase discontinua o de refuerzo que está disperso y rodeado por la matriz (residuos vegetales); la otra se denomina interfase de compuestos, que es la superficie de contacto entre la fase de discontinua y la fase continua (Wang et al., 2011). A continuación, se describen cada una de las micrografías para los cuatro (4) biocompositos.

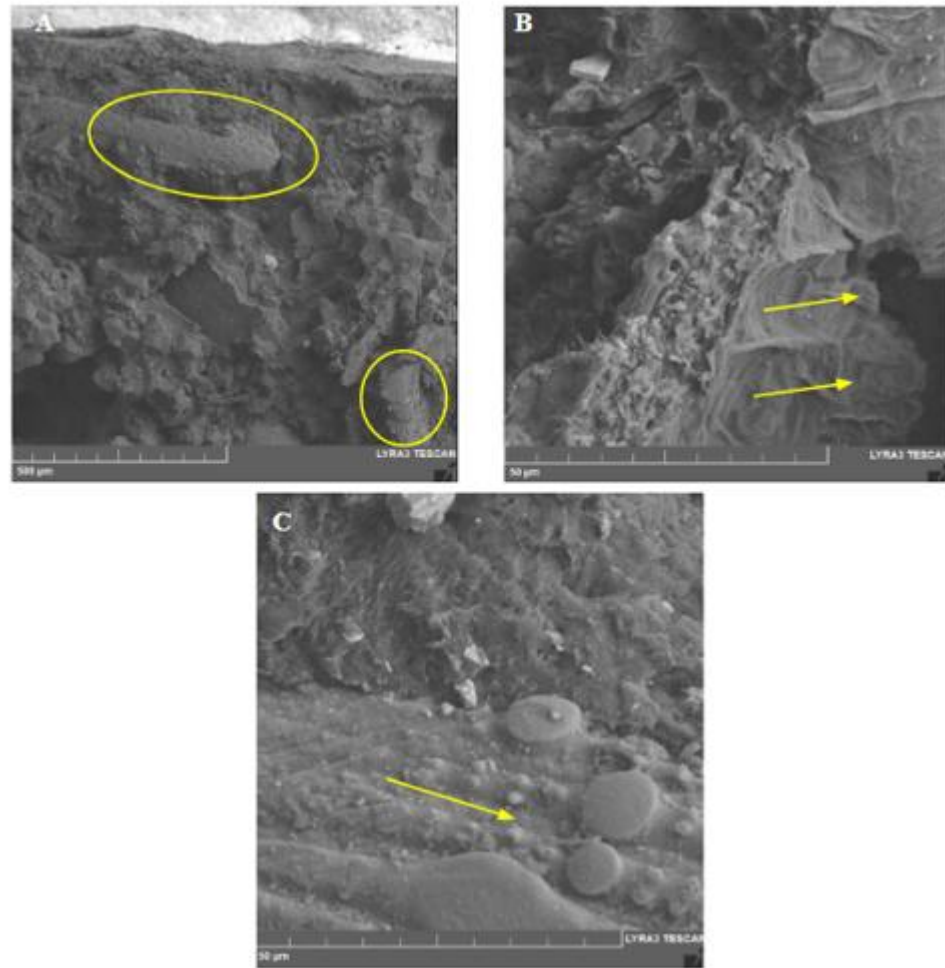


Figura 57. (A) Micrografía Biocomposito PE/TA (80/ 20) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 200 x con escala 500 µm; (B) Micrografía Biocomposito PE/TA (80/ 20) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 3.00 kx con escala 50 µm; (C) Micrografía Biocomposito PE/TA (80/ 20) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 3.36 kx con escala 50 µm.

Fuente: Autoras.

Las micrografías superiores muestran el biocomposito PE/TA (80/20); en la imagen A se presenta la buena incorporación del tamo con la matriz polimérica debido a que la lignina le da propiedades hidrofóbicas a la fibra natural que le permiten tener una mejor adhesión con el polietileno. También se puede evidenciar el tamaño de las partículas de tamo disperso que es aproximadamente 500 µm, lo que indica que pudo haber errores sistemáticos al momento de tamizar el tamo, considerando que el tamaño máximo de las partículas esperado era de 355 µm. Asimismo, en la imagen B se observa la zona de corte del biocomposito dejando evidencia el desprendimiento del tamo al momento de corte, el cual deja canales allí señalados; en la imagen C se indica la presencia de tamo cubierto de polietileno, como se señala en la imagen, demostrando una buena incorporación del tamo en la matriz polimérica. En términos generales hay una buena interfase entre el polietileno y el tamo, puesto que no se presentan vacíos.

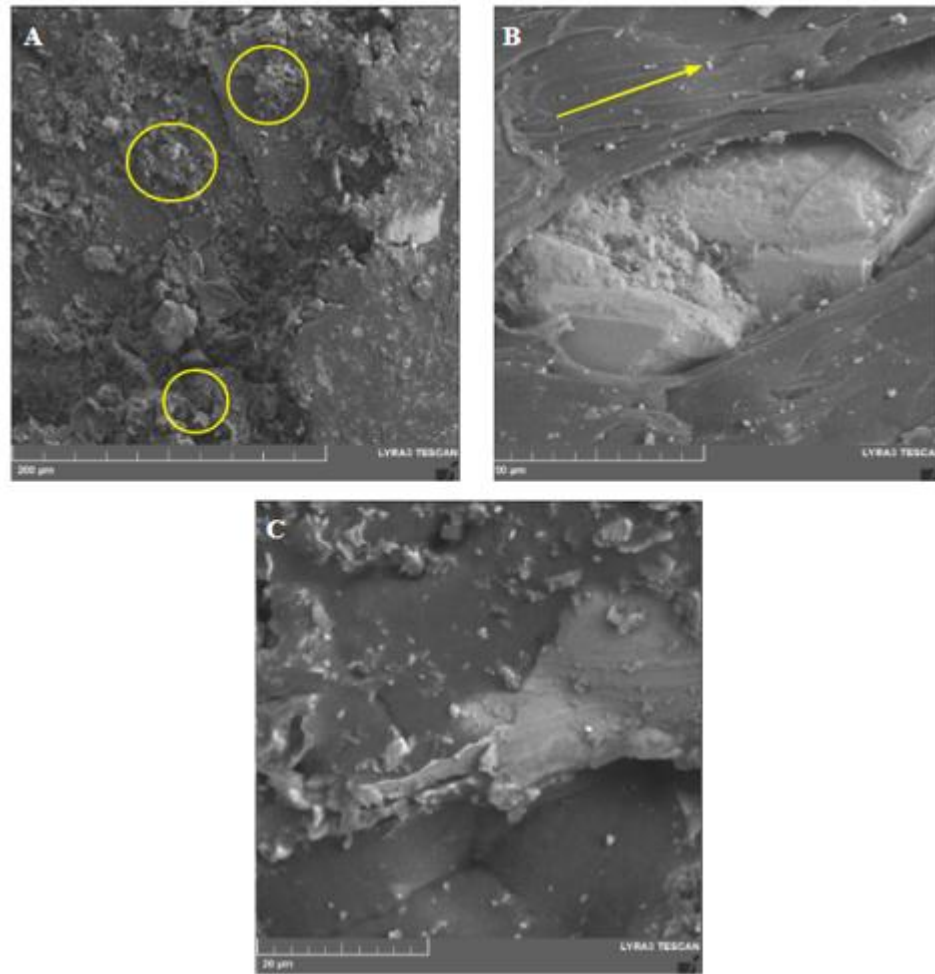


Figura 58. (A) Micrografía Biocomposito PE/CA (80/ 20) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 728 x con escala 200 μm ; (B) Micrografía Biocomposito PE/CA (80/ 20) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 1.95 kx con escala 50 μm ; (C) Micrografía Biocomposito PE/CA (80/ 20) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 3.99 kx con escala 20 μm .
Fuente: Autoras.

Las imágenes mostradas en la *Figura 58*, proporcionan un mejor entendimiento del comportamiento de incorporación de la fase dispersa (CA) en la fase continua (PE) del biocomposito PE/CA (80/20), puesto que no se muestra con claridad en la imagen la diferencia de la cascarilla y el polietileno; sin embargo, se pueden observar irregularidades en la superficie haciendo alusión al recubrimiento del polietileno a la cascarilla (A) resaltando su inmersión en la matriz polimérica (PE), tal como se observa en la imagen C. De otra parte, se puede evidenciar la dirección de moldeo del material y las estrías generadas en el polietileno (B;1) debido a la presión axial realizada en la búsqueda de uniformidad en todo el biocomposito, que también genera algunos espacios vacíos en el material.

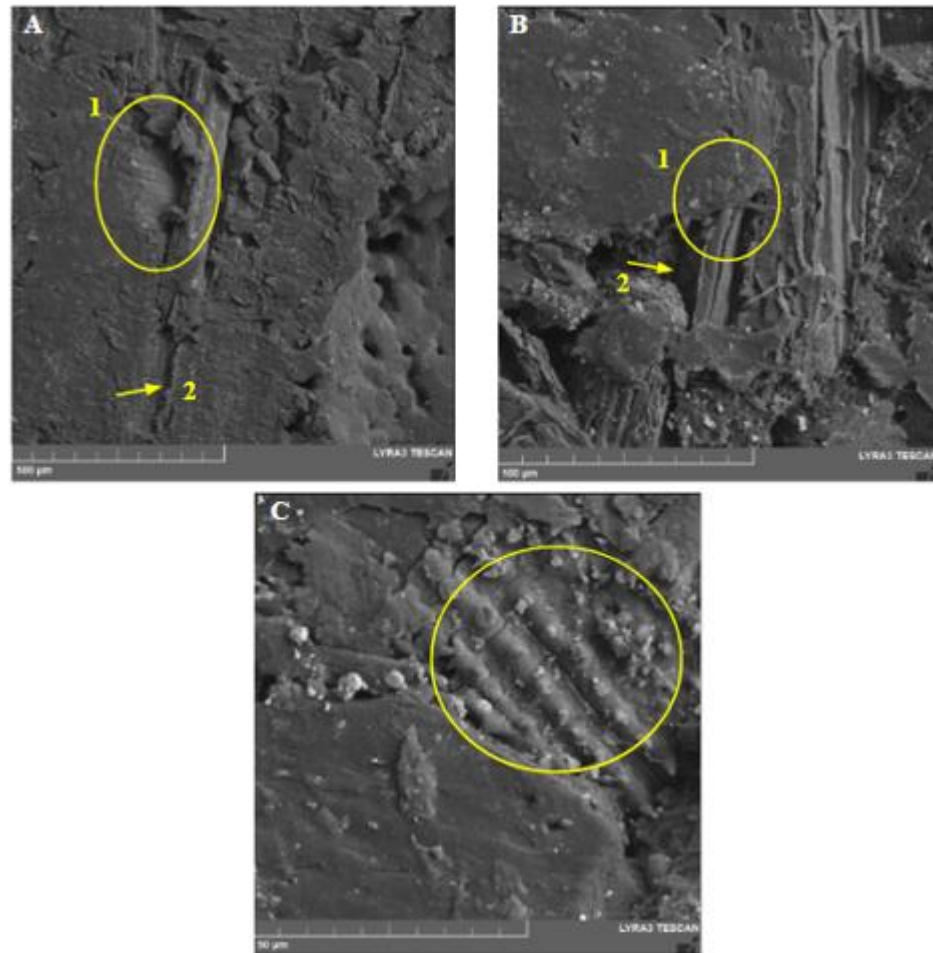


Figura 59. (A) Micrografía Biocomposito PE/TA-CA (70/ 30) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 200 x con escala 500 μm ; (B) Micrografía Biocomposito PE/TA-CA (70/ 30) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 1.20 kx con escala 100 μm ; (C) Micrografía Biocomposito PE/TA-CA (70/ 30) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 2.55 x con escala 50 μm .

Fuente: Autoras.

Atendiendo la composición porcentual del biocomposito PE/TA-CA (70/30), en la *Figura 59* se observa más material vegetal; en la imagen A se evidencia la unión del tamo con la matriz polimérica y se señala el desplazamiento del polietileno en la zona de fractura (1) generando estrías en el polietileno (2). En la imagen B se resalta como la matriz polimérica envuelve y recubre los residuos vegetales (1) y se muestra una distribución heterogénea entre ellos debido a la forma en la que se hizo el material, en donde inicialmente se mezclan los componentes y luego se vacían en el molde, lo que no permite tener una organización en las fibras y genera vacíos en su morfología (2) que pueden disminuir la resistencia del material.

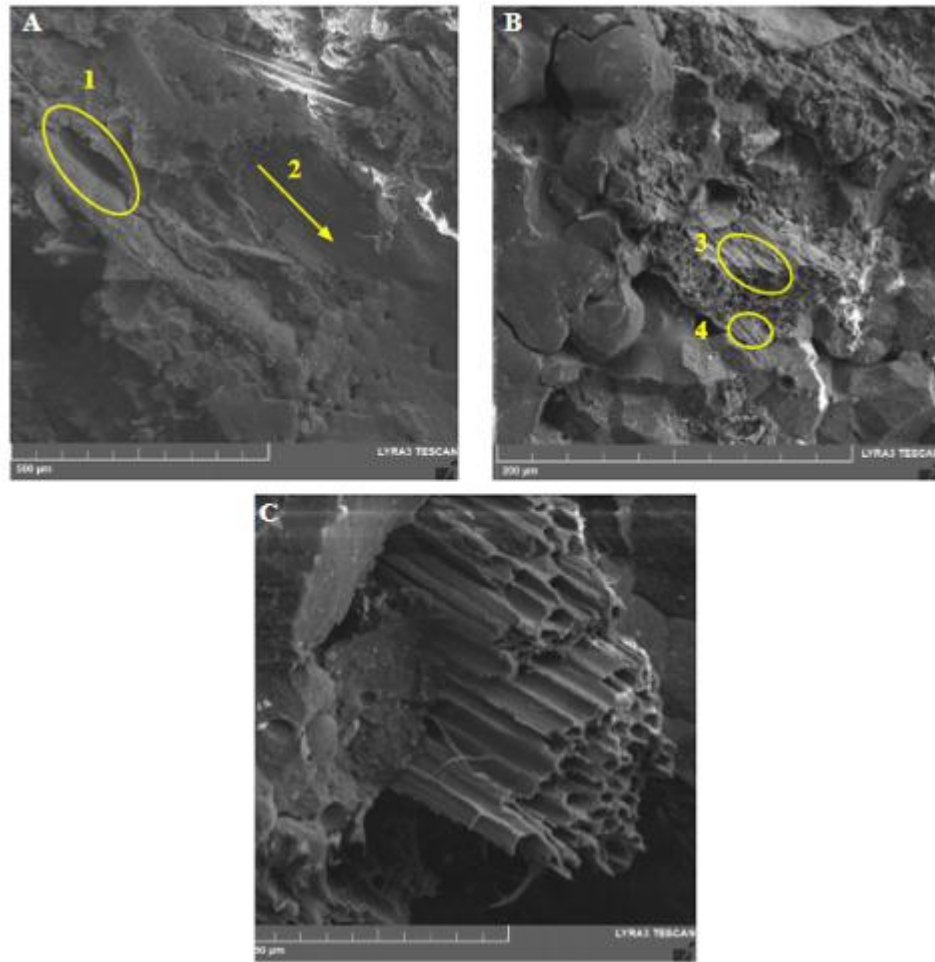


Figura 60. (A) Micrografía Biocomposito PE/TA-CA (80/ 20) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 238 x con escala 500 µm; (B) Micrografía Biocomposito PE/TA-CA (80/ 20) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 827 x con escala 200 µm; (C) Micrografía Biocomposito PE/TA-CA (80/ 20) con intensidad de 10.0 kV de magnitud de 2.41 kx con escala 50 µm.
Fuente: Autoras.

En la imagen A de la *Figura 60* se observa la presencia de vacíos propios del moldeo debido al aire generado al momento de verter la mezcla del polietileno y los residuos vegetales en los moldes (1); sin embargo, no se encuentran muchos espacios en el material entre la matriz polimérica y las partículas de los residuos, lo que indica que las fases dispersas se incrustan en la matriz continua; igualmente se visualiza la dirección de la presión axial generada en el moldeo (2). En la imagen B de la *Figura 60* se pueden observar estrías en la zona de corte debido a la técnica de moldeo que se utilizó, como también se nota la presencia de tamo con un tamaño de 100 µm y su porosidad debido al micro canales en su estructura (3). En la imagen C de la *Figura 60* se puede advertir con mayor precisión la incorporación de los residuos vegetales en el polietileno, así como el tamaño de los micro canales del tamo de aproximadamente 4 µm.

De todo lo anterior, cabe resaltar que existe una muy buena interfase entre los residuos vegetales puesto que se incorporan a la matriz polimérica. Del mismo modo, se pudo visualizar con mayor facilidad el tamo de arroz en el biocomposito puesto que el área superficial de éste es mayor que el área de la cascarilla debido a su tamaño, mostrando una diferencia en los biocompositos PE/TA (80/20) y PE/CA (80/20). De igual manera, dependiendo de la cantidad de la fase dispersa (RV) estas se pueden incorporar dentro de la matriz polimérica; es decir, entre menos porcentaje de composición exista de los residuos vegetales se genera un fenómeno de

adhesión interfacial adecuada. Lo anterior se reitera en las dos proporciones realizadas de PE/TA-CA, siendo el biocomposito PE/TA-CA (70/30) el que presentó más vacíos en el total de su morfología, en comparación con el de PE/TA-CA (80/20), el cual cumplió con los requerimientos físicos de unión entre los residuos tanto polimérico como vegetales actuando como un único material.

Al respecto, puede sugerirse que para obtener un mejor resultado en la homogeneización del material se utilicen metodologías al vacío, las cuales permiten que no existan espacios de aire en los materiales compuestos. Es importante mencionar que en el proceso de elaboración de los biocompositos no se realizaron tratamientos químicos a los componentes que influenciarían en la adhesión de los residuos vegetales a la matriz polimérica; no obstante, se obtuvieron resultados adecuados en la interfase de estos materiales.

Para poder determinar el biocomposito con mejor desempeño para su potencial implementación como material constructivo en VIS del municipio Paz de Ariporo, Casanare se realizó una evaluación respecto a las caracterizaciones físicas realizadas a cada uno de los materiales (PE/TA (80/20); PE/CA (70/30); PE/TA-CA (70/30); PE/TA-CA (80/30)) por medio del criterio analítico completo, para el cual se tuvieron en cuenta cuatro (4) propiedades físicas, morfología, interfaz, porcentaje de hinchamiento y densidad, proporcionando a cada una de estas un valor de importancia explicado en la *Tabla 10*.

Tabla 15. Criterio de asignación del grado de importancia de las propiedades físicas a evaluar.

Valor	Importancia	Criterio
0	Nada importante	La propiedad la puede tener o no el material y no va a afectar su funcionalidad.
2	Poco importante	La propiedad que así esté o no en el rango, no va a afectar su funcionalidad.
4	Importante	La propiedad mantiene su funcionalidad pero con el tiempo se va disminuyendo.
6	Muy importante	La propiedad genera que se mantenga la funcionalidad del material.

Fuente: Autoras adaptado de Martín (2012).

Para poder asignar este valor de importancia se definió cada una de estas propiedades pensando en la necesidad de tener funcionalidad en construcción de viviendas. Por un lado, tener una excelente interfase en el biocomposito va a permitir o no que éste tenga resistencia y rigidez, añadiendo que al no presentarse una interfase en el material éste no va a tener sostén alguno, por lo tanto, no va a poder ser funcional. De otra parte, tener un bajo porcentaje de hinchamiento en el material lo ubica apto para ser usado en construcción, debido a que estos materiales están permanentemente expuestos a condiciones de humedad, dando prevalencia a resultados que muestren un equilibrio en el tiempo. Esta propiedad se relaciona con la morfología presente en el material, puesto que entre más poros se presenten en él, más rápida puede ser su degradación, haciéndolo poco funcional. Por último, una presencia de baja densidad le aporta ligereza y practicidad al material.

Tabla 16. *Ponderación de las categorías*

Categoría	Morfología	Interfase	% Hinchamiento	Densidad
Valoración	4	6	4	4
Valor ponderado (%)	22,2	33,4	22,2	22,2

Fuente: Autoras.

A continuación, se evaluaron los cuatro (4) biocompositos teniendo en cuenta el nivel de representatividad asignado a cada categoría, destinando un puntaje que va de 1 a 10, como se muestra a continuación:

Tabla 17. *Asignación de puntaje para cada biocomposito*

Biocomposito	Morfología	Interfase	% Hinchamiento	Densidad	Total
PE/ TA (80/20)	7	7	6	9	7,2
PE/CA (70/30)	8	9	9	7	8,3
PE/TA-CA (70/30)	8	8	8	10	8,4
PE/TA-CA (80/20)	9	9	10	8	9,0

Fuente: Autoras.

De acuerdo con la tabla anterior, el biocomposito con un mayor puntaje en la evaluación del criterio analítico completo fue PE/TA-CA con un puntaje de 9,0 sobre un máximo de 10, debido al equilibrio que maneja en su capacidad de absorción, además de la buena interfase entre el polietileno y los residuos vegetales. A manera de comparación se destaca el biocomposito de PE/TA-CA 70/30, el cual obtuvo un puntaje de 8,4, dada su baja densidad y buena adhesión a la matriz polimérica. Los resultados obtenidos en la valoración de los materiales fueron indispensables para la elección de los dos (2) biocompositos con mejor desempeño.

14.2.4 Propiedad térmica

14.3.4.1. Capacidad calorífica:

Para hallar la capacidad calorífica (Cp) se llevó a cabo la determinación de la capacidad calorífica específica de las dos proporciones de biocomposito PE/TA-CA (80/20) y PE/TA-CA (70/30). A continuación, se muestra el termograma obtenido.

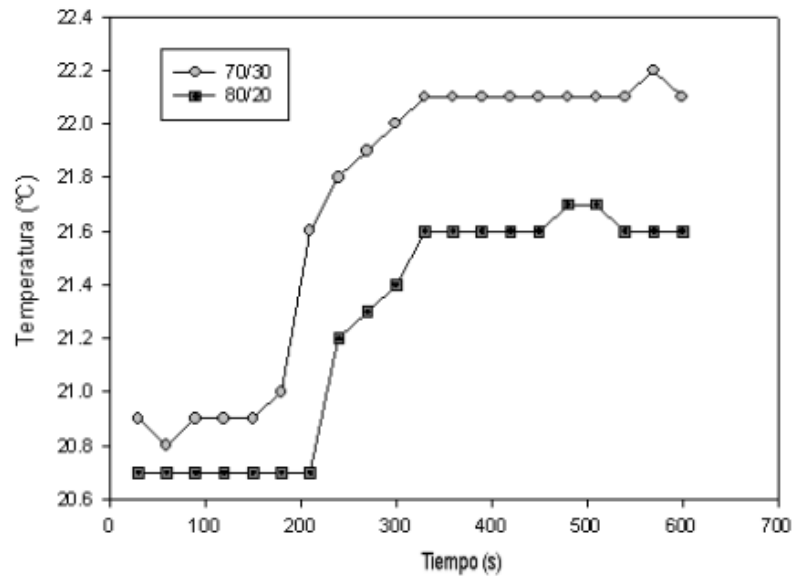


Figura 61. Termograma capacidad calorífica biocompositos PE/TA-CA (80/20) y PE/TA-CA (70/30).
Fuente: Autoras.

Para determinar la capacidad calorífica de los biocompositos PE/TA-CA en proporciones 80/20 y 70/30 se aplicó la Ecuación 11 donde se establece un balance de energía para la cuantificación de esta propiedad, tal como se muestra a continuación:

Tabla 18. *Datos para determinación de la capacidad calorífica del biocomposito PE/TA-CA (80/20)*

Capacidad calorífica del agua (J/g °C)	4,184
Peso del agua (g)	100,1446
Peso muestra 80/20 (g)	3,3652
Temperatura agua en ebullición (°C) (T_{i_m})	91,0

Fuente: Autoras.

- Determinar ΔT

$$\Delta T_{H_2O} = (21,6 - 20,7)^{\circ}C$$

$$\Delta T_{H_2O} = 0,9^{\circ}C$$

$$\Delta T_m = -(21,6 - 91,0)^{\circ}C$$

$$\Delta T_m = 69,4^{\circ}C$$

- Sustituir valores en Ecuación 11

$$Cp_m = \frac{(100,1440g) * (4,184 J/g^{\circ}C) * (0,9^{\circ}C)}{(3,362g) * (69,4^{\circ}C)}$$

$$Cp_m = 1,6 J/g^{\circ}C * 1000g/kg$$

$$Cp_m = 1600 J/kg^{\circ}C$$

Tabla 19. *Datos para determinación de la capacidad calorífica del biocomposito PE/TA-CA (70/30)*

Capacidad calorífica del agua (J/g °C)	4,184
Peso del agua (g)	100,1570
Peso muestra 80/20 (g)	3,8219
Temperatura agua en ebullición (°C) (T_{i_m})	91

Fuente: Autoras.

1. Determinar ΔT

$$\Delta T_{H_2O} = (22,1 - 21,0)^\circ C$$

$$\Delta T_{H_2O} = 1,1^\circ C$$

$$\Delta T_m = -(22,1 - 91,0)^\circ C$$

$$\Delta T_m = 68,9^\circ C$$

2. Sustituir valores en Ecuación 11

$$Cp_m = \frac{(100,1570g) * (4,184 J/g^\circ C) * (1,1^\circ C)}{(3,8219g) * (68,9^\circ C)}$$

$$Cp_m = 1,8 J/g^\circ C * 1000g/kg$$

$$Cp_m = 1800 J/kg^\circ C$$

Es importante señalar que la Cp del biocomposito PE/TA-CA (80/20) es mayor que el resultado obtenido en la Cp del biocomposito PE/TA-CA (70/30). A continuación, se hace una comparación de los resultados presentados junto con materiales convencionales utilizados en construcción, cabe resaltar que los materiales de construcción tienen una propiedad resistiva que depende directamente del espesor e inversamente del coeficiente de conductividad térmica, el cual se explica más adelante.

Tabla 20. *Capacidad Calorífica (Cp) de materiales convencionales usados en construcción.*

Material	Cp (J/kg°C)
Madera de pino	2512
Polietileno de alta densidad	2250
Corcho comprimido	2000
Biocomposito PE/TACA (80/20)	1800
Biocomposito PE/TACA (70/30)	1600
Poliestireno	1650

Tabla 21. *Capacidad Calorífica (Cp) de materiales convencionales usados en construcción, continuación*

Material	Cp (J/kg°C)
Madera de construcción	1360
Madera pesada	1250

Fuente: Autoras basadas en Hernández (2014).

14.3.4.3 Coeficiente de conductividad térmica

Inicialmente se realizó un molde de compresión en proporción (PE 100%), para poder establecer una comparación y validar si existe una mejora en las propiedades del material por la adición de residuos como el TA y la CA. En la *Figura 63* se muestra el termograma obtenido (ΔT vs tiempo) para el biocomposito PE/TA-CA (80/20) y el ajuste correspondiente del mismo, como ejemplificación. Posteriormente se muestra la comparación del ajuste de las tres (3) pruebas realizadas.

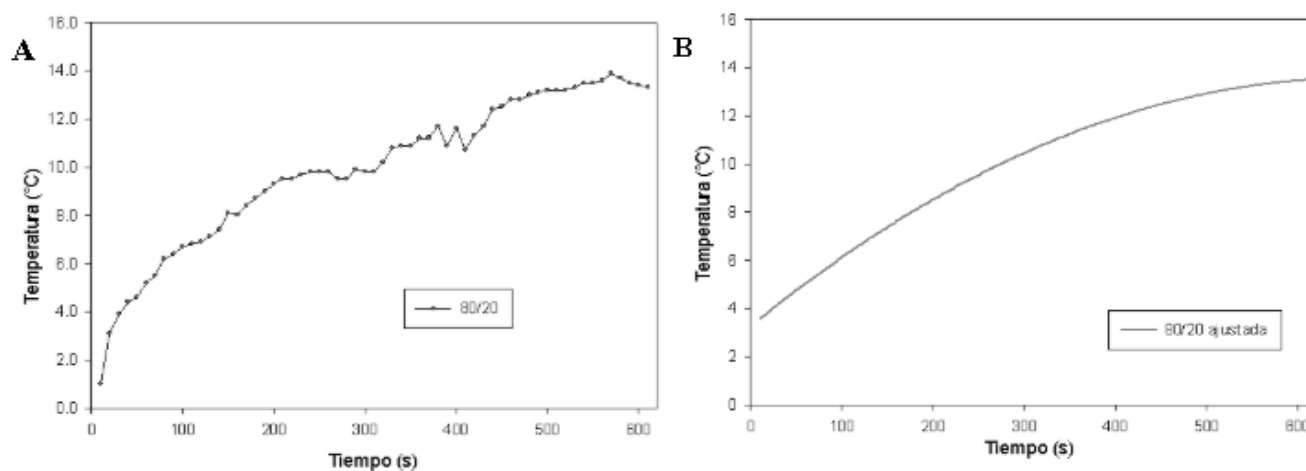


Figura 62. (A) Termograma biocomposito PE/TA-CA (80/20); (B) Termograma ajustado biocomposito PE/TA-CA (80/20).

Fuente: Autoras

En la *Tabla 16* se presentan las ecuaciones obtenidas en el ajuste realizado en el programa SigmaPlot de cada uno de los termogramas de las muestras y sus respectivas gráficas (*Figura 63*).

Tabla 22. *Ajuste de gráficas de termogramas cambio de temperatura*

Muestra evaluada	Ecuaciones	Coefficientes	Error estándar coef.	R²
PE/TA-CA (80/20)	$Y = Ax^2 + Bx + C$	A = $-2.3991 * 10^{-5}$	$2.7045 * 10^{-5}$	0.9647
		B =0.0310	0.0017	
		C =3.2579	0.2324	
PE/TA-CA (70/30)	$Y = Ax^2 + Bx + C$	A = $-1.8183 * 10^{-5}$	$4006 * 10^{-6}$	0.7311
		B =0.0187	0.0026	
		C =4.9746	0.3443	
PE	$Y = Ax^2 + Bx + C$	A = $-2.6153 * 10^{-5}$	$3.9147 * 10^{-6}$	0.7882
		B =0.0234	0.0026	
		C =3.4142	0.3263	

Fuente: Autoras.

En la siguiente gráfica se muestra la comparación de los termogramas ajustados obtenidos en la prueba de coeficiente térmico, evidenciando una amplia diferencia entre el comportamiento de ΔT del polietileno y ΔT del biocomposito PE/TA-CA (80/20), infiriendo un mejor aislamiento en este material.

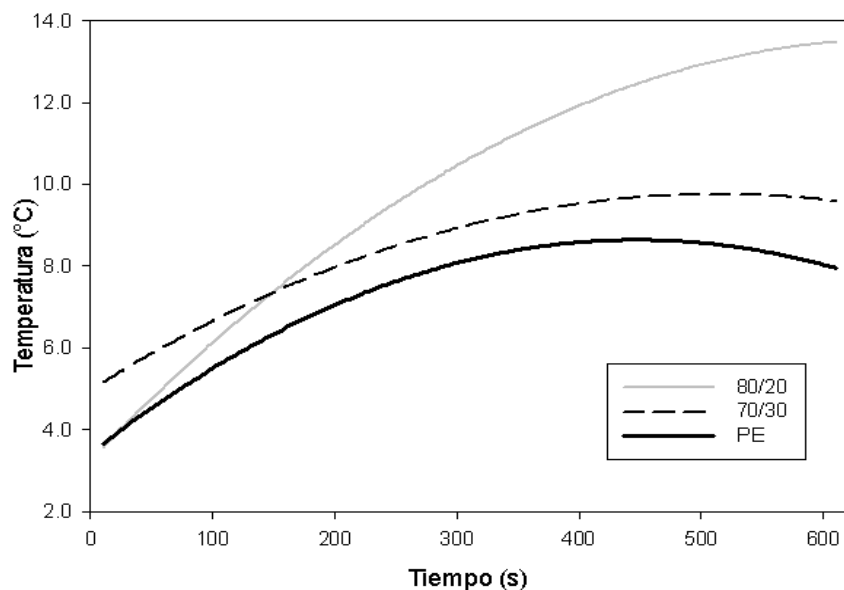


Figura 63. Termogramas ajustados PE/TA-CA (80/20), PE/TA-CA (70/30) y PE.
Fuente: Autoras.

Para hallar el coeficiente de conductividad térmica de cada material y determinar su propiedad aislante, se tuvo en cuenta los resultados mostrados en la figura anterior, seleccionando los últimos 2 min para determinar el coeficiente de conductividad mediante la aplicación de la Ecuación 13 debido a que es el momento en que la diferencia de temperatura encuentra equilibrio.

Tabla 23. Resultados coeficiente de conductividad térmica

Muestra evaluada	Coeficiente de conductividad térmica (W/m°C)
PE/TA-CA (80/20)	3,30
PE/TA-CA (70/30)	6,47
PE	6,44

Fuente: Autoras.

A partir de la tabla anterior se puede inferir que los resultados obtenidos no fueron los esperados teniendo en cuenta que contrastan con el coeficiente de conductividad térmica de cada uno de los residuos utilizados es de 0.49 W/m°C para el polietileno de alta densidad (INEOS, s.f), 0,067W/m°C para el tamo (Wei et al., 2015) y 0,0360 W/m°C para la cascarilla de arroz (Cadena & Bula, 2002); esto puede explicarse por el método utilizado, dejando a un lado factores sistemáticos y/o normativos. Sin embargo, en la siguiente tabla se muestran los valores del coeficiente de conductividad térmica (K) en materiales de construcción (Chur, 2010), incluyendo los biocompositos en modo comparativo.

Tabla 24. *Coefficiente de conductividad térmica de materiales convencionales usados en construcción*

Superficie	Material	K (W/m°C)
Techo	Chapa canaleta de hierro galvanizado	8,61
	Biocomposito PE/TA-CA (70/30)	6,47
	Tejas sobre forro y juntas vacías (sin cal)	4,50
	Biocomposito PE/TA-CA (80/20)	3,30
	Chapa canaleta sobre cielo raso suspendido en yeso	3,1
	Tejas sobre madera	2,65
	Chapa canaleta sobre forro de ladrillos comunes	2,50
	Chapa canaleta sobre forro de madera de 5mm de espesor	2,15
	Chapa canaleta sobre cielo raso de yeso y aislamiento de corcho de 2.5 cm de espesor	0,97
Paredes	Biocomposito PE/TA-CA (70/30)	6,47
	Vidrio simple	5,45
	Biocomposito PE/TA-CA (80/20)	3,30
	Ladrillos comunes de 7 cm de espesor	2,90
	Ladrillos comunes de 15 cm de espesor	2,30
	Blocks de vidrio liso de 10 cm de espesor	2,22
	Vidrio doble	2,17

Fuente: Autoras basadas en Chur (2010).

Se puede evidenciar que el coeficiente de conductividad térmico (K) obtenido para ambos biocompositos se encuentra dentro de los rangos de coeficientes de materiales de construcción utilizados en superficies de techos y paredes, logrando valores incluso menores a materiales convencionales, sin embargo, el biocomposito PE/TA-CA (80/20) muestra mejores propiedades aislantes, acercando su valor de K a ladrillos comunes de 7 cm de espesor.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se considera que los materiales tienen una propiedad de resistencia térmica que depende directamente de su espesor e inversamente del coeficiente de conductividad térmica; así como la propiedad de capacidad calorífica es directamente proporcional al calor específico (Alfonso et al., 2018). Dicho en otras palabras, los materiales con una capacidad calorífica específica alta y los valores de coeficiente de conductividad térmica bajos serán buenos

aislantes siendo malos conductores de calor, lo que indica que los biocompositos obtenidos son materiales de aislamiento térmico, pues su capacidad calorífica es bastante alta comparada con su coeficiente de conductividad térmica.

En resumen, las propiedades químicas (determinación de celulosa y lignina, técnica EIRTF), físicas (Densidad, porcentaje de hinchamiento y MEB) y térmicas determinadas en el presente objetivo aportaron a la identificación de las capacidades presentes en los biocompositos elaborados; asimismo permitieron establecer que dadas las propiedades del biocomposito PE/TA-CA (80/20) tales como: baja densidad, adhesión interfacial y porcentaje de hinchamiento, es el material de mayor potencial de aplicación en VIS considerando que los materiales deben ser ligeros y de poca capacidad térmica en las construcciones de clima cálido húmedo para alcanzar condiciones óptimas al interior de las viviendas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011). Vale la pena resaltar que el material los pretratamientos químicos como la mercerización (con NaOH) de los residuos agroindustriales o la adición de agentes de acoplamiento durante la elaboración del biocomposito podrían contribuir a aumentar la resistencia al agua y la estabilidad térmica del biocomposito tal como lo informa Bassyouni y Waheed Ul Hasan (2015), sin embargo, esto podría generar impactos ambientales en el proceso de elaboración por la utilización de sustancias químicas desatando un desequilibrio en términos de sostenibilidad.

14. 4. Objetivo 4: Establecer la potencial aplicación dentro del modelo constructivo del biocomposito obtenido mediante el diseño experimental

En el presente objetivo se establece la posible aplicación del biocomposito escogido anteriormente, bajo criterios técnicos y de construcción sostenible hallando una armonía entre dichos aspectos. Los resultados obtenidos se proporcionan a continuación.

14. 4. 1. Revisión bibliográfica viviendas clima cálido y generalidades Viviendas de Interés Social (VIS):

Inicialmente se realizó una investigación en cuanto a la generalidad de los materiales de construcción usados en viviendas en clima cálido; generalmente en la estructura de muros, techos, puertas y ventanas es conveniente utilizar maderables debido a que estos materiales tienen una buena relación con este tipo de clima por su capacidad de aislamiento térmico. De igual manera se utilizan calados, los cuales son piezas perforadas de ladrillo o bloque, madera, guadua o caña brava, aplicados para ventilar la vivienda, puesto que cuando el aire caliente sube a la parte superior de la construcción; estos materiales le permiten su salida y así refresca dicho espacio. También se recomienda el uso de aquellos materiales ligeros con poca inercia térmica que demoren la transmisión de calor, captando el calor del día, el que se almacena para disiparse en la noche, manteniendo una temperatura constante durante todo el día (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011).

Entrando en aspectos más técnicos, *La Serie de Guías de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social* señala en el apartado de aspectos bioclimáticos que una de las condiciones principales de las VIS es lograr una temperatura y control de humedad adecuados para la comodidad de sus habitantes, también

deben prestar un buen nivel de servicio, y deben cumplir con los requisitos mínimos de calidad y de seguridad estipulados por los Reglamentos de Construcción Sismo-Resistente; por ejemplo, en Colombia, las viviendas deben cumplir con los requisitos estipulados en la NSR-10 (AIS, 2010), el Decreto 2060 de 2004 (Minvivienda, 2004), el Decreto 619 de 2000 (Minvivienda, 2000) y la Ley 1450 de 2010. A continuación, se indican las características que deben cumplir las viviendas de interés social en Colombia y su normatividad respectiva.

Tabla 25. *Características de las VIS*

Característica	Descripción	Normatividad
Vivienda segura y eficiente	Construcción sismo resistente	NSR-10
	Uso adecuado del agua	RAS 2000
	Adecuadas instalaciones eléctricas	RETIE
	Apropiadas instalaciones de iluminación y alumbrado público	RETILAP
Valor	135 SMMLV*	Artículo 117 de la Ley 1450 de 2011
Área mínima	36 m ²	Decreto 2060 de 2004
Frente mínimo	3,5 m	Serie de Guías de asistencia técnica para Viviendas de Interés Social
Altura mínima	2,5 m para clima frío y templado	
	2,7 m para clima cálido seco y húmedo	
Áreas mínimas	Dormitorio= 7,3 m ² Cocina= 3,6 m ² Baño= 2,8 m ² Cuarto de ropas= 1,1 m ² Salón comedor= 15,5 m ² Área múltiple= 14,6 m ²	

Fuente: Carrillo et al. (2015).

Posteriormente por medio de *Guía 2. “Los materiales en la construcción de vivienda de interés social”* se muestran los materiales tradicionales recomendados para el clima cálido húmedo en cada una de las actividades de construcción, en donde incide la inercia térmica, la ligereza de los materiales y la poca capacidad térmica; asimismo se indican los materiales para la vivienda de construcción tradicional, la

cual corresponde a aquel modelo constructivo de varias generaciones hecho con materiales de la región; y construcción convencional, la cual es llevada a cabo con materiales modernos e industrializados dentro de sistemas constructivos artesanales.

Tabla 26. *Materiales de construcción para clima cálido húmedo*

Actividades de construcción	Clima cálido húmedo > 24°C	
	Tradicional	Convencional
MUROS	Muros en madera y guadua	Unidades de mampostería huecas
		Madera
		Bahareque encementado
		Divisiones internas en materiales ligeros
CUBIERTA	En fibras naturales	Teja de zinc
		Teja de fibrocemento
PISOS	Baldosín	Baldosín de cemento
		Tableta cerámica
VENTANAS	Calados	Madera
		Calados
		Anjeo

Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2011).

En la serie de guías estipulada, se resalta la importancia de conocer los materiales que abundan en la región, ya que de ellos se puede sacar provecho para construir, ampliar, reformar o reparar; logrando casas confortables y seguras que se acomoden a las condiciones del clima y del terreno. Adicionalmente, en el diseño y construcción de VIS se debe incluir el uso sostenible de los recursos naturales. (Carrillo et al. 2015)

14. 4. 2. Matriz de correlación:

Para poder determinar la potencial aplicación del biocomposito en las VIS en el municipio Paz de Ariporo, Casanare, se realizó una matriz de correlación en la cual se exponen los datos obtenidos en el diseño experimental del biocomposito PE/TA-CA (80/20) y las propiedades físicas y térmicas de los materiales utilizados actualmente en la construcción de VIS en el municipio, junto con las propiedades de los materiales tradicionales y convencionales para el clima cálido húmedo plasmados en *Guía 2. “Los materiales en la construcción de vivienda de interés social”*. Con el propósito de visualizar alguna

similitud con materiales implementados en los modelos constructivos y así determinar de manera acertada la potencial aplicación en las VIS del municipio Paz de Ariporo, Casanare. Sumado a esto se muestra una evaluación en cuanto a tres (3) criterios ambientales relacionando el uso de recursos locales, uso de materia prima renovable y la reutilización de recursos locales, para la elaboración de los materiales utilizados actualmente en la construcción de las vivienda y para la elaboración de los materiales estipulados por *La Serie de Guías de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social*, indicando como “Alto” que el uso de todos los componentes del material son locales, renovables o reutilizados, “Poco” que alguno de los componentes del material sea local, renovable o reutilizado y “Nulo” que ningún componente del material sea local, renovable o reutilizado, estos criterios seleccionados se basaron en certificaciones sostenibles, tales como Certificación LEED, la cual se explica más adelante.

Como se muestra en la *Tabla 21*, los valores expuestos en la matriz que se encuentran en un rango similar al del biocomposito corresponden a la madera, material utilizado en la estructura de muros y ventanas del modelo constructivo, tanto de forma tradicional, como convencional, estipulado en la guía técnica mencionada anteriormente (*Tabla 20*). Los valores con mayor semejanza se presentan en la densidad de los materiales; la absorción de agua, rescatando de esta propiedad que el valor obtenido por el biocomposito (5,7%) es menor que lo estipulado en concreto reforzado (8,72%) y la madera (8%); y en la propiedad de capacidad calorífica. Como se evidencia en la matriz presentada y en los resultados obtenidos en el coeficiente de capacidad calorífica del material el valor no es similar o corresponde a los esperados ya que los coeficientes de conductividad térmica de los residuos por separado (PE 0,49 W/m°C, TA 0,067W/m°C y CA 0,0360 W/m°C), son bajos comparados con el obtenido en el biocomposito, esto puede ser posible debido a errores sistemáticos al momento de hacer la prueba. Es importante resaltar que, menores valores de absorción de agua indican que el material tiene menor porosidad en su estructura, lo cual representa una ventaja pues este tiene menor capacidad de absorber agua del ambiente, además según la norma NTC 4205 los valores máximos de absorción de agua deben ser de 17% y 13,5 % según sean para uso interior y exterior respectivamente (AIS, 2010).

Tabla 27. *Matriz de correlación entre propiedades físicas, térmicas y criterios ambientales del biocomposito PE/TA-CA 80/20 y de los materiales tradicionales y convencionales.*

Criterios Materiales		Propiedades físicas		Propiedades térmicas		Criterio ambiental		
		Densidad del material (kg/m ³)	Absorción de agua (%)	Coefficiente de conductividad térmica (K)	Capacidad calorífica (J/kg °C)	Uso de recursos locales	Uso de materia prima renovable	Reutilización de recursos locales
Biocomposito PE/TA-CA 80/20		720	5,7	3,3	1800	Alto	Alto	Alto
VIS Paz de Ariporo	Tejas eternit	1250	35	0,36	-	Nulo	Nulo	Nulo
	Aluminio	2700	-	237	896	Nulo	Nulo	Nulo
	Acero de refuerzo	7800	-	47-48	512	Nulo	Nulo	Nulo
	Concreto reforzado	2400	8,72	1,75	920	Alto	Poco	Poco
Tradicional y convencional	Madera	450-750	8	0,13	1360	Alto	Alto	Poco
	Guadua	760-790	45,8	0,33	5000	Alto	Alto	Poco
	Mamposería hueca	2150	15-20	0,52	921	Poco	Poco	Nulo
	Teja de zinc	7200	-	-	-	Nulo	Nulo	Nulo
	Tableta cerámica	2400	-	0,32	-	Nulo	Nulo	Nulo

Fuente: AIS. (2010), Eternit. (2018), Cely et al. (2012), Moreno et al. (2007), Afanador et al. (2012), Cervantes. (s.f), Hernández. (2014), Fierro (s.f).

De acuerdo a lo señalado en la *Tabla 20* y los resultados obtenidos en la matriz de correlación, la potencial aplicación del biocomposito obtenido dentro del modelo constructivo de las VIS en el municipio Paz de Ariporo, Casanare, es en los laminados entre muros para ser aislante entre la separación de los espacios internos en la vivienda, debido a su ligereza, aislamiento y baja absorción de agua. A continuación, se muestra de manera más explicativa (*Figura 64*), la ubicación que tendrá el material dentro del sistema constructivo por medio del diseño de planos de la vivienda.

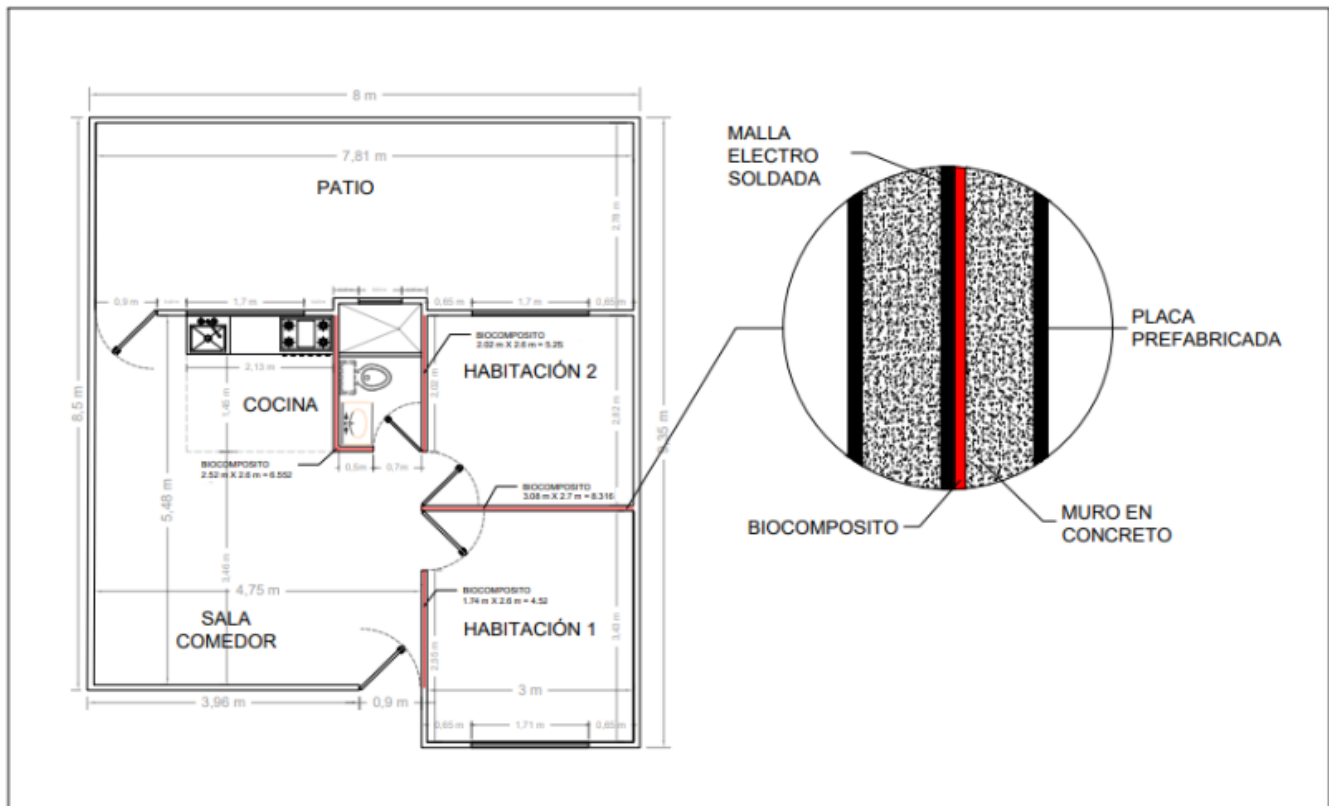


Figura 64. Planos de la VIS y esquema estructural del corte axial del muro.

Fuente: Autoras elaborado en AUTOCAD.

De lo anterior, se estima que para la elaboración del material y su implantación en las VIS se requieren 209 kg del biocomposito PE/TA-CA (80/20) correspondiendo a 167 kg de polietileno, 21 kg de cascarilla y 21 kg de tamo; de esta manera, basados en la generación de los residuos agroindustriales las fincas 1 y 2, cuentan con la cantidad necesaria de residuos vegetales para el desarrollo del material, sin embargo, hay una carencia de polietileno en aproximadamente 67 kg, por lo que se hace necesario acudir a más fincas arroceras, teniendo en cuenta que en el municipio tiene una extensión de 27.777 ha de siembra de arroz, área suficiente para suplir la cantidad requerida de polietileno.

Tal como se muestra en la matriz de correlación, no solo se tuvieron en cuenta las características físicas del biocomposito obtenido en relación con otros materiales, sino también criterios ambientalmente sostenibles para la elección de la aplicación del material, asegurando que está bajo estas condiciones de sostenibilidad; destacando el impacto positivo ya que se utilizan, aprovechan y reutilizan recursos locales, además de ser recursos renovables, pues según la “Guía de Conceptos Básicos de Edificios

verdes y LEED”, existen características o condiciones que definen un material como sostenible, dadas en cualquier fase de su ciclo de vida listadas a continuación:

- Recolectados o extraídos y fabricados localmente.
- Hechos a partir de materiales rápidamente renovables.
- Contenido de material reciclado.
- Elaborados de materiales biodegradables o susceptibles de convertirse en abono.
- Libres de toxinas.
- Perdurables, duraderos y reutilizables.
- Fabricados en condiciones óptimas para las personas que lo ejecutan.
- Elaborados en fábricas que apoyan la salubridad y los derechos de los trabajadores.

(GBCE, s.f).

En este sentido, cabe hacer mención de un importante ejemplo acerca de un proyecto que pretendía mejorar el diseño estructural de las viviendas en Beté, Chocó mediante la aplicación de materiales biocompuestos en viviendas de acuerdo a criterios de sostenibilidad de la certificación LEED, en donde obtuvo un puntaje de 70 de 110 correspondiente a la categoría Oro. Dejando en evidencia que en el ámbito nacional es posible la construcción sostenible incorporando materiales con gran potencial para mejorar el modelo constructivo de las viviendas actuales, aparte de tener beneficios económicos, ecológicos, tecnológicos y sociales consistentes con los requisitos actuales de sostenibilidad (Pérez & Gutiérrez, 2015).

Basados en el ejemplo mencionado y en el contexto socio-ambiental diagnosticado en el municipio Paz de Ariporo, es necesario establecer si el biocomposito escogido para la aplicación en las VIS es sostenible; por lo tanto, a continuación, se desarrolla una evaluación del biocomposito bajo lineamientos de las certificaciones sostenibles LEED y CASA Colombia.

LEED

El sistema de certificación LEED “Leadership in Energy and Environmental Design” (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental), es un programa de certificación internacional desarrollado en el año 1993 por el Consejo de Construcción Sostenible de Estados Unidos, para su aplicación en el diseño, construcción y operación de edificios altamente eficientes y económicos, mediante el ahorro de energía, agua, recursos y la reducción de la generación de desechos. LEED es un símbolo de reconocimiento por sus logros de sostenibilidad ya que pretende reducir las emisiones de carbono contribuyendo al bienestar de la sociedad (USGBC, 2018; CCCS, 2018).

LEED se basa en un sistema de puntaje distribuido en ocho categorías las cuales son: proceso integrador; ubicación y transporte; sitios sostenibles; eficiencia de agua, energía y atmosfera; materiales y recursos; calidad ambiental interior; innovación; y prioridad regional. De acuerdo, al número de puntos alcanzados se pueden obtener cuatro categorías: certificado de 40 a 49 puntos; plata de 50 a 59 puntos; oro de 60 a 79 puntos; y platino: con más de 80 puntos ganados sobre un total de 110 puntos (USGBC, 2009). A su vez, existen cuatro sistemas de calificación LEED los cuales agrupan requisitos que abordan las necesidades únicas de los diferentes tipos de edificios y proyectos, incluyendo todas las etapas constructivas. Los sistemas de calificación son: diseño y construcción de edificios (LEED BD+C); diseño de interiores y construcción (LEED ID+C); operaciones y mantenimiento de edificios (LEED O+M); y desarrollo del vecindario (LEED ND) (USGBC, 2019).

Teniendo en cuenta que, la evaluación depende directamente del tipo de proyecto; se hizo necesario determinar el sistema de clasificación al que aplican las VIS y se encontró que no hay un lineamiento claro de las Viviendas de Interés Social en esta certificación. Sin embargo, dentro del sistema LEED para el diseño y construcción de edificios se encuentra la categoría de hogares (LEED BD+C: Homes), dicho sistema de calificación residencial está destinado para viviendas unifamiliares y edificios residenciales multifamiliares de uno a tres pisos, con el objetivo de construir viviendas más seguras, saludables y eficientes (USGBC, 2019).

Para evaluar el biocomposito elaborado en la presente investigación se eligió una de las categorías de la certificación LEED para darle atributos de sostenibilidad al material, siendo la categoría de *Materiales y Recursos (MR)*, la cual se enfoca en minimizar la energía incorporada y otros impactos relacionados con la extracción, procesamiento, transporte, mantenimiento y disposición de materiales de construcción. Dicha evaluación se elaboró mediante el sistema LEED BD+C: Homes y el sistema LEED BD+C: General para tener una visión más clara de la sostenibilidad del material en términos de diseño en construcciones.

A continuación, se muestran los criterios de evaluación del sistema LEED BD+C: Homes (Tabla 22) y su respectiva matriz de evaluación (Tabla 23). La matriz se compone de dos requisitos que no tienen puntuación y cuatro criterios dando un total de 10 puntos posibles.

Tabla 28. *Matriz de evaluación de materiales y recursos sistema LEED BD+C: Homes.*

Materiales y recursos (MR)		Puntos posibles
Requisito	Madera tropical certificada	-
Requisito	Gestión de la durabilidad	-
Criterio	Verificación de gestión de durabilidad	1
Criterio	Productos ambientalmente preferibles	4
Criterio	Gestión de residuos de construcción y demolición	3
Criterio	Estructura eficiente en materiales	2
Total		10

Fuente: USGBC (2019).

De acuerdo a la tabla superior para evaluar el material elaborado es necesario modificar la matriz, descartando criterios como: el requisito de “*madera tropical certificada*”, puesto que no se evalúan todos los materiales de las viviendas; la “*gestión de durabilidad* y la *verificación de gestión de la durabilidad*” las cuales promueven la mayor durabilidad y el rendimiento de las viviendas las cuales deben tener en cuenta los requerimientos del programa ENERGY STAR sobre el uso de equipos eléctricos con consumo eficiente de energía; “*la gestión de residuos de construcción y demolición*” ya que requiere de un estudio

más amplio de la construcción; y “*estructura eficiente en materiales*”, puesto que es un criterio netamente estructural (USGBC, 2019).

De esta manera, se consideró únicamente el criterio de “*productos ambientalmente preferibles*” el cual promueve el aumento de la demanda de materiales o componentes de construcción que contengan material reciclado o que sea reciclable para reducir los impactos generados (USGBC, 2019).

Tabla 29. *Matriz de evaluación del material bajo criterios del sistema LEED BD+C: Homes.*

Materiales y recursos (MR)		Puntos posibles	Puntos obtenidos
Criterio	Productos ambientalmente preferibles	4	1.5
Total		4	1.5

Fuente: Autoras basadas en USGBC (2019).

La puntuación obtenida del material es de 1.5 de 4 puntos, teniendo en cuenta que los puntos posibles están sugeridos para toda la vivienda. Dicho material cumple con los dos requisitos establecidos: el primero, porque es un material 100% local, puesto que no supera los 160 km de distancia que fija LEED desde los cultivos, en donde se genera la materia prima del material, a los proyectos de VIS, en donde se tiene como propuesta utilizarlo; el segundo, porque se considera un material ambientalmente preferible ya que contiene más del 25% de materiales recuperados, es decir, los residuos agroindustriales aprovechados para su elaboración (USGBC, 2019).

A continuación, en la *Tabla 24* se muestran los criterios del sistema LEED BD+C General, los cuales están diseñados para respaldar un enfoque de ciclo de vida que mejore el rendimiento y promueva la eficiencia de los recursos. Cada requisito identifica una acción específica que se ajusta al contexto más amplio de un enfoque de ciclo de vida para la reducción de impacto incorporada, los puntos máximos posibles son 15 (USGBC, 2019).

Tabla 30. *Matriz de evaluación de materiales y recursos sistema LEED BD+C: General.*

Materiales y recursos (MR)		Puntos posibles
Requisito	Almacenamiento y recolección de reciclables	-
Requisito	Planificación de la gestión de residuos de construcción y demolición	-
Criterio	Reducción del impacto del ciclo de vida del edificio	5
Criterio	Divulgación y optimización de los productos de construcción - Declaraciones ambientales de productos	2

Fuente: USGBC (2019).

Tabla 31. *Matriz de evaluación de materiales y recursos sistema LEED BD+C: General continuación.*

Materiales y recursos (MR)		Puntos posibles
Criterio	Divulgación y optimización de los productos de construcción - Fuentes de materias primas	2
Criterio	Divulgación y optimización de los productos de construcción - Componentes de los materiales	2
Criterio	Gestión de residuos de construcción y demolición	2
Total		13

Fuente: USGBC (2019).

Para términos de evaluación del material biocompuesto se eliminaron requisitos que no le competen al presente proyecto como el “*almacenamiento y recolección de reciclables*”; “*planificación de la gestión de residuos de construcción y demolición*”; así como el criterio referente a la *reducción del impacto del ciclo de vida del edificio*, puesto que como requisito se establece realizar la evaluación del ciclo de vida de toda la estructura y en el presente estudio es el propósito evaluar únicamente el material de interés; y también el criterio sobre la “*gestión de residuos de construcción y demolición*”. Los demás criterios sobre “*divulgación y optimización de productos de construcción*” fueron considerados en la evaluación del material. La matriz mostrada en la *Tabla 25* permite visualizar el puntaje obtenido.

Tabla 32. *Matriz de evaluación del material bajo criterios del sistema LEED BD+C: General.*

Materiales y recursos (MR)		Puntos posibles	Puntos obtenidos
Criterio	Divulgación y optimización de los productos de construcción - Declaraciones ambientales de productos	2	2
Criterio	Divulgación y optimización de los productos de construcción - Fuentes de materias primas	2	2
Criterio	Divulgación y optimización de los productos de construcción - Componentes de los materiales	2	2
Total		6	6

Fuente: Autoras basadas de USGBC (2019).

La puntuación obtenida fue de 6 sobre 6 puntos posibles mostrados en la tabla superior, dichos resultados se obtuvieron mediante: El criterio sobre “*declaraciones ambientales de productos*”, el cual tiene como intención fomentar el uso de productos que cuenten con información sobre el ciclo de vida (CV), requiriendo documentación bajo normas como la ISO 14044 sobre el CV (USGBC, 2019), sin embargo,

el material evaluado tiene bajos impactos ambientales, económicos y sociales durante todo el ciclo de vida por lo que puede cumplir los requisitos, teniendo en cuenta que no hace uso de ningún tipo de reactivo o aditivo químico para su fabricación; al contrario, le da un valor agregado a los desechos generados en el mismo municipio en donde se tiene como propuesta aplicarlo por lo que se le dio una puntuación de 2.

Asimismo, se tuvo en cuenta el criterio de “*fuentes de materias primas*” obteniendo 2 puntos debido a que el material fue realizado de manera responsable mediante la reutilización de materiales provenientes de un proceso productivo diferente al de construcción, considerando que tanto el tamo, la cascarilla y el polietileno son residuos agroindustriales del cultivo de arroz; así mismo las materias primas son obtenidas dentro de los 160 km del sitio de los proyectos de VIS, por lo que se encuentra dentro de los requerimientos establecidos en este criterio. El último criterio evaluado fue el relacionado con los “*componentes de los materiales*”, cuya intención es la de fomentar el bajo uso de sustancias químicas para la elaboración de los materiales usados en las construcciones (USGBC, 2019, se le otorgó la puntuación sabiendo que durante la elaboración del biocomposito PE/TA-CA (80/20), no fue necesario la utilización de agentes de acoplamiento para mejorar su interfase dado a que la adhesión entre los componentes fue buena.

Dados los resultados de las evaluaciones realizadas mediante los sistemas LEED BD+C: Homes y LEED BD+C: General, se puede determinar que, al no existir un sistema propio para viviendas de interés social, es pertinente hacer el uso de ambos sistemas para tener más criterios en la determinación de la sostenibilidad de un material introducido en este tipo de modelos constructivos. Sin embargo, se obtuvo una mejor puntuación (100%) en el General (Tabla 23), debido a que contaba con un mayor número de criterios que aplicaban en la valoración del material; mientras que, en LEED para hogares solo se tuvo en cuenta un criterio “*productos ambientalmente preferibles*” (Tabla 25) que no daba información suficiente para concluir que el material es sostenible, no obstante, obtuvo la mayor puntuación permitida por los requisitos de dicho criterio.

CASA COLOMBIA

El Referencial CASA Colombia nace en 2013 en los grupos de trabajo y comités del Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, debido a la identificaron de la necesidad de contar con una herramienta que fomentara el concepto de sostenibilidad integral en el segmento residencial en el país, realizando una adopción del sistema de certificación en construcción sostenible LEED. Esta herramienta se orienta a facilitar la estructuración costo eficiente, promover el concepto de sostenibilidad integral y la medición y verificación de indicadores concretos de sostenibilidad de los nuevos proyectos inmobiliarios con uso residencial en el país, se tuvo en cuenta esta certificación puesto que tiene aplicación para el segmento de vivienda de interés social (VIS) y vivienda de interés prioritario (VIP).

Este certificado se compone de siete (7) categorías mostradas en la figura 65, las cuales cuentan cada una con lineamientos previos obligatorios y también con lineamientos opcionales, con cinco (5) niveles de certificación: excepcional, excelente, sobresaliente, muy bueno, bueno. Estos últimos son los que otorgan un puntaje y hasta un total de 100 posibles.



Figura 65. Categorías Referencial CASA Colombia.
Fuente: CCCS (2018).

Puesto que El Referencial CASA Colombia también está destinado a los proyectos de Vivienda de Interés Social (VIS) o de Vivienda de Interés Prioritario (VIP). Las necesidades y realidades de estos segmentos fueron contempladas en el desarrollo de los lineamientos con el fin de obtener un Referencial CASA incluyente, mediante el cual se incentivan buenas prácticas para generar proyectos de vivienda sostenible en cualquier condición. A continuación, se muestra la tabla de puntuación para estos proyectos.

Tabla 33. Puntaje proyectos VIS o VIP Referencial CASA Colombia

Proyecto VIS o VIP Sostenible Excepcional	75 puntos o más
Proyecto VIS o VIP Sostenible Sobresaliente	65 a 74 puntos
Proyecto VIS o VIP Sostenible	40 a 64 puntos

Fuente: CCCS (2018).

Para evaluar el biocomposito se eligió la categoría Eficiencia de recursos “MATERIALES” (Tabla 27), debido al enfoque del proyecto, esta categoría está compuesta por un (1) lineamiento obligatorio y tres (3) lineamientos opcionales con un total de quince (15) puntos posibles. De los cuales se va a evaluar el lineamiento EM3 y EM4, debido a que este material aún no se ha implementado la operación de VIS y el alcance del proyecto no incluye el análisis del ciclo de vida del material elaborado.

Tabla 34. Lineamientos categoría Eficiencia de recursos “Materiales”

Lineamiento		Puntos posibles	Cumplimiento
EM1	Plan de manejo de residuos durante la operación del proyecto	3	Obligatorio
EM2	Productos y materiales con análisis de ciclo de vida	5	Opcional

Fuente: CCCS (2018).

Tabla 35. *Lineamientos categoría Eficiencia de recursos “Materiales” continuación*

Lineamiento		Puntos posibles	Cumplimiento
EM4	Productos y materiales de bajo impacto ambiental	6	Opcional
Total		15	

Fuente: CCCS (2018).

EM3- Origen regional de los materiales

El objetivo de este lineamiento es motivar la economía local por medio de la especificación de materiales cuyos lugares de extracción, procesamiento y producción se encuentren en cercanía al proyecto. A este lineamiento se le da un puntaje de (1) debido que más del 30% del biocomposito es elaborado con productos de la zona, en un radio no mayor a 160 km del municipio Paz de Ariporo, Casanare.

EM4- Productos y materiales de bajo impacto ambiental

El objetivo de este lineamiento es reducir el impacto de la edificación por el uso de materiales con bajo impacto ambiental. En este lineamiento se aplican criterios de sostenibilidad con factores para cada uno de estos, en donde, si un material cuenta con más de un criterio de sostenibilidad podrá escoger el factor más alto y se implementan los costos de los materiales, puesto que el alcance del proyecto no maneja costos, se hizo la relación de acuerdo a los criterios de sostenibilidad.

Tabla 36. *Puntos obtenidos en la evaluación del biocomposito en el Referencial CASA*

Lineamiento		Puntos posibles	Puntos obtenidos
EM3	Origen regional de los materiales	1	1
EM4	Productos y materiales de bajo impacto ambiental	6	6
Total		7	7

Fuente: Autoras basadas en CCCS (2018).

El biocomposito cumple con más de dos criterios sostenibles, el primero es debido a que la composición del material incorpora insumos reciclados como el PE y ayuda al aprovechamiento de residuos vegetales del cultivo de arroz en su fabricación, y por otro lado el biocomposito tiene un período de regeneración que no supera los siete años, lo cual indica que es un material de rápida renovación. Por lo cual se le asigna a este lineamiento un total de seis (6) puntos.

En términos generales se obtuvo un buen puntaje en las evaluaciones realizadas al material elaborado bajo los lineamientos de construcción sostenible de LEED y CASA Colombia, en donde se obtuvo un valor del 100% de los criterios semi-cuantitativos valorados tanto en la matriz del sistema LEED BD+C: General (Tabla 25) y en el referencial CASA Colombia (Tabla 28) en las categorías de materiales y recursos. Por lo que se puede inferir que el biocomposito objeto de estudio cumple con los lineamientos mínimos de sostenibilidad, gracias a su bajo impacto ambiental desde su origen regional hasta su proceso

de elaboración ya que no se usa ningún tipo de químico o tratamiento para mejorar sus propiedades físicas, químicas y/o mecánicas. La elección de una certificación internacional (LEED) y una nacional (Referencial CASA Colombia) se basó en poder verificar los criterios y lineamientos sostenibles con lo que cumple el biocomposito en ambos ámbitos, teniendo en cuenta que en LEED fue posible evaluar tres criterios más (Declaraciones ambientales de productos, gestión de residuos de construcción y demolición, y productos ambientalmente preferibles), reiterando la sostenibilidad del material.

Teniendo en cuenta el desaprovechamiento y mala gestión de los residuos agroindustriales generados en la producción de arroz tanto naturales (tamo y cascarilla) como poliméricos (polietileno), y los inapropiados materiales utilizados en los proyectos actuales de VIS respecto a las condiciones climáticas del municipio de Paz de Ariporo, Casanare. Este estudio propuso determinar la aplicación de un material elaborado con dichos residuos en las VIS de la zona encontrando que biocomposito PE/TA-CA (80/20) su potencial aplicación como laminados internos entre muros para proporcionar aislamiento térmico dentro de las VIS, logrando a su vez un equilibrio entre el manejo de los residuos y la calidad de la construcción. El biocomposito elaborado no solo cumple con requerimientos técnicos para su implementación en VIS, sino que también obedece a los lineamientos de construcción sostenible sobre materiales. Además, es un material constructivo que dado su proceso de elaboración podría ser desarrollado por la misma comunidad de la zona para mejorar la calidad de las infraestructuras, siempre respetando el contexto y modelo constructivo allí existente.

15. Conclusiones

Según la visita de campo realizada al municipio Paz de Ariporo, en la primera etapa se pudo evidenciar el desaprovechamiento de los residuos generados en la producción de arroz como consecuencia de la inexistente gestión de los residuos vegetales como el tamo (TA) y la cascarilla (CA) tanto dentro como fuera de las fincas arroceras, sumando un total de 3150 ton/año de estos residuos, en dónde el tamo es el residuo que se produce con mayor volumen, siendo casi 12 veces mayor que la masa de la cascarilla de arroz generada, y a su vez es casi el doble del arroz producido en cada una de las fincas; paralelamente, se encontró como residuo polimérico costales de abono utilizados en la dinámica de la producción de arroz, los cuales contienen polietileno de alta densidad (PE), cuyas características físicas le dan cualidades para ser la matriz polimérica de un biocomposito, con una producción anual en las dos fincas de aproximadamente 100 kg. En la segunda etapa, se visitó uno de los proyectos de VIS denominado “Los Alelís” y se observó que el modelo constructivo no se encuentra bajo lineamientos de construcción sostenible, puesto que usa materiales convencionales, sin tener en cuenta criterios de confort térmico dentro de las estructuras sabiendo que las condiciones ambientales del municipio se enmarcan dentro de un clima cálido húmedo.

Al momento de caracterizar los residuos vegetales y el polietileno individualmente, se evidenciaron ventajas en propiedades como su baja absorción de agua y baja densidad del polietileno en comparación

con los residuos vegetales debido a su baja polaridad, dichas propiedades sirvieron para implementar el polietileno como matriz continua en un biocomposito junto con los residuos vegetales, considerando que las propiedades de los materiales compuestos depende de manera directa de las características de la matriz continua. Se elaboraron cuatro biocompositos con proporciones de: PE/CA (80/20), PE/TA (70/30), PE/TA-CA (70/30) y PE/TA-CA (80/20) los cuales fueron caracterizados química y físicamente. Se eligió el biocomposito PE/TA-CA (80/20) por medio del criterio analítico completo, en donde se encontró que gracias a su porcentaje de hinchamiento (5.7%), densidad ($680 \pm 70 \text{ kg / m}^3$) y buen fenómeno de adhesión entre la fase dispersa (TA y CA) y la fase continua (PE), puede tener buen desempeño como material constructivo. Asimismo, se determinó su propiedad térmica en donde se halló su potencial aplicación como aislante térmico en las VIS en el municipio Paz de Ariporo dada su capacidad calorífica de $1800 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ y coeficiente de conductividad térmica de $3,30\text{W/m}^\circ\text{C}$, teniendo en cuenta que para que un material se considere buen aislante térmico debe tener un bajo coeficiente de conductividad y una alta capacidad calorífica.

La presente investigación ha permitido determinar la potencial aplicación del biocomposito en las VIS mediante criterios técnicos y de construcción sostenible, teniendo en cuenta el modelo constructivo de las VIS y los materiales recomendados para el clima cálido húmedo correspondiente al municipio Paz de Ariporo. Asimismo, mediante una matriz de correlación realizada en el presente proyecto en donde se determinó la aplicación del biocomposito dentro de las VIS, considerando las propiedades físicas y térmicas entre el biocomposito y los materiales utilizados comúnmente en la construcción de este tipo de viviendas y tres criterios de sostenibilidad, en donde se obtuvo su potencial implementación como laminados internos entre muros para servir de aislante térmico al interior de las VIS. Sumado a esto, se evaluó la sostenibilidad del biocomposito mediante las matrices de las certificaciones LEED y CASA Colombia, en donde se encontró que tiene un bajo impacto ambiental desde el origen regional de la materia prima, en este caso los residuos, hasta su proceso de elaboración, debido a que no usa ningún tipo de químico o tratamiento para mejorar sus propiedades físicas, químicas y/o mecánicas que podrían tener afectaciones ambientales.

En términos generales, el biocomposito elaborado no solo cumple con requerimientos técnicos para su implementación en VIS, sino que también obedece a los lineamientos de construcción sostenible sobre materiales, siendo una alternativa de aprovechamiento de los residuos agroindustriales generados en la producción de arroz, además puede contribuir a lograr el confort térmico dentro de las VIS teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la zona del municipio, en donde los materiales deben ser ligeros con propiedades de aislamiento térmico, además contribuyen directamente en el mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad de la zona de estudio.

16. Recomendaciones

- Utilizar un método al vacío para la elaboración de los biocompositos con el fin de mejorar su resistencia y minimizar espacios generados.
- Realizar un análisis de más aspectos técnicos del material, para encontrar otras características físicas que beneficien la potencial incorporación en VIS (Pruebas acústicas y mecánicas).
- Hacer un análisis de la factibilidad económica del material para tener más criterios al momento de catalogarlo como un material sostenible.
- Se recomienda evaluar más aspectos en el modelo constructivo de las VIS en los cuales se puedan incorporar los biocompositos de combinación PE/TA (80/20) y PE/CA (80/20), para que de esta manera se haga un mayor aprovechamiento de los residuos agroindustriales.
- Hacer una modificación química de la cascarilla y el tamo de arroz utilizando un agente de acoplamiento que modifique la superficie de material y de esta manera contribuir a que exista un mejor proceso de adhesión y a su vez aumentar la resistencia al agua.
- Realizar análisis de ciclo de vida del proceso (ACV) y del producto para establecer las cargas ambientales asociadas al material, tales como el gasto de materia prima y energía.
- Obtener información microbiológica del material para establecer su degradación por vectores o microorganismos que pueden limitar la implementación del material en las viviendas.
- Realizar un estudio de escalamiento del proceso de elaboración del biocomposito para incorporar el material en el proceso de construcción de Viviendas de Interés Social (VIS).

17. Referencias Bibliográficas

- Abril, D., Navarro, E., & Abril, A. (2009). La paja de arroz. Consecuencia de su manejo y alternativas de aprovechamiento. *Revista De La Facultad De Agronomía*, 17(2), 69-79.
- Acuerdo No. 500.02-004. (2016). Por medio del cual se adopta el Plan de Desarrollo para el periodo constitucional de gobierno 2016-2019 “Paz de Ariporo por el camino correcto” del municipio de Paz de Ariporo. Mayo 31 de 2016.
- Afanador, N., Guerrero, G., & Monroy, R. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Rev Universidad Militar*. Ocaña, Colombia. Obtenido el 14 de octubre de 2019, de: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/248/1886>
- AIMPLAS. (2013). Los composites revolucionan el sector de la construcción. Instituto tecnológico del plástico. Valencia, España. Recuperado de: <https://www.aimplas.es/blog/los-composites-revolucionan-el-sector-de-la-construccion/>
- AIS. (2010). Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, NSR-10, Bogotá, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Obtenido el 13 de octubre de 2019, de: <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/2titulo-b-nsr-100.pdf>
- Alcaldía Paz de Ariporo. (16 de septiembre de 2016). *Información del municipio*. Recuperado de: <http://www.pazdeariporo-casanare.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Alcaldía Paz de Ariporo (2011). *Plan de Desarrollo Municipal “Ciudad de Origen y Progreso” 2012-2015*. Alcaldía Municipal Paz de Ariporo. Recupero de: <http://cdim.esap.edu.co/bancomedios/documentos%20pdf/pazdeariporocasanarepd20122015.pdf>
- Alfonso, F.L., Ruíz, V.S. & Amador D.F. (2018). Efecto de la adición de materiales reciclables en la Masilla para construcción liviana respecto a la capacidad calorífica, aislamiento térmico y acústico. *Revista Luna Azul Universidad de Caldas*
- Andrade, H.J., Campo, O. & Segura, M.(2014). Huella de carbono del sistema de producción de arroz (*Oryza sativa*) en el municipio de Campoalegre, Huila, Colombia. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 15(1): 25-31.
- Angel, M. (17 de 06 de 2017). *Casanare*. Obtenido de <http://prensalibrecasanare.com/colombia/25647-casanare-no-han-avanzado-en-planes-para-la-superaciun-de-la-pobreza-extrema.html>
- Asociación Correntina de Plantadores de arroz (2013). Cultivo de arroz: Etapas del Proceso Productivo y los principales/actuales problemas encontrados en las actividades productivas sobretodo de los pequeños y medianos productores de la Provincia de Corrientes. Argentina: ACPA. Recuperado el 28, abril, 2019 en: <https://studylib.es/doc/5045161/cultivo-de-arroz--etapas-del-proceso-productivo-y-los>
- Arcos, C.A., Pinto D.M. & Rodríguez Páez, J.E. (2007). La cascarilla de arroz como fuente de SiO₂. *Revista universidad de Antioquia*. N° 4: 7-20.
- Baller, J. & Ríos, A. (2016). Evaluación del uso de cascarilla de arroz, polietileno y polipropileno en la producción de postes para uso agropecuario. Proyecto de grado. Bogotá D.C: Fundación Universidad de América.
- Barragón B.E, Téllez Y.A & Laguna, A. (2008). Utilización de los residuos agroindustriales. *Revista Sistemas Ambientales*, 2 (1): 22-50.
- Barrera, J. (2006). Selección de alternativas viables para el manejo de la cascarilla de arroz en el municipio de San Martín (Meta). Tesis de grado. Bogotá: Universidad El Bosque.

- Bassyouni, M. & Waheed Ul Hasan, S. (2015). The use of rice straw and husk fibers as reinforcements in composites. En: O.F & M.S. Biofiber Reinforcements in Composite Materials. 385-422.
- Bastidas, M.C. (2008). identificación y evaluación de indicadores ambientales en los procesos de esterilización de cascarilla de arroz, tratamiento de aguas residuales con *Phragmites communis* y compostaje en la finca floricultora Las Mercedes. Tesis de grado. Bogotá: Universidad El Bosque.
- Bedoya, C. M. (2011). Viviendas de Interés Social y Prioritario Sostenibles en Colombia–VISS y VIPs–. Revista internacional de sostenibilidad, tecnología y humanismo, (6), 27-36.
- Bergh, V.D. & Jeroen, C.J.M. (1996). Sustainable Development and management. Ecological Economics and Sustainable Development: Theory, Methods and Applications. Edward Elgar Publishing Cheltenham, Reino Unido, 53-79.
- Binod, P., Sindhu, R., Singhanian, R. R., Vikram, S., Devi, L., Nagalakshmi, S., ... & Pandey, A. (2010). Bioethanol production from rice straw: An overview. Bioresource Technology, 101(13), 4767-4774.
- Buzarovska, A., Grozdanov, A., Bogoeva-Gaceva, G., Avella, M. & Errico, M. (2008). Potential use of rice straw as filler in eco-composite materials. Australian Journal of Crop Science, 1(2):37-42.
- Cabrera, E., León, V., Montaña, A.C. & Dopico, D. (2016). Caracterización de residuos agroindustriales con vistas a su aprovechamiento. Revista Centro Azúcar, 43.
- Cadena, C & Bula, J. (2002). Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. Universidad del Norte. 12: 8-9. Recuperado de: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/2309/1507>
- Cardozo, S. (2018). Circuito productivo del arroz: Proceso y etapas. Recuperado el 27, abril, 2019 en: <https://circuitoproductivo.com/arroz/>
- Carrillo, J. Aperador, W. & Echeverry, F. (2015). Construction Costs Assessment of Structural Systems for Low-Rise and Social Welfare Housing. *Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología*. Vol 16. p. 479-490.
- Carrizosa, J. (1998). Construcción de la teoría de la sostenibilidad. En: L.J.G, J.C & C.B. Sostenibilidad (27-31). Bogotá D.C: Misión Rural.
- CCCS. (2017). Edificaciones sostenibles y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de: <https://www.cccs.org.co/wp/2017/05/18/los-edificios-verdes-y-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible/#comment-2373>
- CCCS. (2016). Premio Nacional a la Vivienda de Interés Social Sostenible Julio Mario Santo Domingo. *Revista VISS*. Recuperado de: https://www.cccs.org.co/wp/wp-content/uploads/filebase/2016-REVISTA-VISS-19may16-BAJA_2.pdf
- CCCS. (2016). Referencial CASA COLOMBIA para el diseño y construcción de soluciones habitacionales sostenibles. Bogotá. Junio de 2016. Obtenido el 12 de septiembre de 2019, de: <https://www.cccs.org.co/wp/download/referencial-casa-colombia/?wpdmdl=4766&refresh=5d7d048272ab01568474242>
- CCCS. (2018). CASA Colombia. Documento técnico versión VIS. Versión 2.0. Bogotá: Consejo Colombiano de Construcción sostenible. Recuperado de: <https://www.cccs.org.co/wp/download/casa-colombia-vis-documento-tecnico/?wpdmdl=18055>
- CCCS. (2018). La primera vivienda sostenible del país certificada en CASA Colombia. Junio 29 de 2018. Obtenido el 12 de septiembre de 2019, de: <https://www.cccs.org.co/wp/2018/06/29/la-primeravivienda-sostenible-del-pais-certificada-en-casa-colombia/>
- CCCS. (2018). Programa LEED en Colombia. Recuperado de: <https://www.cccs.org.co/wp/capacitacion/talleres-de-preparacion-leed/>

- CECODES. (2016). Agroindustria productiva, incluyente y sostenible. Publicado por CECODES-Desarrollo Sostenible. 25 de noviembre de 2016. Obtenido el 04 de octubre de 2019, de: <https://www.cecodes.org.co/site/agroindustria-productiva-incluyente-y-sostenible/>
- Cely, L., Hernández, W., & Gutiérrez, O. (2012). Caracterización de la Guadua Angustifolia Kunth cultivada en Miraflores (Boyacá) de acuerdo con la NSR-1. ISSN 0121±112.
- Cerón, S. (2011). Uso eficiente de la cascarilla del arroz mediante la implantación de un sistema de comercialización orientado al sector público y privado en el Cantón de Babahoyo. Recuperado de: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/49000/106/1/T-UTB.FAFI-IC-000025.pdf>
- Cervantes, L. (s.f). Capacidad térmica específica y capacidad térmica.
- Chaparro, H. Y. (2017). Análisis multitemporal de cambios en la cobertura vegetal de Paz de Ariporo, Casanare mediante el uso de sistemas de información geográfica. *Sogamoso: Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia*.
- Chica, J., Tirado, Y. C., & Barreto, J. M. (2016). Indicadores de competitividad del cultivo del arroz en Colombia y Estados Unidos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 16-31.
- Chur, P. (2010). Evaluación del uso de la cascarilla de arroz como agregado orgánico en morteros de mampostería. Tesis. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido el 30 de septiembre de 2019, de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3173_C.pdf
- Collieu, A & Powney, D. (1977). Propiedades mecánicas y térmicas de los materiales. *Editorial Reverté*.
- CONPES 3919 de 2018. [Departamento Nacional de Planeación]. *Política Nacional de Edificaciones sostenibles*. Marzo 23 de 2018.
- Cruz Ramírez, C. A., Gómez Ramírez, L. F., & Uribe-Vélez, D. (2017). Manejo biológico del tamo de arroz bajo diferentes relaciones C:N empleando consorcios microbianos y promotores de crecimiento vegetal / Bio-based management of rice straw under different C:N ratios using microbial consortia and plant growth promoters. *Revista Colombiana de Biotecnología*, (2), 47.
- Daifullah, A.A., Girus, B.S. & Gad, H.M. (2003). Utilization of agro-residues (rice husk) in small waste water treatment plans. Elsevier Science. *Materials letters*. 57(11): 1723-1731.
- DANE (2005). Boletín. Censo General 2005. Información estadística.
- DANE (2016). 4° Censo nacional arrocero 2016. Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-arrocero>
- Danso, H. (2018). *Identification of Key Indicators for Sustainable Construction Materials*. doi:10.1155/2018/6916258
- Das, G. & Biswas, S. (2016). Physical, Mechanical and Water Absorption Behaviour of Coir Fiber Reinforced Epoxy Composites Filled With Al₂O₃ Particulates. *Materials Science and Engineering*, 115.
- Decreto 1285 de 2015 [Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio]. *Por el cual se modifica el Decreto 1077 de 2015, Decreto único Reglamentario del Sector vivienda, Ciudad y Territorio, en lo relacionado con los lineamientos de construcción sostenible para edificaciones*. Junio 12 de 2015. Recuperado de: <http://www.minvivienda.gov.co/Decretos%20Vivienda/1285%20-%202015.pdf>
- Delgado Trujillo, J., Martínez Chica, J. P., Guzmán Aponte, Á., Delvasto Arjona, S., Amigó Borrás, V., & Sánchez Vilches, E. (2015). Reemplazo Del Cuarzo Por Ceniza De Tamo De Arroz en La Manufactura De Gres Porcelánico. *Revista EIA*, (23), 41. Recuperado de: <https://search-ebscohost-com.ezproxy.unbosque.edu.co/login.aspx?direct=true&db=edssci&AN=edssci.S1794.12372015000100004&lang=es&scope=site>
- Díaz, M. B., González, J., & Rodríguez, R. (2011). Código de ejecución segura y sostenible de demolición y desmantelamiento. *Materiales de Construcción*, 115-129.

- Echeverría, M.A., López, O.A. (2010). Caracterización energética de la cascarilla de arroz para su aplicación en la generación de energía termoeléctrica. Tesis de grado. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Editorial Construir. (26 de Mayo de 2017). *Construir America Central y Caribe*. Obtenido de <http://revistaconstrcom/cuales-los-beneficios-la-construccion-sostenible/uir>.
- Elejalde, H.D. (2015). Guías de Construcción Sostenible. Área Metropolitana del Valle de Aburrá: Universidad Pontificia Bolivariana. Capítulo 4. Recuperado de: https://www.metropol.gov.co/ambiental/Documents/Construccion_sostenible/Guia-4-GCS4EdificacionesSostenibles.pdf
- Engel, T & Reid, P. (2007). Introducción a la fisicoquímica: Termodinámica. *Pearson Educación*.
- EPA (2016). Moisture Control Guidance for Building Design, Construction and Maintenance. U.S. Environmental Protection Agency.
- Escuela Colombiana de Ingeniería. (2011). Protocolo ensayo de tensión. Facultad de Ingeniería Industrial. Laboratorio de producción. Obtenido el 13 de agosto de 2019, de: https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/9026_tension.pdf
- Estévez, J. (2016). Determinación del calor específico de un sólido a altas y bajas temperaturas. Obtenido el 30 de septiembre del 2019, de: https://www.researchgate.net/publication/303518959_Determinacion_del_calor_especifico_de_un_solido_a_altas_y_bajas_temperaturas
- Eternit Colombia. (2018). Sistema de construcción liviana. Recuperado el 14 de octubre de 2019, de: <https://www.eternit.com.co/documents/32456/170883/CARTILLA-ETERBOARD.pdf/0c954230-0837-4087-ab9a-ec411cb96ecd>
- FAO (2004). El arroz es la vida. Incrementar la producción sostenible de arroz: clave de la seguridad alimentaria mundial. Recuperado de <http://www.fao.org/newsroom/es/focus/2004/36887/index.html>
- FAO. (s.f). Recogida, manipulación y toma de las muestras. Recuperado de: http://www.fao.org/fileadmin/templates/food_composition/documents/upload/spanish/RECOGIDA_MANIPULACION_Y_PREPARACION_DE_LAS_MUESTRAS_george.pdf
- Farrell, A. & Hart, M. (1998). What does sustainability really mean?- The search for useful indicator. *Environment* 40 (9): 4-9 y 26-31.
- Fávaro, S., Lopes M., Neto, A., Santana, R., Radovanovic, E. (2010). Chemical, morphological, and mechanical analysis of rice husk/post-consumer polyethylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. Vol. 41. pg 154-169.
- Fedearroz. (2006). Guía para un adecuado manejo integrado del cultivo del arroz. Bogotá D.C.
- Fedearroz. (2015). Adopción masiva de tecnología. Guía de trabajo. Bogotá D.C: Federación Nacional de Arroceros. Recuperado el 25, marzo, 2019 en: http://www.fedearroz.com.co/docs/Guia_de_trabajo_baja.pdf
- Fedearroz. (2017). *IV Censo Nacional Arroceros*. Bogotá D.C.
- Fedearroz. (2019). *Boletín técnico*. Encuesta Nacional de Arroz. Obtenido de: http://fedearroz.com.co/new/documentos/2019/encuesta_nacional_arroz_mecanizado.pdf
- Fernández, J.M. (2001). La estadística en química analítica. Pamplona: Universidad de Navarra.
- Fierro, Y. (s.f). Coeficiente de conductividad térmica de los materiales de construcción. Recuperado el 14 de octubre de 2019, de: <https://es.scribd.com/doc/238294782/Coeficiente-de-Conductividad-Termica-de-Los-Materiales-de-Construccion>
- Florhuila (2018). Proceso del arroz. Proceso industrial del arroz florhuila. Recuperado el 27, abril, 2019 en: <http://www.florhuila.com/proceso-del-arroz/>

- Fonseca, M.R. (2006). 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. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala
- Fowler, P.A., Hughes, J.M. & Elias, R.M. (2006). Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86: 1791-1789.
- Franquet, J.M. & Borrás, C. (2004). Variedades y mejora del arroz (*Oryza sativa*, L.). España: Universidad Internacional de Cataluña y la Asociación de Ingenieros Agrónomos de Cataluña.
- Fuentes, N., Fragozo, O.I. & Vizcaino, L. (2015). Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), pp. 99 - 116.
- Gallo, G. & Sejenovich, H. (2013). Metodología para la elaboración de diagnósticos ambientales expeditivo y en profundidad. Fundación Patagonia. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/omamarriaga/metodologia-para-la-elaboracion-de-diagnosticos-ambientales>.
- Gallopín, G. (2003). Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico. Santiago de Chile: Naciones Unidas. Capítulo II.
- García, E. G., & Mendiola, L. L. (2015). Evaluación de las propiedades físico mecánicas de ladrillos de arcilla recocida, elaborados con incorporación de residuos agrícolas, caso Chiapas, México. *Revista Académica de la FI-UADY*, 91-101.
- García & Lopéz. (2017). Evaluación de un biocomposito con aplicación en la construcción sostenible como alternativa para el aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición en la ciudad de Bogotá D.C. Universidad El Bosque. Programa de Ingeniería Ambiental.
- GBCE. (s.f). Guía de Conceptos Básicos de Edificios verdes y LEED. Segunda edición. Recuperada de: http://www.spaingbc.org/files/Core%20Concepts%20Guide_ES.pdf
- Gobernación de Casanare. (2014). Mejoramientos De Viviendas. Obtenido de <https://www.casanare.gov.co/?idcategoria=34161>
- Gómez, S. (2009). Diseño de un material compuesto con fibra natural para sustituir la utilización de la fibra de vidrio. Proyecto de grado. Medellín: Universidad EAFIT.
- González, L. & Adab, S. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Revista de investigación Agraria y Ambiental*.
- Goodhew, S. (2016). Sustainable construction processes : A resource text. Recuperado de: <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.unbosque.edu.co>
- Grozdanov, A., Buzarovska, A., Bogoeva-Gaceva, G., Avella, M. & Errico, M. (2006). Rice straw as an alternative reinforcement in polypropylene composites. *Agronomy for Sustainable Development*, 26 (4): 251-255.
- Guhl Nannetti, E. (2015). La Ingeniería de ecosistemas. *Revista De Ingeniería*, 0(42), 60-66. Recuperado de: 10.16924/riua.v0i42.829
- Gutierrez, E. (2008). De las teorías del desarrollo al desarrollo sustentable. *Instituto de Investigaciones Sociales*.
- Guzmán, A. (2013). Cenizas del tamo de arroz como sustituto del feldespató en la fabricación de cerámica blanca. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. Vol 52, 1, 25-30. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/265842301_Cenizas_del_tamo_de_arroz_como_substituto_del_feldespató_en_la_fabricacion_de_ceramica_blanca.
- Hernández, N. (2014). Características térmicas de la guadua. 2 de septiembre del 2014. Obtenido el 14 de octubre de 2019, de: <https://nathaliahernandezgarq.wordpress.com/2014/09/02/caracteristicas-termicas-de-la-gadua/>

- Hernández, P. (2014). Características térmicas de los materiales. *Arquitectura Bioclimática Conceptos Materiales*. Obtenido el 14 de octubre de 2019, de: <https://pedrojhernandez.com/2014/04/09/caracteristicas-termicas-de-los-materiales/>
- Hudecki, A., Kiryczynski, G. & Los, M.J. (2019). Biomaterials, Definition, Overview. En: M.J.L, A.H. & E.W. Stem Cells and Biomaterials for Regenerative Medicine (85-98). Elsevier.
- IDEAM (2019). *Estaciones Aguada, El diamante y Paz de Ariporo, Casanare*. Obtenido de IDEAM.
- INEOS (s.f). Typical Engineering Properties of High Density Polyethylene. Recuperado de: <https://www.ineos.com/globalassets/ineos-group/businesses/ineos-olefins-and-polymers-usa/products/technical-information--patents/ineos-typical-engineering-properties-of-hdpe.pdf>
- Instructivo INT/CPA/O1. (2010). Instructivo de muestreo de productos agrícolas para análisis de residuos de plaguicidas. Recuperado de: <http://www.agrocalidad.gob.ec/documentos/lab/06-INT-CPA-01-Rev.-3-Muestreo-de-productos-agricolas-para-an-lisis-de-r.-plaguicidas-Vigente.pdf>
- ISO 1183-1. (2004). Plastics — Methods for determining the density of non-cellular plastics — Part 1: Immersion method, liquid pycnometer method and titration method.
- Ismail, M.R. Yassen, A.M. & Afify, M.S. (2011). Mechanical Properties of Rice Straw Fiber-Reinforced Polymer Composites. *Fibers and Polymers*, 12(5): 648-656.
- Justo, L (2018). Absorción de humedad en ladrillos. Universidad Católica Sedes Sapientiae. Facultad de Ingeniería. Obtenido el 16 de septiembre de 2019, de: <https://www.studocu.com/es/document/universidad-nacional-de-ingenieria-peru/ciencia-de-materiales-ii/informe/determinacion-de-la-absorcion-del-agua-en-ladrillos/3308328/view>
- Kargbo, Foday & Xing, Junjun & Zhang, Yanlin. (2010). Property analysis and pretreatment of rice straw for energy use in grain drying: A review. *Agriculture and Biology Journal of North America*. 1. 195-200. 10.5251/abjna.2010.1.3.195.200.
- Kibert, C. J. (2016). Sustainable construction : Green building design and delivery. Recuperado de: <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.unbosque.edu.co>
- Kibert, C.J. (1994). In Proceedings of First International Conference of CIB TG 16 on Sustainable Construction, Tampa, Florida.
- Ley No. 1537 de 2011. [Congreso de Colombia]. *"Por la cual se dictan normas tendientes a facilitar y promover el desarrollo urbano y el acceso a la vivienda y se dictan otras disposiciones"* Recuperado de: <http://www.dps.gov.co/Documentos%20compartidos/Ley%201537%20de%202012.pdf>
- Llanos Páez, Oriana, Ríos Navarro, Andrea, Jaramillo Páez, César Augusto, & Rodríguez Herrera, Luis Fernando. (2016). La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación. *Producción + Limpia*, 11(2), 150-160. <https://dx.doi.org/10.22507/pml.v11n2a12>
- Lorenzo, M., Cian, M. & Firpo, M.V. (2013). Implementación de un trabajo práctico sobre determinación de fibra en muestras de forrajes y su relación con la digestibilidad y el consumo. *Revista Científica Agropecuaria* 17(1-2): 53-57.
- Mansour, A., Srebric, J. & Burley, B.J. (2007). Development of Straw-cement Composite Sustainable Building Material for Low-cost Housing in Egypt. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(11): 1571-1580.
- Martín, Z. H. (2012). método de análisis de datos apuntes. Obtenido el 13 de octubre de 2019, de Universidad de la Rioja: https://www.unirioja.es/cu/zehernan/docencia/MAD_710/Lib489791.pdf
- Martone, P., Estévez, J. (2009). Discovery of Lignin in Seaweed Reveals Convergent Evolution of Cell-Wall Architecture. *Current Biology* 19 (2): 169-75

- Marzouki, R., Brahmia, A., Bondock, S., Keshk, S., Faouzi, Z., Koschella, A et al. (2019). Mercerization effect on structure and electrical properties of cellulose: Development of a novel fast Na-ionic conductor. *Carbohydrate Polymers*. Vol 221. p. 29-30.
- Maykut, P. & Morehouse, R. (1994) Beginning qualitative research a philosophical and practical guide. The Falmer Press, Londres.
- Mihelcic, J.R. & Zimmerman, J.B. (2012). Ingeniería Ambiental: Fundamentos, sustentabilidad, diseño. México D.F: Alfaomega.
- Ministerio de Agricultura. (2017). Arroz. Indicadores y acciones. Recuperado el 18, marzo, 2019 de: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Arroz/Documentos/002%20-%20Cifras%20Sectoriales/002%20-%20Cifras%20Sectoriales%20-%202017%20Diciembre%20Arroz.pptx>
- Ministerio de Agricultura. (2017). Evaluaciones agropecuarias municipales. Área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento del cultivo de arroz mecanizado en Casanare año 2017. Recuperado de: <https://www.casanare.gov.co/index.php%3Fidcategoria%3D58570%26download%3DY+%&cd=13&hl=es&ct=clnk&gl=co>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2014). Sector Plásticos. Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y Manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Guías Ambientales. Recuperado de: <https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2012/09/guias-ambientales-sector-plc3a1sticos.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2011). Serie Guías de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social. Recuperado de: http://www.minvivienda.gov.co/Documents/guia_asis_tec_vis_3.pdf
- Ministerio de Vivienda (2000). Reglamento técnico de instalaciones sanitarias, RAS 2000, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia, Ley 373 de 1997, Decreto 3102 de 1997, Decreto 1052 de 1998, Resolución 1096 de 2000 y actualizaciones.
- Ministerio de Vivienda (2009). Definición Vivienda de Interés Social, Derecho de Petición No. 4120-E1- 101503 del 1 de septiembre de 2009. Recuperado el 27, abril, 2019 en: <http://www.minvivienda.gov.co/ConceptosJuridicos/Concepto%20101503%20del%2010%20de%20septiembre%20de%202009%20-%20Definici%C3%B3n%20vivienda%20de%20inter%C3%A9s%20social.pdf>
- Ministerio de Vivienda (2015). Anexo 1, Guía de Construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones. Pag 6. Recuperado de: <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioVivienda/ANEXO%201%200549%20-%202015.pdf>
- Ministerio de Vivienda (2004). Decreto 2060 de 2004, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia, Diario oficial Núm 45590, 2004.
- Molina, E. (2010). Evaluación del uso de la cascarilla de arroz en la fabricación de bloques de concreto. Proyecto de grado. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería en Construcción. Recuperado de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6262/evaluaciondelusodelacascarilladearroz Lafabricacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Momayes, F., Karimi, S., Karimi, K., Sárvári, I. (2017). Efficient hydrolysis and ethanol production from rice straw by pretreatment with organic acids an effluent of biogas plant. *RSC Adv*. Vol. 7. pg 50537-50545. Obtenido el 11 de octubre de 2019, de: https://www.researchgate.net/publication/320714304_Efficient_hydrolysis_and_ethanol_produc

- tion_from_rice_straw_by_pretreatment_with_organic_acids_and_effluent_of_biogas_plant/citation/download.
- Mora-Espinosa, W.J. & Ramón-Valencia, B.A. (2017). Caracterización térmica, mecánica y morfológica de fibras naturales colombianas con potencial como refuerzo de biocompuestos. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencia*. 41(161):479-489.
- Moreno, L., Trujillo, E., & Osorio, L. Estudio de las características físicas de haces de fibra de *Guadua Angustifolia*. *Scientia Et Technica*, XIII(34). Obtenido el 14 de Octubre de 2019. ISSN: 0122-1701. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=849/84934104>.
- Muthuraj, R. Lacoste, C. Lacroix, P & Bergeret, A. (2019) Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibers and textile waste fibers: Elaboration and performances evaluation. *Industrial Crops and Products*. Volume 135, pg. 238-245. Obtenido el 06 de mayo de 2019, de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669019303024>
- Naranjo, J. 2017. Informe de gestión de la empresa de servicios públicos Paz de Ariporo S.A. E.S.P. Obtenido el 21 de septiembre de 2019, de: <http://www.pazdeariporo-casanare.gov.co/Conectividad/RendiciondeCuentas/INFORME%20DE%20GESTI%C3%93N%20%20DE%20LA%20EMPRESA%20DE%20SERVICIOS%20P%C3%9ABLICOS%20VIGENCIA%202017.pdf>
- Nguyen, X.T. (1998). The Need for Improved Utilization of Rice Straw as Feed for Ruminants in Vietnam: An overview. *Livestock Research for Rural Development*.
- Núñez, D. (2012). Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta, *Tecnura* 16 (34), 142-156.
- Nutrición de plantas S.A. (s.f). Ficha técnica Triple 18. Obtenido el 08 de mayo del 2019. Recuperado de: <http://recintodelpensamiento.com/ComiteCafeteros/HojasSeguridad/Files/Fichas/FTTriple18Nutricion2015102219350.pdf>
- Nutrición de plantas S.A. (s.f). Ficha técnica Urea. Obtenido el 08 de mayo del 2019. Recuperado de: <http://recintodelpensamiento.com/ComiteCafeteros/HojasSeguridad/Files/Fichas/FTUreaNutriplant201572181344.pdf>
- Oanh, N.T. K., Tipayarom, A., Bich, T. L., Tipayarom, D., Simpson, C. D., Hardie, D., ... & Liu, L.-J. (2015). Characterization of gaseous and semi-volatile organic compoundsemitted from field burning of rice straw. *Atmospheric Environment*, 119,182-191.
- Olmos, S. (2006). Apunte de morfología, fenología, ecofisiología y mejoramiento genético del arroz. Argentina: Facultad de ciencias agrarias UNNE.
- ONU. (2002). Cumbre de Johannesburgo 26 de agosto al 4 e septiembre de 2002. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Obtenido el 29 de agosto de 2019, de: <https://www.un.org/spanish/conferences/wssd/unced.html>
- Ortiz, E.A. (2010). Diagnóstico y estrategias para la gestión ambiental orientado a mitigar el impacto producido por el desarrollo propio de la comunidad del corregimiento Morrison del Municipio de Río de Oro, influencia del campo los ángeles. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana
- Peñaranda Gonzalez, L., Montenegro Gómez, S., & Giraldo Abad, P. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(2), 141 - 150. doi:<https://doi.org/10.22490/21456453.2040>.
- Pérez Lora, P.A. & Gutiérrez Casado, D. (2015). Propuesta de construcción sostenible a partir de la implementación de nuevos materiales, para la mejora del diseño estructural de vivienda en la población de Beté, Chocó. Tesis de grado. Bogotá D.C: Universidad El Bosque.
- Piñeros, Y. (2014). Aprovechamiento de biomasa lignocelulósica, algunas experiencias de investigación en Colombia. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá D.C

- PNUD. Objetivos del desarrollo sostenible. Recuperado de: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>.
- Prada, A., & Cortés, C. E. (2010). Thermal decomposition of rice husk: an alternative integral use. *Orinoquia 14 sup*, 155-170.
- Quiceno, D. & Mosquera, M.Y. (2010). Alternativas tecnológicas para el uso de la cascarilla de arroz como combustible. Proyecto de grado. Santiago de Cali: Universidad autónoma de occidente
- Quiminet. (2012). Determine el porcentaje de humedad de sus muestras eficazmente. 21 de diciembre de 2012. Obtenido el 16 de septiembre de 2019, de: <https://www.quiminet.com/articulos/determine-el-porcentaje-de-humedad-de-sus-muestras-eficazmente-3376250.htm>
- Quinn, B. & Blair, C. (2017). Microplastic Pollutants. En Elsevier. <https://doi.org/10.1016/c2015-0-04315-5>
- Ramesh, M. Sri Ananda, T. Aswin, U.S. Eashwar, H. & Deepa, C. (2014). Processing and Mechanical Property Evaluation of Banana Fiber Reinforced Polymer Composites. *Procedia Engineering*. Volume 97: 563-572
- Razavi-Nouri, M., Jafarzadeh-Dogouri, F., Oromiehie, A. & Langroudi, A.M. (2006). Mechanical Properties and Water Absorption Behaviour of Chopped Rice Husk Filled Polypropylene Composites. *Iranian Polymer Journal*, 15(9):757-766.
- Rengifo, B. Quitiaquez, L. & Mora, F. (2012). La educación ambiental una estrategia pedagógica que contribuye a la solución de la problemática ambiental en Colombia. Recuperado de: <http://www.ub.edu/geocrit/coloquio2012/actas/06-B-Rengifo.pdf>.
- República de Colombia. (1991). Constitución Política de Colombia 1991.
- Resolución 0549 de 2015 [Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio]. *Por la cual se reglamenta el Capítulo 1 del título 7 de la parte 2, del libro 2 del Decreto 1077 de 2015, en cuanto a los parámetros y lineamientos de construcción sostenible y se adopta la Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones*. Julio 10 de 2015. Recuperado de: <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesVivienda/0549%20-%202015.pdf>
- Robayo, R., Matthey, P., & Delvasto, S. (2013). Comportamiento mecánico de un concreto fluido adicionado con ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y reforzado con fibras de acero. *Revista de la construcción*, 139-151.
- Rodríguez, F., & Fernández, G. (2010). Ingeniería sostenible: nuevos objetivos en los proyectos de construcción. *Revista Ingeniería de Construcción Vol. 25 N°2*, 147-160.
- Rodríguez, M. C., León, F. B., & Martínez, J. A.-V. (2003). *Residuos agrarios y subproductos*. Obtenido de https://books.google.com/books/about/Residuos_agrarios_y_subproductos.html?hl=&id=4EDdAAAACAAJ
- Rodríguez, O. (s.f). Propiedades Físicas de la Madera. Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido el 21 de Julio de 2019, de: http://132.248.9.195/ptd2013/enero/0688067/0688067_A6.pdf
- Roig, I. (2015). Biocomposites con Nanoláminas de Grafeno obtenidos mediante Pultrusión y adaptados a Envolventes Arquitectónicas. Instituto Tecnológico del Plástico. *Revista de Plásticos Modernos*. Vol 110.
- Rojas, J. (2018). Determinación de la absorción del agua en ladrillos. Universidad Nacional de Ingeniería de Perú. Obtenido el 13 de octubre de 2019, de: <https://www.studocu.com/es/document/universidad-nacional-de-ingenieria-peru/ciencia-de-materiales-ii/informe/determinacion-de-la-absorcion-del-agua-en-ladrillos/3308328/view>

- Romero, B & González, G. Propuesta de un sistema sostenible de abastecimiento de agua potable en el corregimiento de Nueva Venecia, Magdalena. Tesis de grado. Bogotá D.C. Universidad El Bosque.
- Rosell, J & Cantalapiedra, I. (2010). Método simple para determinar el módulo de Young dinámico a partir de una excitación por impacto aplicado a morteros de cal y cemento. *Revista Materiales de Construcción*. Vol 61.
- Salamanca, L. (2005). Diagnóstico y estrategias para la gestión ambiental asociado al manejo de residuos sólidos urbanos en el municipio de Arauca. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: http://bdigital.unal.edu.co/5194/1/trabajo_final_Luis_E_salamanca.pdf
- Salas, J., & Oteiza, I. (2009). Estrategias divergentes de industrialización abierta para una edificación pretenciosamente sostenible. *Informes de la Construcción*, 11-31.
- Salvador, M.D., Amigo, V., Nuez, A., Sahuquillo, O., Llorens, R. & Marti, F. (2008). Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticas. Valencia:, España Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de: http://www.upv.es/VALORES/Publicaciones/CNM08_Fibras_naturales.pdf
- Sánchez, A. M., Gutiérrez, A.I., Muñoz, J.A. & Rivera, C.A (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *Revista tumbaga*. Vol. 1. Núm.5 Recuperado de: <http://revistas.ut.edu.co/index.php/tumbaga/article/view/58/58>.
- Sánchez, P. (2019) Informe de laboratorio. Física I errores y gráficas. Universidad de la Salle. Obtenido el 14 de octubre de 2019, de: https://www.academia.edu/11343327/INFORME_DE_LABORATORIO_-FISICA_I_ERRORES_Y_GR%C3%81FICAS
- Saval, S. (2012) Aprovechamiento de Residuos agroindustriales: Pasado, presente y futuro. *Revista de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería A.C*, 16(2):14-36.
- Secretaría de Agricultura y Ganadería (2003). Manual técnico para el cultivo de arroz. (*Oryza sativa*). Comayagua, Honduras: Dirección de ciencia y Tecnología Agropecuaria DICTA. Recuperado el 28, abril, 2019 en: <https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/el-cultivo-del-arroz.pdf>
- Secretaria de Salud Municipal. (2017). Análisis de situación de salud 2017. Municipio de Paz de Ariporo. Recuperado de: <http://www.pazdeariporo-casanare.gov.co/Transparencia/BancoDocumentos/ASIS%20ACTUALIZADO%202017.pdf>
- Serrano, T., Borrachero, V., & Monzo, J. (2012). Morteros aligerados con cascarilla de arroz: Diseño de mezclas y evaluación de propiedades. *Universidad Nacional*, 128-136.
- Sierra, M. A., & Mejía, F. (2015). *Aprovechamiento del tamo de arroz para la elaboración de tejidos artesanales, caso de estudio en la finca "el chaco", ubicada en el municipio de Piedras (Tolima)*. Bogotá D.C: Universidad de la Salle.
- Silva, O. (2016). Conociendo las propiedades físicas del cemento: ¿Qué y Cómo?. Obtenido el 21 de Julio de 2019, de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/propiedades-fisicas-del-cemento>
- Srinivasan, V. S., Rajendra Boopathy, S., Sangeetha, D., & Vijaya Ramnath, B. (2014). Evaluation of mechanical and thermal properties of banana–flax based natural fibre composite. *Mater. Des.*, 620-627.
- Suárez, A. (2007). El modelo agrícola colombiano y los alimentos en la globalización. Ediciones Aurora. Bogotá, Colombia.
- Suárez, H. (2005). Implementación de un horno incinerador de cascarilla de arroz en el Molino Florhuila. Tesis de grado. Bogotá: Universidad El Bosque.
- Summers, M.D., Blunk, S.L. & Jenkins, B.M. (2003). How straw descomposes: Implications for straw bale construction. Ecological Building Network. Egyp.

- Susunaga, J.M. (2014). Construcción sostenible, una alternativa para la Edificación de Viviendas de Interés Social y Prioritario. Proyecto de grado. Bogotá D.C: Universidad Católica de Colombia.
- Taborda-Rios, J. A., Cañas-Mendoza, L. A., & Trisancho-Reyes, J. L. (2017). Estudio comparativo de las propiedades mecánicas de la resina poliéster reforzada con fibra de bambú, como material sustituto de la fibra de vidrio. *Dyna*, 35-41.
- Tamayo, E. (2013). *Materiales Sostenibles: Principios y guía práctica*. Bogotá D.C: Universidad Piloto de Colombia.
- Teishev, A. , Incardona, S. , Migliaresi, C. and Marom, G. (1993), Polyethylene fibers- polyethylene matrix composites: Preparation and physical properties. *J. Appl. Polym. Sci.*, 50: 503-512.
- Thakur, V.K., Thakur, M.K. & Kessler, M. R. (2017). *Handbook of composites from renewable materials*. USA: Scrivener Publishing LLC.
- Tirado, C. & Barreto, J. (2014). Evaluación de la competitividad del arroz colombiano frente al estadounidense: un análisis de la seguridad alimentaria en el marco del TLC. Universidad del Tolima. Ibagué. Recuperado de <http://repository.ut.edu.co/bitstream/001/1461/1/RIUT-FAA-spa-2015-Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20competitividad%20del%20arroz%20colombiano%20frente%20al%20estadounidense%20un%20an%C3%A1lisis%20de%20la%20seguridad%20alimentaria%20en%20el%20marco%20del%20tlc.pdf>
- Toscano, L., Ayala, A.G., Montero, G., Cervantes, L., Torres, R., Romero, E., Guadalupe, M. & García, A. (2005). Determinación simplificada del contenido de lignina en paja de trigo por el método volumétrico y su caracterización química. *Ciencia y tecnología*, 15: 113-124.
- Tronc, E., Hernández, C.A., Ibarra, R., Estrada A., Navarrete, J. & Zaragoza, E.A. 2007. Blue agave fiber esterification for the reinforcement of thermoplastic composites. *Carbohydrate Polymers*. 67: 245-255.
- Ummah, H., Suriamihardja, A.D., Selintung, M. & Wahab, A.W. (2015). Analysis of chemical composition of rice husk used as absorber plates sea water into clean water. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10 (14): 6046-6050.
- Universidad Carlos III de Madrid (2015). Práctica de Microscopía electrónica de barrido (MEB). Recuperado el 24, abril, 2019 de: ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/caracterizacion-de-materiales/practicas-2/...de.../file
- Universidad de Barcelona. (s.f). Polietileno de Alta Densidad. Obtenido el 05 de octubre de 2019, de: <http://www.ub.edu/cmmaterials/es/content/polietileno-de-alta-densidad>
- Universidad de los Andes (2019). Microscopio de Barrido de Electrones. Recuperado el 24, abril, 2019 de <https://investigaciones.uniandes.edu.co/microscopio-electronico-de-barrido-meb/>
- USGBC. (2018). Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). Recuperado de: <https://new.usgbc.org/leed>
- USGBC. (2019). LEED v4 rating system selection guidance. Recuperado de: <https://new.usgbc.org/rating-system-selection-guidance>
- USGBC. (2009). LEED Reference guide for green building design and construction. Washington: USGBC.
- USGBC. (2019). LEED v4 for homes design and construction. Includes LEED BD+C: Homes and Multifamily Lowrise and LEED BD+C: Multifamily Midrise. Washington: USGBC.
- USGBC. (2019). LEED v4.1 Building design and construction. Washington: U.S. Green Building Council.
- Valverde, A., Sarria, B. & Monteagudo, J.P. (2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et Technica Año XIII*, 37. Universidad Tecnológica de Pereira.

- Van Soest, P., Robertson, J. & Lewis, B. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3591.
- Vargas, Y.A. & Pérez, L.I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. Vol. 14, pg 1-14. Fundación Universitaria de San Gil.
- Vargas, J., Alvarado, P., Vega-Baudrit, J. & Porras, M. (2013). Caracterización del subproducto cascarillas de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos. *Revista Científica*. Vol 23. No 1. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Vázquez, G & Echeverria, O. (2000). Introducción a la Microscopia Electrónica aplicada a las ciencias biológicas. *Universidad Nacional Autónoma de México*. México. México D.F. pp 14.
- Velásquez, S.M., Peláez, G.J. & Giraldo, D.H. (2015). Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: una revisión con miradas a su aplicación en el diseño de nuevos productos. *Informador Técnico (Colombia)*. 80 (1): 77-86.
- Vélez, L. (2010). Permeabilidad y Porosidad en Concreto. *Rev. Tecno Lógicas*. Diciembre de 2010. pg. 169-187.
- Wang R.M, Zheng S.R & Zheng Y.P (2011). *Polymer Matrix Composites and Technology*. Introduction to polymer matrix composites. Woodhead Publishing. Pages 1-548.
- Wei, K., Lv, C., Chen, M., Zhou, X., Dai, Z., & Shen, D. (2015). Development and performance evaluation of a new thermal insulation material from rice straw using high frequency hot-pressing. *Energy and Buildings*, 87, 116–122. doi:10.1016/j.enbuild.2014.11.026
- Yao, F., Wu, W., Lei, Y. & Xu, Y. (2008). Rice straw fiber-reinforced high-density polyethylene composite: Effect of fiber type and loading. *Industrial Crops and Product*, 28 (1): 63-72.
- Yang H.-S., Kim D.J., Lee J.K., Kim H.J., Jeon J.Y., Kang C.W. (2004) Possibility of using waste tire composites reinforced with rice straw as construction materials, *Bioresource Technol.* 95, 61–65.
- Yashas Gowda T.G., Sanjay M.R., Subrahmanya Bhat K., Madhu P., Senthamaraikannan P. & Yogesha.B.(2018). Polymer matrix-natural fiber composites: An overview. *Cogent Engineering*, 5:1446667
- Yepes, S.M., Montoya, L.J. & Orozco, F. (2008) Valorización de residuos agroindustriales- Frutas- en Medellín y el Sur del Valle de Aburrá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* , 61 (1): 4422-4431.
- Rice straw fiber-reinforced high-density polyethylene composite: Effect of fiber type and loading
- Zweben, C. (2015). Composite Materials. In *Mechanical Engineers' Handbook*, M. Kutz (Ed.). doi:10.1002/9781118985960.meh110

Anexos

Anexo 1. Modelo entrevista a cultivadores

ENTREVISTA PARA LOS CULTIVADORES DE ARROZ EN EL MUNICIPIO DE PAZ DE ARIPORO

Fecha: _____

Vereda: _____

Finca: _____

Nombre: _____

1. ¿Qué Función tiene en el cultivo?
2. ¿Hace cuánto trabaja en el cultivo?
3. ¿Es usted de esta zona o viene de otra región?
4. ¿Qué tipo de arroz produce?
5. ¿Qué extensión tiene el cultivo?
6. ¿Cuántas personas trabajan en esta finca?
7. ¿Lleva registro del arroz que se produce?
8. ¿Cuánta es la producción de arroz anual o mensual?
9. ¿A quién le vende el arroz?
10. ¿Cuál cree usted es el residuo natural que más se genera dentro del cultivo?
11. ¿Sabe cuánta cantidad de residuos se generan?
12. ¿Cuenta con un Manual de Manejo de los residuos del cultivo?
13. ¿Qué hacen con los residuos naturales que se generan en el proceso del cultivo?
14. ¿Cree usted que los residuos naturales generados pueden tener un valor económico beneficioso para usted, es decir, que los puede vender?
15. ¿En el cultivo se genera algún residuo plástico?

Anexo 2. Modelo entrevista a cultivadores

ENTREVISTA PARA PERSONA DE PLANEACIÓN MUNICIPIO PAZ DE ARIPORO

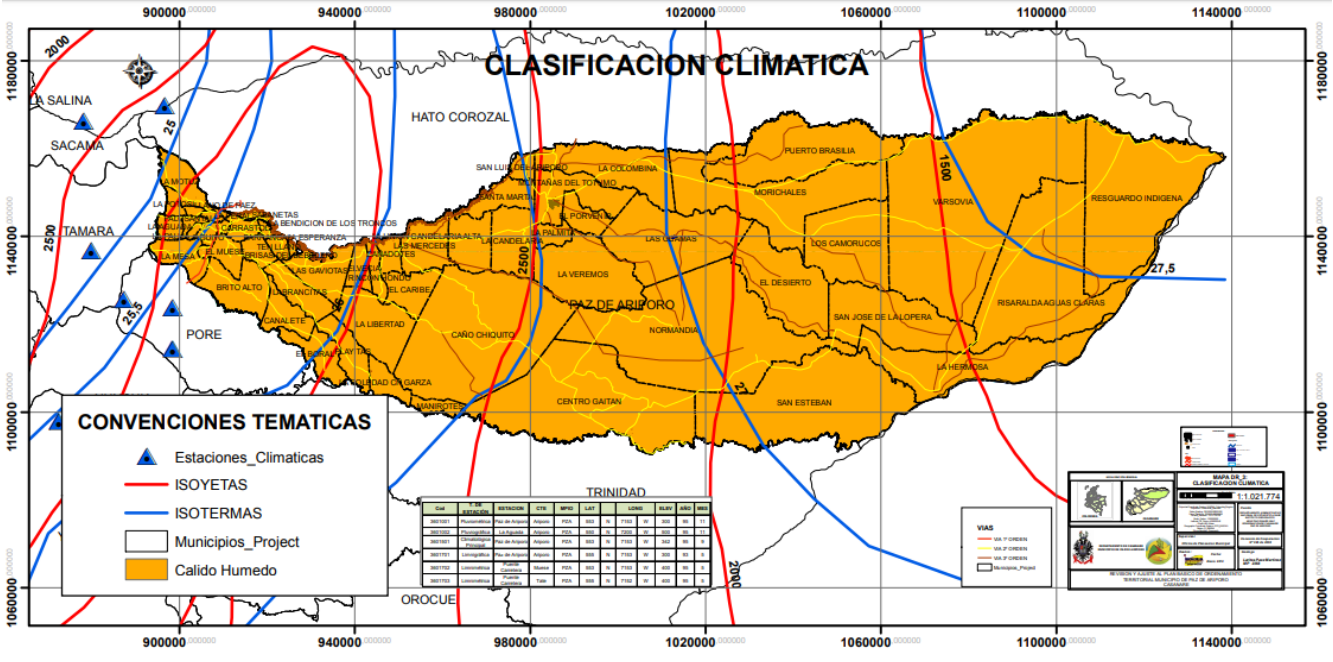
Fecha: _____

Entrevistado: _____

Cargo: _____

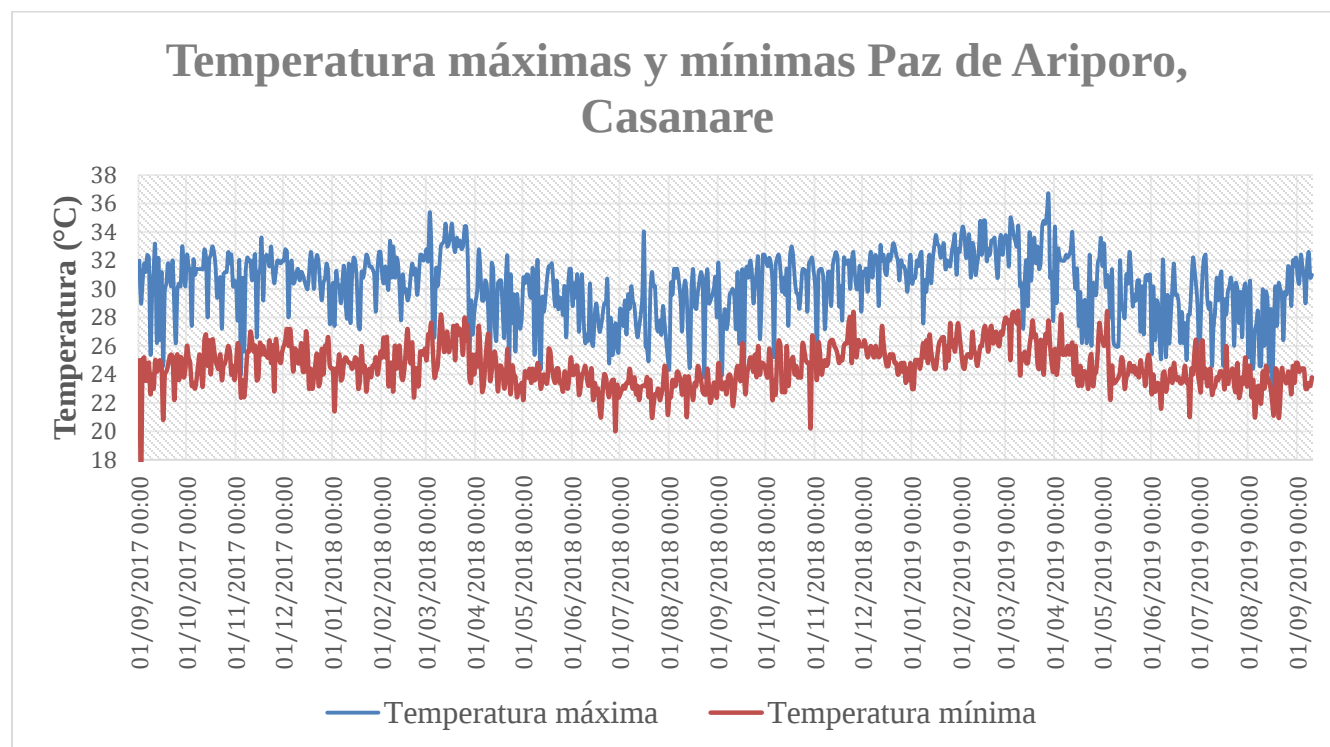
- 1.** ¿Actualmente hay Viviendas de Interés social en el municipio?
- 2.** ¿Qué proyectos de Vivienda de Interés Social tienen en este momento y en qué lugares del municipio se realizarán?
- 3.** ¿En cuánto tiempo se llevan a cabo estos proyectos?
- 4.** ¿Qué tipo de materiales se utilizan para construir las VIS en el municipio?
- 5.** ¿Cuáles son las dimensiones que tienen en cuenta al realizar estas construcciones?
- 6.** ¿Para qué número de personas se realizan?
- 7.** ¿Cómo se distribuyen?
- 8.** ¿Cómo se piensan y planean estas viviendas debido a que es una zona con clima caliente?
- 9.** Han pensado incluir materiales más amigables con el ambiente en sus proyectos de VIS
- 10.** ¿Tienen algún plano de las casas de los proyectos de VIS que nos permitan ver?

Anexo 3. Clasificación climática Paz de Ariporo, Casanare



Fuente: Alcaldía Paz de Ariporo- PBOT (2011).

Anexo 4. *Gráfica de temperaturas máximas y mínimas del municipio Paz de Ariporo, Casanare*



Fuente: IDEAM (2019)

Anexo 5. Cálculos análisis químico tamo y cascarilla

Determinación porcentaje de lignina tamo

Muestra inicial (g)	1,006
Muestra final (g)	0,333
%Lignina	33,10
Incertidumbre relativa	0,032
Incertidumbre ($\pm$)	0,01

Fuente: Autoras

Determinación porcentaje de celulosa tamo

Muestra inicial (g)	1,0895
Muestra final (g)	0,4488
%Celulosa	57,706
Incertidumbre relativa	0,016
Incertidumbre ($\pm$)	0,009

Fuente: Autoras

Determinación porcentaje de lignina cascarilla

Muestra inicial (g)	1,0026
Muestra final (g)	0,3768
%Lignina	37,58
Incertidumbre relativa	0,028
Incertidumbre ($\pm$)	0,01

Fuente: Autoras

Determinación porcentaje de celulosa cascarilla

Muestra inicial (g)	1,049
Muestra final (g)	0,5477
%Celulosa	47,72
Incertidumbre relativa	0,0200
Incertidumbre ($\pm$)	0,01

Fuente: Autoras

Anexo 6. Porcentaje de hinchamiento biocomposito PE/TA-CA (80/20)

Porcentaje de hinchamiento en base seca del biocomposito PE/TA-CA (80/20)

Tiempo (h)	Muestra 1 (%)	Incertidumbre (±)	Muestra 2 (%)	Incertidumbre (±)	Muestra 3 (%)	Incertidumbre (±)	PROMEDIO	Incertidumbre (±)
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0
0.50	5.175	0.004	5.789	0.005	5.271	0.005	5	1
0.71	3.279	0.004	5.078	0.005	5.134	0.005	4	3
1.00	4.908	0.004	5.453	0.005	4.996	0.005	5	1
1.41	4.859	0.004	6.221	0.005	5.902	0.005	6	2
1.73	4.046	0.004	4.974	0.005	5.038	0.005	5	1
2.00	5.006	0.004	7.321	0.005	5.902	0.005	6	3
2.24	4.469	0.004	5.865	0.005	5.806	0.005	5	2
2.45	4.145	0.004	5.903	0.005	5.626	0.005	5	2

Fuente: Autoras

Porcentaje de hinchamiento en base húmeda del biocomposito PE/TA-CA (80/20)

Tiempo (h)	Muestra 1 (%)	Incertidumbre (±)	Muestra 2 (%)	Incertidumbre (±)	Muestra 3 (%)	Incertidumbre (±)	PROMEDIO	Incertidumbre (±)
0.00	0	0	0	0	0	0	0	0
0.50	4.92	0.004	5.473	0.001	5.007	0.001	5.1	0.7
0.71	3.175	0.004	4.833	0.001	4.883	0.001	4.3	2.4
1.00	4.678	0.004	5.171	0.001	4.758	0.001	4.9	0.7
1.41	4.634	0.004	5.857	0.001	5.573	0.001	5.4	1.6
1.73	3.889	0.004	4.738	0.001	4.796	0.001	4.5	1.3
2.00	4.768	0.004	6.822	0.002	5.5728	0.0009	5.7	2.6
2.24	4.278	0.004	5.54	0.001	5.4877	0.0009	5.1	1.8
2.45	3.98	0.004	5.574	0.001	5.327	0.001	5	2.1

Fuente: Autoras