



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**Unidad Académica de Ingeniería, Industria y  
Construcción**

**CARRERA DE ARQUITECTURA Y URBANISMO**

---

**Elementos Modulares: Una propuesta en base de fibras  
naturales de trigo y cascarilla de café**

---

TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ARQUITECTO

**Autor: Christian Segarra Villacis**

**Director: Arq. MSc. José Francisco Pesántez Pesántez**

**CUENCA - ECUADOR**

2020

*Yo me gradué en  
los 50 años de La Cato!  
... y sostuve la Universidad*

## Declaración

Yo, **Christian Segarra Villacis**, con cédula de identidad 0105835912-X, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. Que el trabajo aquí descrito es de mi autoría y soy responsable de las ideas, doctrinas, resultados y lineamientos alternativos realizados en la presente investigación.
2. Que trabajo es original, siendo resultado de mi trabajo personal, el cual no he copiado de otro trabajo de investigación, ni utilizado ideas, fórmulas, citas completas, ilustraciones, tablas, etc. sacadas de alguna publicación (en versión digital o impresa).  
Caso contrario, referencio en forma clara y exacta su origen o autor.
3. Que el trabajo no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.
4. Que el patrimonio intelectual del trabajo investigativo pertenece a la Universidad Católica de Cuenca.

Me hago responsable ante la universidad o terceros, de cualquier irregularidad o daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado y asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, responsabilizándome por todas las cargas pecuniarias o legales que se deriven de ello sometiéndome a la normas establecidas y vigentes de la Universidad Católica de Cuenca.



---

Christian Segarra Villacis

## Certificación

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de ARQUITECTO con el título: “*Elementos Modulares: Una propuesta en base de fibras naturales de trigo y cascarilla de café*” ha sido elaborado por el Sr. **Christian Segarra Villacis**, mismo que ha sido realizado con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor, por lo que certifico que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.



---

Arq. MSc. José Francisco Pesántez Pesántez

## Dedicatoria

Dedico esta importante etapa académica de mi vida en primera instancia a mis padres que siempre confiaron en mí y me ayudaron a seguir adelante a pesar de todas las cosas buenas y malas, quienes me enseñaron que en la vida es importante la responsabilidad y que las metas se construyen día a día con sacrificio y esfuerzo. Gracias padres por que sin ustedes no estaría el día de hoy alcanzado esta meta.

En segundo lugar dedico esto a mis hermanas y hermano, que aunque tengamos diferencias siempre seremos familia y eso nos une eternamente. Los amo.

## Agradecimientos

Agradezco a la honorable Universidad Católica de Cuenca, en especial a los docentes con los que compartí todo el trayecto universitario, a los amigos y compañeros que tuve la oportunidad de conocer en los últimos años con los cuales compartimos muchas vivencias, trabajos, exámenes, viajes, visitas técnicas.

A mi director de tesis y amigo el arquitecto José Pesántez por su gran apoyo, no solo en este trabajo de titulación, si no desde que fue mi docente a partir del tercer año en la carrera, gracias al cual pude compartir varias experiencias académicas, concursos, viajes.

Finalmente agradezco a mis compañeros y amigos Amanda, Daniela, Karla, William y Adrián que fueron un apoyo durante gran parte del trayecto universitario y con los cuales aprendí muchas experiencias buenas y malas.

## Resumen

La industria de la construcción genera una explotación intensa e irracional de recursos naturales no renovables, siendo la actividad menos sostenible y una de las fuentes más contaminantes; por otro lado, las actividades agrícolas generan la acumulación de residuos sólidos, que contribuyen a la contaminación ambiental. Esta investigación tiene por objetivo elaborar elementos modulares mediante el uso de fibras de trigo y cascarilla de café, para ello se aplica un análisis bibliográfico que permitan saber el uso, extracción, cuantificación y características, que conjuntamente con un método experimental a base de ensayos de laboratorio y lineamientos en normativas, permitieren el uso de la paja de trigo y cascarilla de café como materia prima. Los resultados en los ensayos de laboratorio demuestran que el panel constructivo compuesto de fibras naturales cumple con los parámetros establecidos en las normativas para mejorar el comportamiento térmico de un espacio, permitiendo su aplicación en el ámbito constructivo como recubrimiento de mampostería interior.

**Palabras clave:** CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE; FIBRAS NATURALES; RESIDUOS AGROINDUSTRIALES; TABLEROS ECOLÓGICOS.

## Abstract

The construction industry generates intense and irrational exploitation of non-renewable natural resources, being the least sustainable activity and one of the most polluting sources. On the other hand, agricultural activities generate the accumulation of solid waste, which contributes to environmental pollution. The objective of this research is to elaborate on modular elements through the use of wheat fibers and coffee husks. For this purpose, a bibliographic analysis is applied to determine the use, extraction, quantification, and characteristics, which together with an experimental method based on laboratory tests and guidelines in standards, allow the use of wheat straw and coffee husks as raw material. The results of the laboratory tests show that the construction panel composed of natural fibers complies with the parameters established in the regulations to improve the thermal behavior of a space, allowing its application in the construction field as an interior masonry covering.

**Keywords:** SUSTAINABLE CONSTRUCTION, NATURAL FIBERS, AGRO-INDUSTRIAL WASTE, ECOLOGICAL PANELS.

# Índice de Contenidos

|                                        |              |
|----------------------------------------|--------------|
| <b>Declaración</b>                     | <b>I</b>     |
| <b>Certificación</b>                   | <b>II</b>    |
| <b>Dedicatoria</b>                     | <b>III</b>   |
| <b>Agradecimientos</b>                 | <b>IV</b>    |
| <b>Resumen</b>                         | <b>V</b>     |
| <b>Abstract</b>                        | <b>VI</b>    |
| <b>Índice de Contenidos</b>            | <b>VII</b>   |
| <b>Lista de Figuras</b>                | <b>X</b>     |
| <b>Lista de Tablas</b>                 | <b>XIII</b>  |
| <b>Introducción</b>                    | <b>XV</b>    |
| <b>Problemática</b>                    | <b>XVI</b>   |
| <b>Objetivos</b>                       | <b>XVII</b>  |
| 0.1. Objetivo General . . . . .        | XVII         |
| 0.2. Objetivos Específicos . . . . .   | XVII         |
| <b>Justificación</b>                   | <b>XVIII</b> |
| <b>Metodología</b>                     | <b>XIX</b>   |
| <b>1. Fundamento Teórico</b>           | <b>1</b>     |
| 1.1. Marco Teórico . . . . .           | 1            |
| 1.2. Construcción Sostenible . . . . . | 2            |

---

|           |                                                                        |           |
|-----------|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.3.      | Residuos Agroindustriales . . . . .                                    | 3         |
| 1.4.      | Fibras Naturales . . . . .                                             | 5         |
| 1.4.1.    | Tableros ecológicos en la construcción . . . . .                       | 6         |
| 1.4.2.    | El café . . . . .                                                      | 7         |
| 1.4.3.    | El café en el Ecuador . . . . .                                        | 10        |
| 1.4.4.    | El trigo . . . . .                                                     | 13        |
| 1.4.5.    | El trigo en el Ecuador . . . . .                                       | 15        |
| 1.5.      | Análisis y conclusiones . . . . .                                      | 18        |
| <b>2.</b> | <b>Desarrollo Experimental</b>                                         | <b>21</b> |
| 2.1.      | Materiales . . . . .                                                   | 21        |
| 2.2.      | Aglomerantes . . . . .                                                 | 21        |
| 2.2.1.    | Almidón de arroz . . . . .                                             | 22        |
| 2.3.      | Estabilizadores . . . . .                                              | 22        |
| 2.3.1.    | Métodos de estabilización . . . . .                                    | 22        |
| 2.3.2.    | Arcilla . . . . .                                                      | 23        |
| 2.3.3.    | Cal . . . . .                                                          | 23        |
| 2.3.4.    | Yeso . . . . .                                                         | 24        |
| 2.4.      | Fibras Lignocelulosas . . . . .                                        | 24        |
| 2.5.      | La cascarilla de café . . . . .                                        | 25        |
| 2.5.1.    | Propiedades físico-químicas de la cascarilla de café . . . . .         | 25        |
| 2.5.2.    | Cuantificación de la cascarilla de café . . . . .                      | 27        |
| 2.5.3.    | Extracción y obtención de materia prima (cascarilla de café) . . . . . | 30        |
| 2.6.      | La paja de trigo . . . . .                                             | 31        |
| 2.6.1.    | Propiedades físico-químicas de la paja de trigo . . . . .              | 31        |
| 2.6.2.    | Cuantificación de la paja de trigo . . . . .                           | 32        |
| 2.6.3.    | Extracción y obtención de materia prima (paja de trigo) . . . . .      | 33        |
| 2.7.      | Ensayos de inmunización en fibras vegetales . . . . .                  | 35        |
| 2.8.      | Normas técnicas . . . . .                                              | 37        |
| 2.9.      | Parámetros físico-mecánicos . . . . .                                  | 38        |
| 2.9.1.    | Densidad Aparente . . . . .                                            | 38        |
| 2.9.2.    | Contenido de humedad . . . . .                                         | 39        |
| 2.9.3.    | Módulo de elasticidad (MOE) . . . . .                                  | 40        |
| 2.9.4.    | Módulo de rotura (MOR) . . . . .                                       | 41        |

---

|                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.10. Diseño experimental. Fase 1 . . . . .                                | 42        |
| 2.10.1. Mezcla y dosificación de materiales . . . . .                      | 42        |
| 2.10.2. Ensayo de compresión . . . . .                                     | 45        |
| 2.10.3. Ensayos de flexión . . . . .                                       | 46        |
| 2.10.4. Análisis de resultados Fase 1 . . . . .                            | 48        |
| 2.11. Diseño experimental. Fase 2 . . . . .                                | 49        |
| 2.11.1. Mezcla y dosificación de materiales . . . . .                      | 49        |
| 2.11.2. Determinación de la densidad . . . . .                             | 50        |
| 2.11.3. Determinación del contenido de humedad . . . . .                   | 51        |
| 2.11.4. Ensayo de módulo de rotura . . . . .                               | 52        |
| 2.11.5. Análisis térmico . . . . .                                         | 53        |
| 2.11.6. Análisis de resultados fase 2 . . . . .                            | 63        |
| <b>3. Propuesta y Diseño</b>                                               | <b>65</b> |
| 3.1. Diseño del elemento constructivo . . . . .                            | 65        |
| 3.1.1. Determinación de dimensiones . . . . .                              | 65        |
| 3.1.2. Dosificación y componentes . . . . .                                | 65        |
| 3.1.3. Diseño y elaboración de molde . . . . .                             | 66        |
| 3.1.4. Proceso de producción del elemento constructivo . . . . .           | 68        |
| 3.1.5. Proceso de producción del elemento constructivo con acabado de yeso | 70        |
| 3.1.6. Protección y Acabados . . . . .                                     | 71        |
| 3.2. Pruebas de campo de elemento constructivo . . . . .                   | 74        |
| 3.3. Aplicaciones constructivas . . . . .                                  | 75        |
| 3.3.1. Sistema de montaje para recubrimiento de muros . . . . .            | 75        |
| 3.3.2. Sistema de montaje para tabiquería liviana . . . . .                | 78        |
| 3.4. Aplicaciones en espacios interiores . . . . .                         | 81        |
| 3.5. Análisis de costos . . . . .                                          | 84        |
| 3.6. Análisis medio ambiental del elemento modular . . . . .               | 85        |
| 3.7. Análisis comparativo de tableros . . . . .                            | 87        |
| <b>4. Conclusiones y Recomendaciones</b>                                   | <b>90</b> |
| 4.1. Conclusiones . . . . .                                                | 90        |
| 4.2. Recomendaciones . . . . .                                             | 92        |
| <b>Referencias bibliográficas</b>                                          | <b>94</b> |

---

## Lista de Figuras

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1. Residuo agroindustrial de la producción de café <a href="http://www.infobosques.com">www.infobosques.com</a> . . . . .              | 4  |
| 1.2. Residuo agroindustrial del cultivo de trigo <a href="http://www.energynews.es">www.energynews.es</a> . . . . .                      | 4  |
| 1.3. Paneles modulares prefabricados con paja <a href="http://www.modcell.com">www.modcell.com</a> . . . . .                             | 6  |
| 1.4. Planta de cafetos <a href="http://www.cafedecolombia.com">www.cafedecolombia.com</a> . . . . .                                      | 7  |
| 1.5. Proceso de cultivo del café . . . . .                                                                                               | 8  |
| 1.6. Proceso húmedo del café (INIAP, 2014) . . . . .                                                                                     | 9  |
| 1.7. Proceso seco del café (INIAP, 2014) . . . . .                                                                                       | 10 |
| 1.8. Cultivos de trigo en la provincia de Chimborazo, Ecuador <a href="http://www.revistalideres.ec">www.revistalideres.ec</a> . . . . . | 14 |
| 1.9. Proceso de cultivo del trigo INIAP . . . . .                                                                                        | 15 |
| 1.10. Empresas Molinera Miraflores Ambato, Ecuador y Molinos San Luis Carchi, Ecuador . . . . .                                          | 16 |
| 1.11. Superficie y rendimiento nacional de trigo. Años 2007 - 2018 (INEC-ESPAC) . . . . .                                                | 17 |
| 1.12. Porcentaje de producción de café en el Austro a nivel nacional . . . . .                                                           | 19 |
| 1.13. Porcentaje de superficie cultivada de trigo en el Austro a nivel nacional . . . . .                                                | 20 |
| 2.1. Proceso de cuantificación de la cascarilla. Fuente: autor . . . . .                                                                 | 29 |
| 2.2. Proceso de trituración de la cascarilla. Fuente: autor . . . . .                                                                    | 30 |
| 2.3. Proceso de trituración de la paja de trigo. Fuente: autor . . . . .                                                                 | 34 |
| 2.4. Proceso de trituración de la paja de trigo. Fuente: autor . . . . .                                                                 | 35 |
| 2.5. Inmersión de fibras en solución. Fuente: autor . . . . .                                                                            | 36 |
| 2.6. Fibras inmunizadas. Fuente: autor . . . . .                                                                                         | 37 |
| 2.7. Clasificación de tableros. Fuente: NTC 2261:2003 y ANSI 208.1:1999 . . . . .                                                        | 38 |
| 2.8. Ingredientes para aglomerante de arroz. Fuente: autor . . . . .                                                                     | 43 |
| 2.9. Elaboración de mezclas. Fuente: autor . . . . .                                                                                     | 44 |

---

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.10. Piezas de ensayo para ensayos de laboratorio. Fuente: autor . . . . .             | 45 |
| 2.11. Preparación de muestras para ensayo de compresión. Fuente: autor . . . . .        | 45 |
| 2.12. Muestras tras ensayo de compresión. Fuente: autor . . . . .                       | 46 |
| 2.13. Preparación de muestras para ensayo de flexión. Fuente: autor . . . . .           | 47 |
| 2.14. Muestras tras ensayo de flexión. Fuente: autor . . . . .                          | 48 |
| 2.15. Porcentajes de dosificación en muestra P03. Fuente: autor . . . . .               | 49 |
| 2.16. Elaboración de muestras. Fuente: autor . . . . .                                  | 50 |
| 2.17. Elaboración de muestras para ensayos de densidad. Fuente: autor . . . . .         | 51 |
| 2.18. Ensayo contenido de humedad. Fuente: autor . . . . .                              | 52 |
| 2.19. Preparación de muestras para ensayo de flexión. Fuente: autor . . . . .           | 53 |
| 2.20. Montaje de módulo experimental. Fuente: autor . . . . .                           | 55 |
| 2.21. Nomenclatura de superficies. Fuente: autor . . . . .                              | 57 |
| 2.22. Proceso de ensayo 1. Fuente: autor . . . . .                                      | 58 |
| 2.23. Análisis de temperaturas en el módulo experimental. Fuente: autor . . . . .       | 60 |
| 2.24. Análisis de conductividad térmica. Fuente: autor . . . . .                        | 61 |
| 2.25. Análisis de aislamiento térmico. Fuente: autor . . . . .                          | 62 |
| 2.26. Dosificación muestra B2. Fuente: autor . . . . .                                  | 64 |
|                                                                                         |    |
| 3.1. Diseño de molde. Fuente: autor . . . . .                                           | 67 |
| 3.2. Elaboración de molde. Fuente: autor . . . . .                                      | 67 |
| 3.3. Proceso de elaboración de elemento constructivo. Fuente: autor . . . . .           | 69 |
| 3.4. Formas propuestas. Fuente: autor . . . . .                                         | 70 |
| 3.5. Proceso de elaboración de capa de yeso. Fuente: autor . . . . .                    | 71 |
| 3.6. Impermeabilización con sellador. Fuente: autor . . . . .                           | 72 |
| 3.7. Impermeabilización con líquido hidrófugo. Fuente: autor . . . . .                  | 73 |
| 3.8. Acabado con pintura plástica. Fuente: autor . . . . .                              | 73 |
| 3.9. Pruebas de campo. Fuente: autor . . . . .                                          | 74 |
| 3.10. Ensayo absorción de humedad. Fuente: autor . . . . .                              | 75 |
| 3.11. Detalle constructivo para recubrimiento de muro diseño 1. Fuente: autor . . . . . | 76 |

---

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.12. Detalle constructivo para recubrimiento de muro diseño 2. Fuente: autor . . . . . | 77 |
| 3.13. Secuencia constructiva revestimiento de muros. Fuente: autor . . . . .            | 78 |
| 3.14. Detalle constructivo para tabiquería liviana diseño 1. Fuente: autor . . . . .    | 79 |
| 3.15. Detalle constructivo para tabiquería liviana diseño 2. Fuente: autor . . . . .    | 80 |
| 3.16. Secuencia constructiva tabiquería liviana. Fuente: autor . . . . .                | 80 |
| 3.17. Aplicación de elemento modular en sala. Fuente: autor . . . . .                   | 81 |
| 3.18. Aplicación de elemento modular en sala. Fuente: autor . . . . .                   | 82 |
| 3.19. Aplicación de elemento modular como tabiquería. Fuente: autor . . . . .           | 82 |
| 3.20. Aplicación de elemento modular como tabiquería. Fuente: autor . . . . .           | 83 |
| 3.21. Aplicación de elemento modular como revestimiento. Fuente: autor . . . . .        | 83 |
| 3.22. Aplicación de elemento modular como revestimiento. Fuente: autor . . . . .        | 84 |
| 3.23. Proporciones de materiales. Fuente: autor . . . . .                               | 86 |
| 3.24. Comparación de tableros. Fuente: autor . . . . .                                  | 88 |

/

## Lista de Tablas

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1. Producción y rendimiento de café en los últimos años (MAGAP, 2018) . . .                                                  | 11 |
| 1.2. Características productivas de café robusta y arábigo (MAGAP, 2018) . . .                                                 | 12 |
| 1.3. Producción y rendimiento de café en el Austro (MAGAP, 2018) . . . . .                                                     | 13 |
| 1.4. Características de producción de trigo en el 2018 ESPAC (2018) . . . . .                                                  | 17 |
| 1.5. Características de producción de trigo en el Austro ESPAC (2018) . . . . .                                                | 18 |
| 2.1. Propiedades físicas de la cascarilla de café. Fuente: Elaboración propia según datos de Castillo . . . . .                | 26 |
| 2.2. Propiedades químicas de la cascarilla de café. Fuente: Salazar et al. (1984)                                              | 27 |
| 2.3. Pesos y porcentajes obtenidos de 1000g de café bola . . . . .                                                             | 28 |
| 2.4. Propiedades físicas de la paja de trigo. Fuente: Elaboración propia según datos de López-Clemente et al. (2015) . . . . . | 32 |
| 2.5. Propiedades químicas de la paja de trigo. Fuente: López-Clemente et al. (2015) y (Romero et al., 2014) . . . . .          | 32 |
| 2.6. Clasificación y valores de tableros de partículas según densidad. Fuente: Autor basado en NTC:2261 (2003). . . . .        | 39 |
| 2.7. Esfuerzos admisibles para MOE. Fuente: Autor según norma NEC-SE-MD (2014). . . . .                                        | 40 |
| 2.8. Esfuerzos admisibles para MOR. Fuente: Autor según norma NTC:2261 (2003) y ANSI-208.1 (1999). . . . .                     | 41 |
| 2.9. Dosificaciones de muestras . . . . .                                                                                      | 42 |
| 2.10. Dosificación aglomerante de almidón de arroz . . . . .                                                                   | 43 |
| 2.11. Resultados de ensayos a compresión . . . . .                                                                             | 46 |
| 2.12. Resultados de ensayos a flexión . . . . .                                                                                | 47 |
| 2.13. Dosificaciones de muestras . . . . .                                                                                     | 50 |
| 2.14. Resultados de densidad . . . . .                                                                                         | 51 |

---

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.15. Resultados de contenido de humedad . . . . .                                                 | 52 |
| 2.16. Resultados de ensayos a flexión . . . . .                                                    | 53 |
| 2.17. Resumen de datos de ensayo en análisis térmico a cada media hora . . . . .                   | 59 |
| 2.18. Análisis y cálculo de coeficiente de conductividad térmica . . . . .                         | 62 |
| 2.19. Coeficiente de conductividad térmica de materiales Fuente: NTE-INEN:2506<br>(2009) . . . . . | 63 |
| 3.1. Dosificación final . . . . .                                                                  | 66 |
| 3.2. Costos del elemento modular . . . . .                                                         | 84 |
| 3.3. Comparación de costos . . . . .                                                               | 85 |
| 3.4. Matriz de selección de criterios ambientales – Análisis de ciclo de vida . . . . .            | 87 |
| 3.5. Comparación entre tableros . . . . .                                                          | 88 |

## Introducción

Desde un punto de vista global hacia la huella ecológica, se estima en 1.8 ha. la biocapacidad del planeta por habitante, pero el consumo medio por habitante y año es de 2.7 ha, es decir, a nivel global se consume 30 % más recursos y genera más residuos de lo que el planeta pueda generar y admitir (Borsani, 2011). Edwards y Hyett (2008) señalan que la industria de la construcción absorbe el 50 % de los recursos mundiales, siendo la actividad menos sostenible del planeta. Por otro lado, las actividades agrícolas generan factores de desecho o acumulación de residuos, ocasionando un impacto ambiental significativo, que en muchos casos estos desechos son quemados generando emisiones de gases tóxicos perjudiciales para la salud (García et al., 2013).

Tomando en cuenta que el Ecuador es un país con una amplia producción agraria, resulta importante cuestionarse sobre ¿Cuántos residuos generan estas actividades? o ¿Qué uso le dan a los residuos?, basándose en responder estas interrogantes se genera la posibilidad de aprovechar estos recursos renovables dentro de la industria de la construcción que frente a la necesidad de implementar nuevas alternativas puedan contribuir a disminuir el impacto negativo ocasionados por los materiales convencionales como el hormigón, ladrillos, metales, entre otros, que dentro de sus procesos constructivos generan altos grados de contaminación y desperdicio.

La condición de esta compleja realidad desde un punto de vista de riesgo ambiental dentro del campo de la construcción, hace propicio abordarlo a fin de desarrollar alternativas tecnológicas que permita minimizar el impacto ecológico y la utilización de recursos naturales; así mismo resulta importante abordar conceptos que ayuden aclarar el enfoque en el desarrollo de la investigación. Bajo esta perspectiva investigativa, el presente estudio, tiene como partida el análisis bibliográfico que permitan tener claro bajo que conceptos se plantea el diseño de un elemento constructivo ecológico; así como determinar el uso, extracción, cuantificación y características de la paja de trigo y cascarilla de café, que conjuntamente con el desarrollo experimental en laboratorio permita elaborar un elemento constructivo modular.

## Problemática

El planteamiento del problema radica principalmente en la contaminación e impacto ambiental que ocasiona la industria de la construcción a nivel global, por otro lado, se enfoca en la escasez investigativa existente a nivel local en la innovación e implementación de métodos y técnicas constructivas menos contaminantes.

La industria de la construcción absorbe el 50 % de todos los recursos mundiales, siendo una de las mayores fuentes contaminantes desarrolladas por el hombre convirtiéndola en la actividad menos sostenible del planeta, a través de la explotación intensiva e irracional de recursos naturales no renovables, la generación de residuos y demolición, causantes de altos consumos energéticos en los procesos de industrialización, perjudiciales para la habitabilidad (Edwards y Hyett, 2008).

Desde un punto de vista global hacia la huella ecológica, se ha estimado en 1.8 hectáreas la biocapacidad del planeta por habitante, pero el consumo medio por habitante y año es de 2.7 hectáreas, es decir, a nivel global se está consumiendo un 30 % más recursos y generando más residuos de lo que el planeta pueda generar y admitir (Borsani, 2011).

La industrialización en los diversos procesos de producción en actividades agrícolas: siembra, cosecha, recolección, despulpamiento, fermentación, lavado, secado, entre otros, genera o contribuye a la quema, factores de desechos o acumulación de residuos sólidos dando como resultado un compost o desperdicio, ocasionando un impacto ambiental significativo. García et al. (2013) señalan que *“la combustión de residuos en cosechas producen emisiones de Metano ( $CH_4$ ), Monóxido de carbono ( $CO$ ), Dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), hidrocarburos ( $C_nH_{2n+2}$ ) y partículas menores a 10 micras ( $PM_{10}$ ), algunas de las cuales forman parte de los gases de efecto invernadero”* (p-28), consecuencia de ello representa efectos negativos en la salud.

### 0.1. Objetivo General

- Elaboración de tableros para recubrimiento de mamposterías interiores no estructurales mediante el uso de fibras vegetales de trigo y cascarilla de café.

### 0.2. Objetivos Específicos

1. Realizar un análisis bibliográfico e investigativo documental del uso y extracción del material a investigar.
2. Aplicación y determinación del material propuesto mediante la práctica en laboratorio para determinar el comportamiento mecánico y térmico a través de ensayos a la compresión, flexión y aislamiento térmico que cumpla con la normativa existente.
3. Elaboración de un modelo a escala de un elemento constructivo para mampostería no estructural, aplicado en el interior de la edificación.

## Justificación

Ante la necesidad de desarrollar alternativas tecnológicas que permitan minimizar el impacto ecológico y la utilización de recursos naturales; el estudio busca el aprovechamiento de elementos desechados proveniente de fuentes productivas, que contribuyan a la disminución de procesos y explotación de recursos, aprovechar productos vegetales para la generación de una alternativa constructiva que satisfaga las exigencias ecológicas e innovadoras de construcción acordes con el medio ambiente, permitiendo ser una opción ecológica aplicable en el diseño actual.

Las actividades agrícolas que se desarrollan a nivel global son amplias, como resultado de ello existen una gran cantidad de residuos sólidos o desperdicios, sin embargo, desde el campo de la construcción estos desechos pueden ser utilizados como material para el desarrollo de diversos elementos constructivos a partir del uso de residuos agroindustriales, los cuales son considerados como materiales renovables.

Ecuador produce anualmente 1.500.000 sacos de café de 60 kg, en las provincias de El Oro y Loja principalmente, estas industrias generan grandes cantidades de residuo que representa el 90.5 % en la producción, utilizando para la producción cafetera únicamente el 9.5 % del peso del fruto (García, 2016). El país produce 7.605.000 kg anualmente de trigo, generando en su proceso fibras de paja como residuo; un cultivo de este cereal tiene un rendimiento de 2.800 kg/ha de grano, con un desecho aproximado de 4500 kg/ha, en las provincias de Pichincha, Bolívar, Chimborazo y Cañar principalmente (INIAP, 2010). La aplicación de los elementos de mampostería internos debe garantizar un confort térmico adecuado dentro de la vivienda, considerando el análisis térmico y los rangos de temperatura media de la zona Austral (Cuenca) que oscilan anualmente entre 13.4° C y 15.5° C para la realización de los ensayos basados en la normativa NEC-11 (2011)

El presente estudio aborda una metodología estructurada por etapas para el progreso óptimo del trabajo, desarrollando actividades según la cronología que requieren.

### Revisión bibliográfica

Es importante aplicar un método de análisis bibliográfico en documentos físicos y virtuales, conjuntamente con entrevistas que nos permitan obtener información sobre el uso, extracción, cuantificación, características y forma de aprovechamiento de la paja de trigo y cascarilla de café. Considerar referentes de investigaciones anteriores afines a la investigación planteada nos permitirá tener un claro panorama en la toma de decisiones y hacia donde se debe enfocar el trabajo.

### Desarrollo experimental

Aplicando el método experimental nos permitirá identificar la composición y dosificación del elemento propuesto, además el uso de laboratorio permite el desarrollo de ensayos mecánicos y térmicos, bajo normas técnicas [NEC-SE-MD \(2014\)](#); [NTC:2261 \(2003\)](#) “*Tableros de partículas aglomeradas para aplicaciones de interiores no estructurales*”; [NTE-INEN:897 \(2013\)](#) “*Tableros de madera aglomerada, determinación de la densidad aparente*”; [NTE-INEN:896 \(2013\)](#) “*Tableros de madera aglomerada, determinación del contenido de humedad*”; [NEC-11 \(2011\)](#) “*Eficiencia energética en la construcción en Ecuador*”; con las cuales poder demostrar la calidad y resistencia requeridos.

### Propuesta y diseño

El diseño final del elemento constructivo se lleva a cabo basándose en los resultados obtenidos en el desarrollo experimental, donde se elaborará un panel con dimensiones de 30 x 30 cm que pueda ser adaptable a espacios interiores de la edificación.

## 1.1. Marco Teórico

Dentro de este fundamento teórico se organizan tres temas considerados de importancia para el desarrollo y la necesidad de elaborar alternativas tecnológicas que permitan minimizar el impacto ambiental y mejorar el aprovechamiento de recursos naturales renovables. Este estudio busca fructificar los residuos provenientes de fuentes industriales agrícolas, utilizando productos vegetales para generar una alternativa de construcción innovadora que cumpla con las exigencias ecológicas con el medio ambiente.

El primer fundamento se basa en analizar conceptos de *construcción sostenible* a partir de una revisión bibliográfica, que permitan comprender como el construir de forma insostenible y el uso de recursos no renovables ha perjudicado al medio ambiente, afectando la habitabilidad del hombre; bajo estos conceptos se cuestiona cuales son los principios que se deben cumplir para adoptar el nombre de construcción sostenible. La huella ecológica en el planeta representa el área que se necesita para producir los recursos que el ser humano ocupa; en la última década se establece que el 70 % de 7000 millones de personas viven en zonas urbanas debido al desarrollo económico y social, convirtiendo a las ciudades en un ambiente generador de residuos y calor disipado; afectando la disponibilidad de recursos naturales, por consiguiente la generación de problemas ambientales como la degradación de la calidad y cantidad de recursos naturales, la pérdida de biodiversidad, contaminación atmosférica, deforestación, entre otros (Iturbe y Guerrero, 2014).

“La huella ecológica de una población es una herramienta de contabilidad que permite estimar el área biológica productiva requerida para producir los recursos utilizados y absorber los residuos generados” (Wackernagel y Rees, 1998)(p.20). Badii (2008) señala que debido a que la población utiliza los recursos de todo el planeta, la huella ecológica debe calcular el tamaño combinado de áreas donde quiere que estén ubicados estos recursos. Según la demanda del ser humano que exceda la producción ecológica se genera un déficit ecológico global, actualmente existen solamente 2.1 ha de área productiva para cada persona en el planeta; siendo el promedio mundial per cápita de 2.9 ha, es decir, la humanidad ha excedido la capacidad ecológica de la biosfera por más de 38 % (Badii, 2008).

En un segundo punto se hace una descripción de los *residuos agroindustriales*, el potencial y la posibilidad de ser utilizados en el campo de la construcción, determina como los

residuos generados en las actividades agrícolas son viables para su reutilización a mediano y largo plazo.

Tercero se busca describir las  *fibras naturales*  su uso y aplicación dentro de la construcción, determinar casos similares en el que se hayan utilizado materia prima renovable para la fabricación de tableros. Conceptualizar las fibras a utilizar, determinando su uso y aporte en el campo de la construcción, y cuantificar la cantidad de materia prima que se pueda obtener a mediano y largo plazo.

## 1.2. Construcción Sostenible

Bedoya (2011) define la construcción sostenible como aquella que mantiene un respeto y compromiso al medio ambiente, implica el empleo sustentable de energía, y la aplicación de materias primas renovables, permitiendo dar respuesta al impacto ambiental minimizando el consumo energético. Para Minke y Mahlke (2006) existen alternativas constructivas mediante el uso de fibras naturales en la construcción ha dado soluciones en sus procesos de fabricación, es así que en la producción de fardos de paja se necesita menor energía comparado con otros elementos como tableros convencionales o lana mineral, requiriendo aproximadamente 14 MJ/m<sup>3</sup> de energía, en tanto que la producción de lana mineral requiere 1077 MJ/m<sup>3</sup>; resultando ser 77 veces más energía.

La construcción sostenible busca implementar flujos no lineales de energía y materiales, una política de valoración ambiental de recursos que este por encima de los costos económicos, esto implica construir reflexiva e integralmente, desde el diseño hasta la vida útil de la edificación (Bedoya, 2011).

Por otro lado, la sostenibilidad engloba no solo la construcción, sino la actividad humana, esto implica crear espacios que sean saludables, viables económicamente y sensibles a las necesidades sociales. Edwards y Hyett (2008) sostiene que la construcción sostenible es la base del diseño que influye en el desarrollo, solo mediante el uso de tecnologías más inteligentes, mayor respeto por los recursos naturales y el paso de la explotación de recursos no renovables a las prácticas renovables podrá dar una solución a esta presión; los edificios pueden generar su propia energía, captar y reciclar su propia agua, utilizar materiales producidos a partir de residuos o mantener el equilibrio entre el CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) transformándolo de nuevo en oxígeno mediante árboles.

Según el *Rocky Mountain Institute* un famoso grupo de expertos en el medio ambiente, el estudio de arquitectura *Norman Foster and Partners*, y la *Building Services Research and Information Association, BSRIA*, (citado por Edwards y Hyett (2008)) coinciden en que la arquitectura sostenible se debe basar en la creación y gestión de edificios que sean eficientes en el consumo energético, saludables, flexibles y con una larga vida útil; cumpliendo los principios ecológicos y el uso eficiente de recursos donde la sociedad podría cuadruplicar su productividad sin la necesidad de consumir más recursos, considerando el uso de tecnología más eficientes y mayor uso del reciclaje.

Se conoce que históricamente el hombre a través de la construcción ha creado una

de las mayores fuentes de contaminación consumiendo materias primas que son de recuperación muy lenta o no renovables, generando un modelo de desarrollo insostenible. Para una construcción sostenible se debe tomar en cuenta dos aspectos fundamentales: aprovechamiento adecuado de materias primas y la disminución del consumo energético.

### 1.3. Residuos Agroindustriales

Los residuos agroindustriales constituyen la masa biológica originada de procesos en cultivos e industrias agrícolas, que no tienen un fin específico y son abandonados en el campo para su descomposición. Según Simbaña (2010), estos residuos están compuestos por materiales lignocelulósicos que son insumos ventajosos que permiten su utilización para el desarrollo de materiales innovadores para la construcción.

La agroindustria es una actividad que combina el proceso productivo agrícola con el industrial para generar alimentos o materias primas semielaboradas, la producción en toneladas de materia orgánica derivados de estos procesos en el planeta representa entre 155 billones/año aproximadamente, sin embargo, solo una pequeña fracción es consumida por el hombre y/o animales, la mayor parte de esta materia orgánica es transformada en residuos que constituyen una fuente de contaminación ambiental; en algunos casos estos recursos son tratados reduciendo el impacto negativo, convirtiéndolos en un producto útil que solucione una problemática (Cury et al., 2017).

Valdez-Vásquez (citado por Saval (2012)) certifica mediante datos oficiales de 2006 que en México se produjeron 75.73 millones de toneladas de materia seca proveniente de 20 cultivos, de los cuales 60.13 millones de toneladas corresponden a residuos primarios, obtenidos en la cosecha, entre ellos: hoja y tallos de maíz, tallos y vaina de trigo, paja de cebada y de fréjol, así como cascara de algodón; el resto 15.60 millones de toneladas corresponden a residuos secundarios post-cosecha, entre ellos: caña de azúcar, mazorcas, maguey o agave, y pulpa de café (p.16).

Para Serna-Saldivar (citado por Juárez et al. (2014)) los cereales constituyen el eje de la agricultura y fuente mas productiva de alimentos a nivel global, tales como el trigo, arroz y maíz, siendo el primero el mas abundante y productivo. Según datos del MAGAP (2017) en Latinoamérica la producción de café es una de las mas importantes, siendo Brasil (32 %) el principal productor en el mundo. Valencia (2000) conjuntamente con Cury et al. (2017) señalan que dentro de la industria cafetera en Latinoamérica se usa el 9.5 % del peso del fruto seco para la producción de granos de café, y el 90.5 % sobrante es su residuo el cual genera un compost o es usado para abono agrícola, es decir, en las plantaciones de café se produce mas desperdicio de lo que realmente es necesario para el consumo. Sin embargo, según la publicación de Bressani (1978) de 100g de fruto seco, se obtiene 29 % de pulpa de café, 12 % de cascarilla de café, 55 % granos de café y cerca del 4 % de mucílago.

Dentro de los procesos que se realiza en una plantación en relación a desperdicios se genera dos tipos de residuo, en primer instancia la cascara exterior y pulpa de café que

representa la primera envoltura del grano que generalmente es usado como abono o es desalojado en ríos, y una segunda envoltura llamada pergamino que envuelve al grano; por cada kilo de café cosechado el 39.4% representa la pulpa, el 21.6% mucílago, el 10.4% cascarilla, y el 19.10% son residuos de agua existiendo un gran porcentaje de materia prima que no es aprovechada (García, 2016).



FIGURA 1.1: Residuo agroindustrial de la producción de café [www.infobosques.com](http://www.infobosques.com)

El Banco Mundial (citado por Altuna y Lucas (2015)) sostiene que en el mundo se cultivan 697.68 millones de hectáreas de cereales, la mayoría arroz y trigo, cada tonelada de cereal produce 1.5t de paja, por su contenido de silicato no puede ser usada para alimentación animal, siendo destruida, provocando desastres ambientales (p.830).



FIGURA 1.2: Residuo agroindustrial del cultivo de trigo [www.energynews.es](http://www.energynews.es)

El trigo es considerado el principal cereal producido en el mundo, siendo cultivado y cosechado ampliamente en 108 países de los 5 continentes, abarca áreas de cultivo tan al norte de Finlandia como al sur de Argentina (Maningat et al., 2009). Según información del MAGAP (2017) la producción mundial de trigo llegó a 758 millones de toneladas, siendo China (17%) el país con mayor producción. García et al. (2013) afirma que en los cultivos de trigo se producen grandes cantidades de fibra de paja que no es utilizada; para deshacerse de esta los agricultores queman los residuos generando un alto grado de contaminación en el ambiente. Se ha comprobado que se pueden hacer paneles con residuos vegetales, entre los que destaca la cáscara de arroz, paja de trigo y cáscara de maní.

## 1.4. Fibras Naturales

Simbaña (2010) describen a las fibras naturales como estructuras complejas, filamentosas de origen vegetal, animal y mineral; por sus características físicas, químicas y mecánicas, utilizadas en la fabricación de tejidos, cuerdas e hilos de diversas formas, y en la construcción se han usado para la fabricación de tejas, bloques, tableros, entre otros. Su aprovechamiento ha sido muy remoto, desde épocas antiguas en la humanidad. Para Cadena y Silvera (2011) las fibras presentan ventajas productivas como: disponibilidad, bajos costos de adquisición y facilidad de procesamiento, entre las ventajas físicas: baja densidad, características de aislamiento y resistencia estructural; bioquímicas: inocuidad, biodegradabilidad, entre otras; propiciando el material como una alternativa impulsada por el uso racional de los recursos naturales y la conservación ambiental.

Las fibras naturales o vegetales han sido utilizadas en la antigüedad representando una base en sistemas constructivos tradicionales como el adobe, bahareque y tapial ayudando a la conformación y estructura de los elementos con tierra para evitar el fisuramiento; presentan además una capacidad para estabilizar y aumentar las características termoacústicas en los materiales usados como aislantes para mampostería (Peña, 2016).

Mediante estudios realizados con fibras naturales es posible obtener valores competitivos de conductividad térmica en la fabricación de paneles para aislamiento, a través de subproductos agrícolas como fibra de banano, fique y yuca (Cadena y Silvera, 2011).

Altuna y Lucas (2015) señalan que la paja de trigo, centeno o arroz se ha venido utilizando en la construcción mediante balas o fardos de paja con una densidad mayor de  $80 \text{ kg/cm}^3$  y una humedad relativa menor del 18%; estas fibras muestran una estructura química y propiedades físicas muy similares a la madera, permitiendo crear elementos de mampostería y recubiertos de mortero.



FIGURA 1.3: Paneles modulares prefabricados con paja [www.modcell.com](http://www.modcell.com)

Un factor determinante en la eficiencia energética de un edificio es su diseño y calidad en la fachada o envoltente, siendo el aislamiento térmico un componente que tiene gran impacto; los aislamientos térmicos contruidos a base de fibras naturales se están convirtiendo en una alternativa eficiente, sin embargo, para la selección de un aislamiento natural se deben considerar varios factores como la disponibilidad, costo, aplicación, impacto ecológico y energético (Mercier et al., 2011).

### 1.4.1. Tableros ecológicos en la construcción

Para Borsani (2011) no existe un material ecológico por excelencia sino materiales no renovables, implicando un problema en el medio ambiente que nacen de procesos de industrialización contaminantes, y materiales renovables alternativos que provienen de productos naturales reduciendo el uso de recursos, presentan un bajo impacto ecológico y no representan un riesgo a la salud y al medio ambiente.

En la actualidad la academia a incentivado la investigación de nuevas técnicas de construcción, para contrarrestar los efectos negativos ocasionados por la industria y la globalización progresiva en la fabricación de materiales convencionales como el concreto, acero, vidrio, entre otros. Se han realizado estudios donde el aprovechamiento y reciclaje de los recursos renovables puede disminuir el impacto ambiental y el consumo energético.

En México se desarrollaron tableros compuestos a base de fibras y matriz polimérica, posee propiedades mecánicas de dureza, flexión, absorción de humedad y densidad comparables a las maderas de pino, que según los estudios la establecen como un material óptimo en la industria de la construcción y una alternativa menos contaminante (García et al., 2013). Penadés (2017) en su investigación doctoral dentro de la Universidad Politécnica de Valencia desarrollo nuevos materiales ecológicos basados en matrices poliméricas de origen renovable y refuerzos de alga posidonia oceánica, los resultados obtenidos en sus propiedades mecánicas y térmicas abren oportunidades a productos que puedan generar una solución alternativa en la gestión de residuos.

### 1.4.2. El café

Según FNC (2010) el café son frutos provenientes de plantas perennes tropicales conocidas como cafetos, pertenece a la familia de las rubiáceas existiendo cerca de 500 géneros y más de 600 especies, la mayoría originarias de África y Madagascar. Se cree que esta planta se introdujo en Latinoamérica por holandeses en 1714, sin embargo, las primeras especies de café llegaron al Caribe a inicios de siglo XVIII por los franceses, de allí paso a Brasil, Colombia y el resto del continente, adaptándose al clima tropical de Sudamérica y siendo hoy en día grandes productores de café a nivel global.

En Sudamérica la *Coffea arabica L.* en la actualidad constituye la principal especie comercializada en el mercado mundial. Es un tipo tetraploide que se auto-fertiliza, proveniente de dos clases diploides *Coffea eugenoides* y *Coffea canephora*. Es un cultivo considerado de altura que requiere temperaturas de 18 a 23° C, una altitud entre los 1200 y 1800 m.s.n.m., y suelos franco arcillosos, arenosos o limosos para crecer; tiene un periodo de desarrollo entre 18 y 20 meses. Después de este periodo se puede empezar a cosechar los frutos, pero hasta el tercer año es donde la planta alcanza su punto máximo de productividad (FNC, 2010).



FIGURA 1.4: Planta de cafetos [www.cafedecolombia.com](http://www.cafedecolombia.com)

La planta de café puede llegar a medir hasta 20 m y vivir hasta 200 años, sin embargo, debido a los ciclos de producción y funciones biológicas, metabólicas y facilidades de recolección, las plantas no llegan a sobrepasar los 3 m de altura. Las hojas tienen forma oval de 15 cm aproximadamente y un color verde oscuro; las flores son de color blanco y se producen en grupos, dando paso a los frutos del café llamados cerezas que tienen una forma ovalada y crecen en forma de racimos, de donde luego de sus procesos de cosecha, se genera el residuo de la cascarilla de café (Coffea, 2019).

## Ciclo de cultivo

El proceso para cultivar el café empieza con la selección de la semillas de buena calidad y construcción de semillero para siembra del cafeto, pueden ser en bandejas o bolsas plásticas; el siguiente paso es preparar el terreno con los pases de rastras para que el suelo tenga las capacidades de retención de humedad necesarias. Finalizada la germinación de las plantas en los semilleros se realiza el trasplante al terreno, colocando las plantas a cada metro de distancia.

El manejo de sombra y barreras rompe vientos se realiza con especies leguminosas con el fin de regular la intensidad de luz y amplitud térmica diaria, manteniéndola alta en la noche y baja en el día. Las necesidades de humedad en las plantas son altas sobre todo desde etapas de floración hasta maduración de los frutos. Es importante la planificación del cultivo en relación a épocas de lluvia, no obstante, también se aplica otros métodos de riego: inundación, aspersión y por goteo; conjuntamente se realiza el proceso de fertilización para lograr un crecimiento y desarrollo óptimo ([Agrotendencia, 2019](#)).

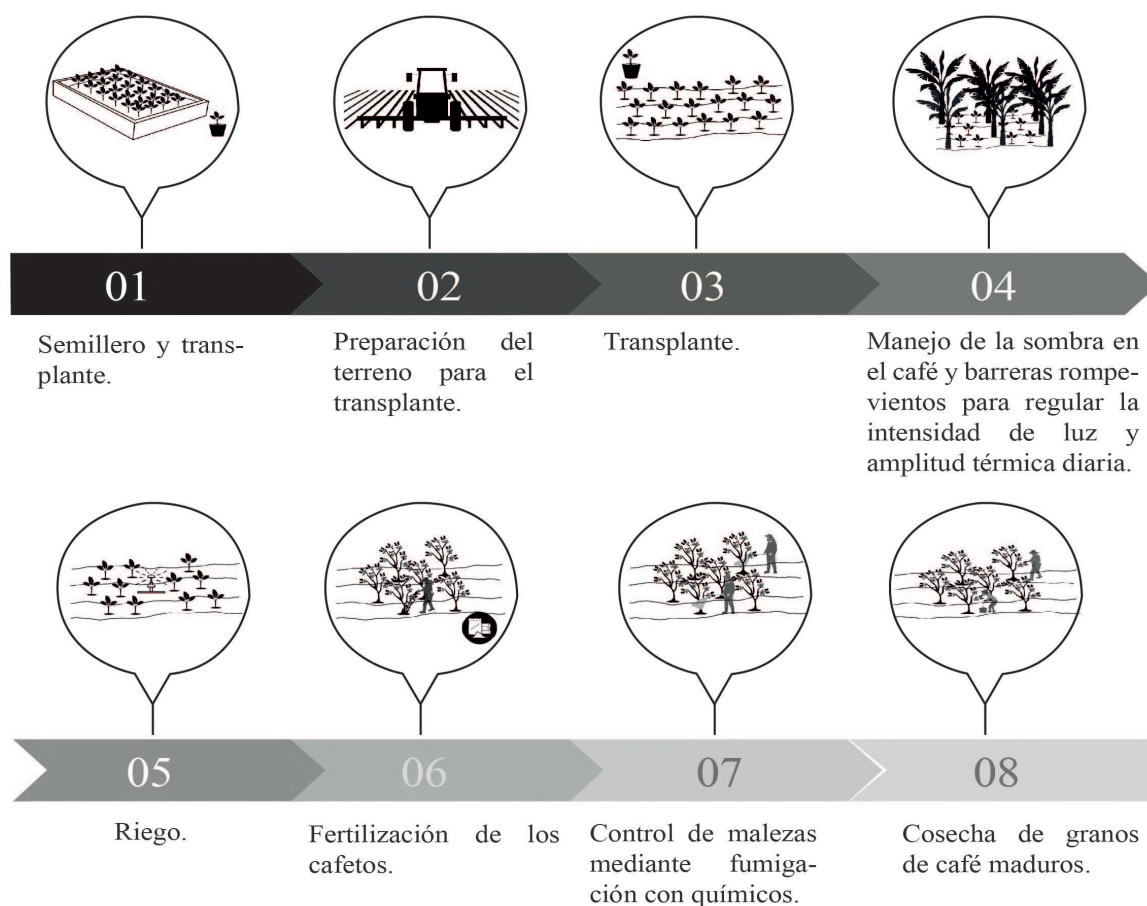


FIGURA 1.5: Proceso de cultivo del café

El control de malezas se aplica mediante fumigación con químicos sobre los cultivos de café, debido a que pueden causar disminuciones en los rendimientos de la planta e incluso

la pérdida de esta. El último proceso es la cosecha de los granos maduros y se aplica de dos formas: procesamiento húmedo y procesamiento seco (Agrotendencia, 2019).

### Ciclo de procesamiento húmedo del grano de café

Este proceso tiene como objeto transformar el grano de café cereza maduro al café pergamino húmedo, siguiendo una serie de procesos que involucra el boyado, despulpado, fermentación, lavado, secado y trillado.

INIAP (2014) describe el procesamiento húmedo donde el boyado separa las cerezas maduras de hojas, frutos vanos, frutos secos, ramas o cualquier materia inservible; dentro del proceso se utiliza un recipiente con agua limpia donde se introducen la cereza, agitando y utilizando un tamiz se retira lo que no sirve. El despulpado desprende la cascara de la cereza y la pulpa que la rodea, utilizando una maquina llamada despulpadora, las cerezas despulpadas se colocan en recipientes plásticos o de cemento limpios para el siguiente proceso de fermentación que dura entre 20 y 27 horas. Concluida la fermentación el café pasa a un proceso de lavado para eliminar el mucílago fermentado, y luego una fase de secado reduciendo la humedad entre el 10 y 13%, este proceso de secado a luz natural requiere de 40 a 50 horas. Finalizado el tiempo de secado el grano se trilla eliminando el pergamino seco y la película plateada que lo recubren, a este grano se lo conoce como café lavado.



FIGURA 1.6: Proceso húmedo del café (INIAP, 2014)

### Ciclo de procesamiento seco del grano de café

Este proceso consiste en exponer los cerezos de café al sol siguiendo una serie de procesos luego de la cosecha que involucra el boyado, secado, pilado y separación de la cascarilla de los granos. El boyado realiza los mismos pasos del proceso húmedo, el secado tiene por objetivo la deshidratación del grano, hasta llegar a un promedio de 10

a 13% de humedad, se exponen los granos de café al sol durante dos o tres semanas obteniendo como resultado el denominado "café bola", que luego se somete a un proceso de pilado, desprendiendo la cobertura o cascarilla para luego separar los granos del residuo manualmente (INIAP, 2014).

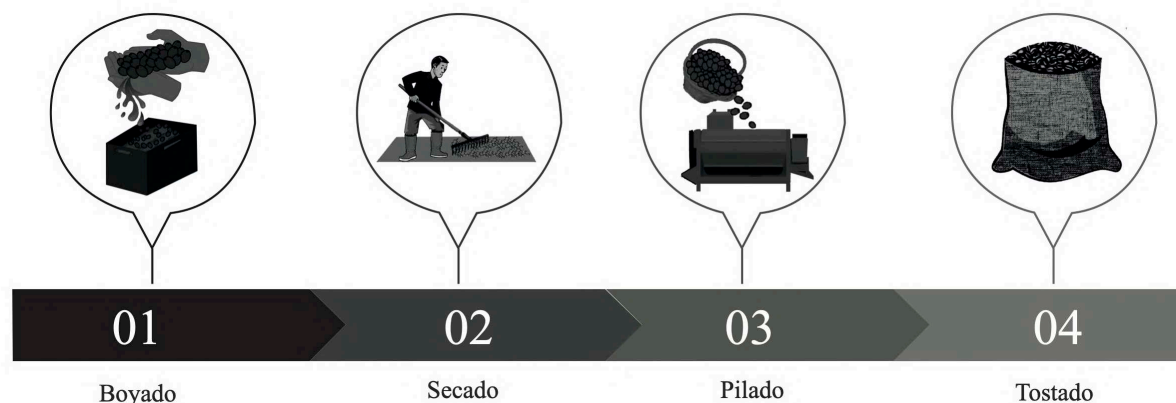


FIGURA 1.7: Proceso seco del café (INIAP, 2014)

### 1.4.3. El café en el Ecuador

Según el MAGAP (2018) el café en el Ecuador constituye un cultivo agroindustrial que representa el 1% en el valor agregado bruto agropecuario, generando empleo a 46.533 trabajadores dentro del país. En el año 2017 se exportó 5.130 toneladas de café sin tostar y tostado, con una superficie plantada de 52.714 ha. según datos del INEC. En el territorio nacional se trabaja con dos especies de café, el arábigo y robusta.

Se calcula que en los últimos tres años se ha producido en el país un promedio de 25.617 toneladas de café arábigo y robusta, y una superficie cosechadas con un promedio de 77.629 ha; realizando una rápida conclusión se puede observar la cantidad de materia prima que se puede obtener a nivel nacional.

#### Producción de café

Según información estadística año 2012 del MAGAP (2018) en el Ecuador, el cultivo de café ocupó 113.019 hectáreas de superficie plantada, de las cuales 78.710 hectáreas fueron cosechadas, con una producción de 7.340 toneladas y un rendimiento del 0.09 t/ha.

Como lo muestra la tabla 1.1 a partir del año 2012, hasta el último informe emitido por el MAGAP en el 2018, la producción de café a tenido variaciones en su rendimiento, siendo los tres últimos años los mas productivos a nivel nacional.

Tabla 1.1: PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE CAFÉ EN LOS ÚLTIMOS AÑOS (MAGAP, 2018)

| Año de producción | Superficie cosechada (ha) | Producción (t) | Rendimiento (t/ha) |
|-------------------|---------------------------|----------------|--------------------|
| 2012              | 78710                     | 7340           | 0.09               |
| 2013              | 61627                     | 7759           | 0.13               |
| 2014              | 35390                     | 4213           | 0.12               |
| 2015              | 43920                     | 5293           | 0.12               |
| 2016              | 85012                     | 23623          | 0.28               |
| 2017              | 86621                     | 24686          | 0.28               |
| 2018              | 61254                     | 28542          | 0.47               |

Para el año 2018 se identificó la producción de café robusta con un rendimiento de 0.53 t/ha, siendo 11 provincias que cultivan esta especie: Orellana, Sucumbíos, Cañar, Los Ríos, Santa Elena, Santo Domingo de los Tsáchilas, Guayas y Pichincha; sin embargo, las provincias con mayor rendimiento fueron Santo Domingo de los Tsáchilas (1.30 t/ha) y Guayas (1.04 t/ha). Por otro lado, en la producción de café arábigo se identificó un rendimiento de 0.44 t/ha, existiendo 16 provincias que cultivan este café: Manabí, Loja, Zamora Chinchipe, El Oro, Pastaza, Morona Santiago, Chimborazo, Azuay, Galápagos, Pichincha, Imbabura y Carchi; siendo Zamora Chinchipe (0.82 t/ha) y Santo Domingo de los Tsáchilas (0.66 t/ha) las provincias con mayor rendimiento (MAGAP, 2018).

Tabla 1.2: CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS DE CAFÉ ROBUSTA Y ARÁBIGO (MAGAP, 2018)

| Regiones y Provincias          | Cultivos Principales |                  |                    |                  |
|--------------------------------|----------------------|------------------|--------------------|------------------|
|                                | Café Robusta         |                  | Café Arábigo       |                  |
|                                | Rendimiento (t/ha)   | Densidad (pl/ha) | Rendimiento (t/ha) | Densidad (pl/ha) |
| <b>Región Sierra</b>           |                      |                  |                    |                  |
| Azuay                          |                      |                  | 0.52               | 3866             |
| Bolívar                        | 0.27                 | 1190             | 0.28               | 2440             |
| Cañar                          | 0.55                 | 1600             |                    |                  |
| Carchi                         |                      |                  | 0.53               | 4244             |
| Chimborazo                     |                      |                  | 0.44               | 3417             |
| Cotopaxi                       | 0.01                 | 918              | 0.01               | 2125             |
| Imbabura                       |                      |                  | 0.22               | 1957             |
| Loja                           |                      |                  | 0.44               | 4077             |
| Pichincha                      | 0.19                 | 747              | 0.58               | 3827             |
| Santo Domingo de los Tsáchilas | 1.3                  | 1972             | 0.66               | 3419             |
| <b>Región Costa</b>            |                      |                  |                    |                  |
| El Oro                         |                      |                  | 0.61               | 3348             |
| Guayas                         | 0.67                 | 1940             |                    |                  |
| Los Ríos                       | 0.95                 | 4160             |                    |                  |
| Manabí                         |                      |                  | 0.46               | 3367             |
| Santa Elena                    | 0.42                 | 2244             |                    |                  |
| <b>Región Oriente</b>          |                      |                  |                    |                  |
| Morona Santiago                |                      |                  | 0.27               | 2890             |
| Napo                           | 0.25                 | 682              | 0.17               | 1973             |
| Orellana                       | 0.35                 | 1020             |                    |                  |
| Paztaza                        |                      |                  | 0.10               | 2627             |
| Sucumbíos                      | 0.46                 | 1135             |                    |                  |
| Zamora Chinchipe               |                      |                  | 0.82               | 2548             |
| <b>Región Insular</b>          |                      |                  |                    |                  |
| Galápagos                      |                      |                  | 0.57               | 1579             |
| <b>Nacional</b>                | <b>0.47</b>          | <b>1297</b>      | <b>0.44</b>        | <b>3215</b>      |

### Producción en el Austro

Dentro de la zona austral ecuatoriana, según la tabla 1.3 el cultivo y producción de café se distribuye en Azuay, Cañar y Loja con un total de 10.793 hectáreas de superficie de cultivo; Loja representa la zona con mayor área sembrada (10054 ha), no obstante, Cañar refleja cifras de mayor producción con 0.55 t/ha (MAGAP, 2018). La zona austral refleja un promedio de producción de café de 0.50 t/ha.

Tabla 1.3: PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE CAFÉ EN EL AUSTRO (MAGAP, 2018)

| Provincia    | Superficie de cultivo (ha) | Producción (t) | Rendimiento (t/ha) |
|--------------|----------------------------|----------------|--------------------|
| Azuay        | 410                        | 213.2          | 0.52               |
| Cañar        | 329                        | 180.95         | 0.55               |
| Loja         | 10054                      | 4424.01        | 0.44               |
| <b>Total</b> | <b>10793</b>               | <b>4818.16</b> | <b>0.50</b>        |

La producción de café en el Azuay es una actividad que se ha fomentado en los últimos años a través del MAGAP, es así que actualmente existen 410 hectáreas de área cultivada distribuidas en localidades de Asunción, Chaucha, Molleturo, Nabón, Paute, Pucará, Santa Isabel y Oña (Merchán, 2017).

#### 1.4.4. El trigo

El trigo (*Triticum aestivum* L.) junto con el arroz, el maíz y la cebada constituyen los cereales de mayor importancia a nivel mundial, su origen aparece en la antigua Mesopotamia, proveniente de Siria, Iraq, Turquía y Jordania; fue introducida en América por los colonizadores españoles. Es el cereal más consumido por el hombre y cultivado en 115 países, destacando los principales productores naciones como China, Estados Unidos e India (Juárez et al., 2014). La producción de trigo a nivel mundial engloba a los cinco continentes en 108 países siendo el cereal líder en productividad, consumo y comercialización; existen datos de un período de años de 2004 a 2007 donde el promedio de la producción estuvo en 611.37 millones de toneladas (Maningat et al., 2009).

Es un cultivo que a nivel nacional supera las 450 000 Tm/año, requiere ser cultivada en una altitud de 2000 a 3200 m.s.n.m. con una temperatura óptima entre 10 y 25 °C, humedad alta durante el espigado y baja durante la maduración para facilitar el secado del grano; y cultivado en suelos adecuados como franco arcillosos y franco arenosos (Juárez et al., 2014).



FIGURA 1.8: Cultivos de trigo en la provincia de Chimborazo, Ecuador [www.revistalideres.ec](http://www.revistalideres.ec)

Márquez (2014) describe que la planta de trigo puede llegar a medir 150 cm de altura, morfológicamente se compone de dos sistemas, uno radical compuesto por raíces primarias y secundarias con forma de cabellera que puede medir hasta 25 cm; y un sistema aéreo que consta de tres partes: el tallo, las hojas largas y estrechas constan de dos partes: vaina y limbo; la espiga se encuentra en el extremo del tallo envuelta por la última hoja.

### Ciclo de cultivo

Garófalo et al. (2011) describen una serie de procesos o fases para la producción de trigo, donde se debe seleccionar y preparar el terreno con una anticipación no menor a dos meses antes de la siembra para garantizar una adecuada descomposición de malezas, residuos y/o abono orgánico, esta primera fase consiste en un pase de arado y dos pases de rastra. La segunda fase es la siembra que debe realizarse al inicio de la época lluviosa en la zona, para que la cosecha coincida con una época seca, generalmente los meses de siembra en el norte y sur de Ecuador son entre febrero y marzo, mientras que en el centro son los meses de noviembre y enero. El riego se realiza por aspersión, en la fertilización y control de malezas se usan una serie de químicos (glifosato, metsulfurón-metil, sulpomag

y úrea) compuestos de nitrógeno, fósforo, potasio y azufre; finalmente la cosecha y trilla se realiza cuando la planta alcanza su madurez de campo entre 170 a 180 días.

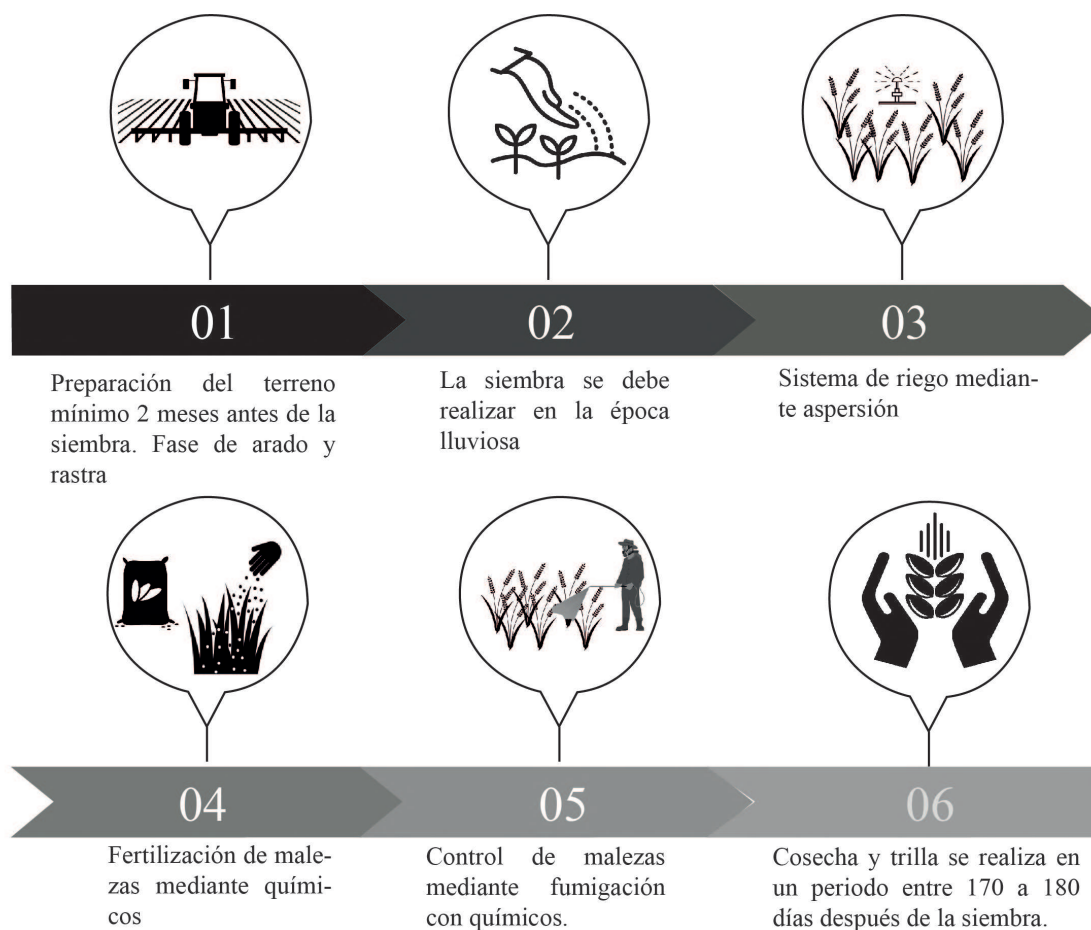


FIGURA 1.9: Proceso de cultivo del trigo INIAP

### 1.4.5. El trigo en el Ecuador

Burgos y Aguayo (2017) mencionan que el trigo junto con el arroz, maíz y cebada son cereales que constituyen un cultivo agroindustrial muy importante en el Ecuador debido a que el consumo nacional de trigo llega a pasar los 450.000 Tm/año, llegando a un consumo per cápita superior a 30 kg/año; sin embargo, enfrenta la situación adversa ya que importa el 98% de los requerimientos internos del trigo y únicamente el 2% restante (9000 Tm) es producción nacional.

Para Pullas (2017) dentro de la agroindustria del trigo intervienen dos sectores; en primera instancia esta el sector agrícola con la superficie sembrada, rendimiento por hectárea y eficiencia que representa la producción nacional del cereal; y por otro lado, la zona industrial donde participan los molineros para la elaboración de la harina de trigo. Los sembríos de trigo en el país se asientan principalmente en la cordillera de los Andes en

zonas ubicadas a 2000 y 3000 m.s.n.m.

Las empresas mas grandes a nivel nacional en la industrialización del trigo son: Molinera Miraflores que produce 60 toneladas diarias y Molinos San Luis que produce 8000 toneladas (Burgos y Aguayo, 2017).



FIGURA 1.10: Empresas Molinera Miraflores Ambato, Ecuador y Molinos San Luis Carchi, Ecuador

### Producción de trigo

La producción de trigo en el Ecuador desde el año 1960 hasta el 2006 presentó una gran disminución en el área destinada a producir este cereal de 100.000 ha a 10.000 ha, sin embargo a partir del año 2010 existió un incremento a 15.000 ha de superficie sembrada; la producción de trigo en el país se encuentra distribuida en la zona andina entre 2000 y 3000 m.s.n.m. principalmente entre las provincias de Pichincha, Chimborazo, Cañar y Loja (Garófalo et al., 2011).

De acuerdo a datos expuestos en la tabla 1.4 por la ESPAC (Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua), para el 2018, se sembraron 3470 hectáreas de trigo, pero solo se cosecharon 3277 hectáreas, siendo las provincias de Carchi e Imbabura las que registran mayor área (INEC, 2018). Como lo muestra la figura 1.11, cabe destacar que durante el periodo de años 2007-2018, este ultimo año reporto el rendimiento mas alto con 1.71 t/ha, mientras que el 2013 registra la cifra mas baja de 0.71 t/ha (INIAP, 2017). Cabe destacar que este cereal se cultiva únicamente en la zona andina por su altitud y temperatura, descartando zonas de siembra en las regiones costa, oriente e insular.

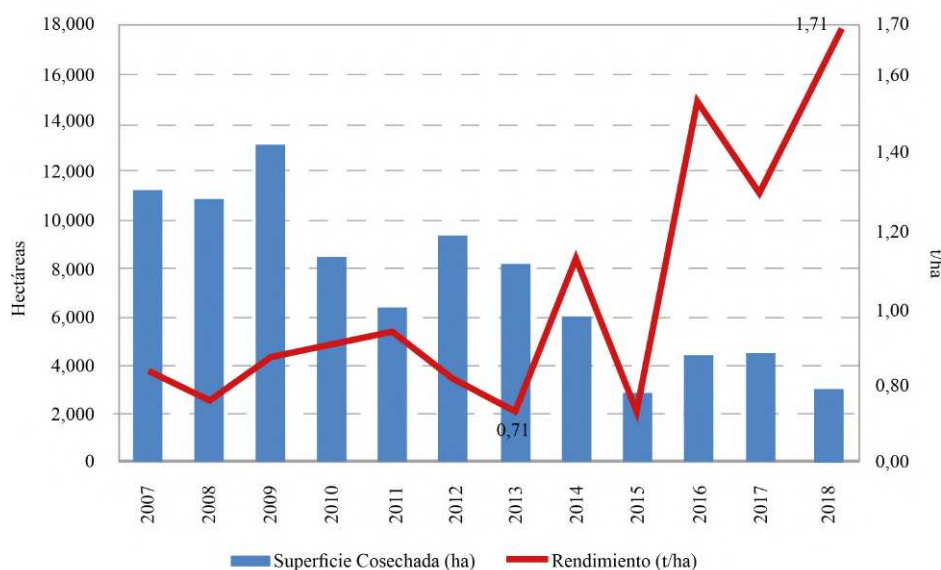


FIGURA 1.11: Superficie y rendimiento nacional de trigo. Años 2007 - 2018 (INEC-ESPAC)

Tabla 1.4: CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN DE TRIGO EN EL 2018 ESPAC (2018)

| Regiones y Provincias          | Superficie (ha) |             | Productividad   |                     |
|--------------------------------|-----------------|-------------|-----------------|---------------------|
|                                | Plantada        | Cosechada   | Producción (Tm) | Rendimiento (Tm/ha) |
| <b>Región Sierra</b>           | 3470            | 3277        | 5499            | 1.71                |
| Azuay                          | 122             | 122         | 72              | 0.59                |
| Bolívar                        | 581             | 554         | 483             | 0.87                |
| Cañar                          | 53              | 53          | 74              | 1.39                |
| Carchi                         | 740             | 739         | 1868            | 2.53                |
| Chimborazo                     | 357             | 304         | 202             | 0.66                |
| Cotopaxi                       | 49              | 49          | 56              | 1.14                |
| Imbabura                       | 882             | 848         | 1478            | 1.74                |
| Loja                           | 81              | 75          | 27              | 0.36                |
| Pichincha                      | 573             | 533         | 1239            | 2.32                |
| Santo Domingo de los Tsáchilas | -               | -           | -               | -                   |
| <b>Nacional</b>                | <b>3470</b>     | <b>3277</b> | <b>5499</b>     | <b>1.71</b>         |

El área sembrada del cultivo de trigo en el Ecuador ha disminuido en la última década y han existido variaciones en el rendimiento productivo como lo muestra la figura 1.11, sin embargo, la cantidad de residuo que se genera de este cereal es extenso, debido a que se cosecha únicamente la parte de la espiga donde están los granos de trigo, quedando

tallos y hojas como desecho, resultando ser aptos para su aprovechamiento y reciclaje.

### Producción en el Austro

Según datos del [ESPAC \(2018\)](#) dentro de la zona austral ecuatoriana el cultivo y producción de trigo se distribuye en la provincia de Loja, Cañar y Azuay con una superficie de cultivo de 250 ha, siendo Azuay la que posee mayor área sembrada (122 ha) y Cañar siendo la zona con mejor producción (74t) y rendimiento (1.4 t/ha). Ver tabla [1.5](#).

Tabla 1.5: CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN DE TRIGO EN EL AUSTRO [ESPAC \(2018\)](#)

| Provincia    | Superficie de cultivo (ha) | Producción (t) | Rendimiento (t/ha) |
|--------------|----------------------------|----------------|--------------------|
| Azuay        | 122                        | 72             | 0.59               |
| Cañar        | 53                         | 74             | 1.40               |
| Loja         | 75                         | 27             | 0.36               |
| <b>Total</b> | <b>250</b>                 | <b>173</b>     | <b>0.69</b>        |

## 1.5. Análisis y conclusiones

Luego de haber expuesto las principales ideas de construcción sostenible, residuos agroindustriales y fibras naturales; siendo estos conceptos epistemológicos la base para la sustentación de este trabajo de titulación, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

La construcción sostenible se fundamenta principalmente en el respeto al medio ambiente, el uso sostenible de recursos como materiales renovables que permitan minimizar el consumo energético; sus objetivos principales son implementar flujos no lineales de energía y materiales, lo cual implica una forma de construcción reflexiva e integral, adoptando espacios saludables, viables económicamente y sensibles a necesidades sociales. Solo mediante el uso de tecnologías más inteligentes, mayor respeto a los recursos naturales y el cambio de la explotación de recursos no renovables a recursos renovables a través del aprovechamiento de residuos se podrá hacer frente al problema ambiental en la actualidad.

Los residuos agroindustriales conforman la materia biológica que se origina dentro de las actividades agrícolas, que son abandonadas sin ningún fin para su descomposición; actualmente en el planeta la agroindustria produce toneladas de masa orgánica que esta entre 155 billones/ año, solo una fracción de esta cantidad es consumida por el hombre y la mayor parte es transformada en residuos.

Las fibras vegetales destacan desde la antigüedad dentro de los sistemas constructivos tradicionales en tierra, al presentar ventajas positivas como su disponibilidad, bajos costos, baja densidad y propiedades térmicas y acústicas; en la actualidad el material ha demostrado tener la capacidad de compactación, refuerzo y estabilización de un elemento compuesto, mejorando propiedades de tracción y flexión en los materiales.

Latinoamérica es el principal productor de café a nivel global representando el 85 % de producción, no obstante, Ecuador en los últimos tres años a producido un promedio de 25.617 toneladas de café, teniendo a la provincia de Manabí (39.5 %) como la principal productora. Dentro del austro ecuatoriano Loja es la segunda provincia en producir café a nivel nacional, representada con el 15.5 %.

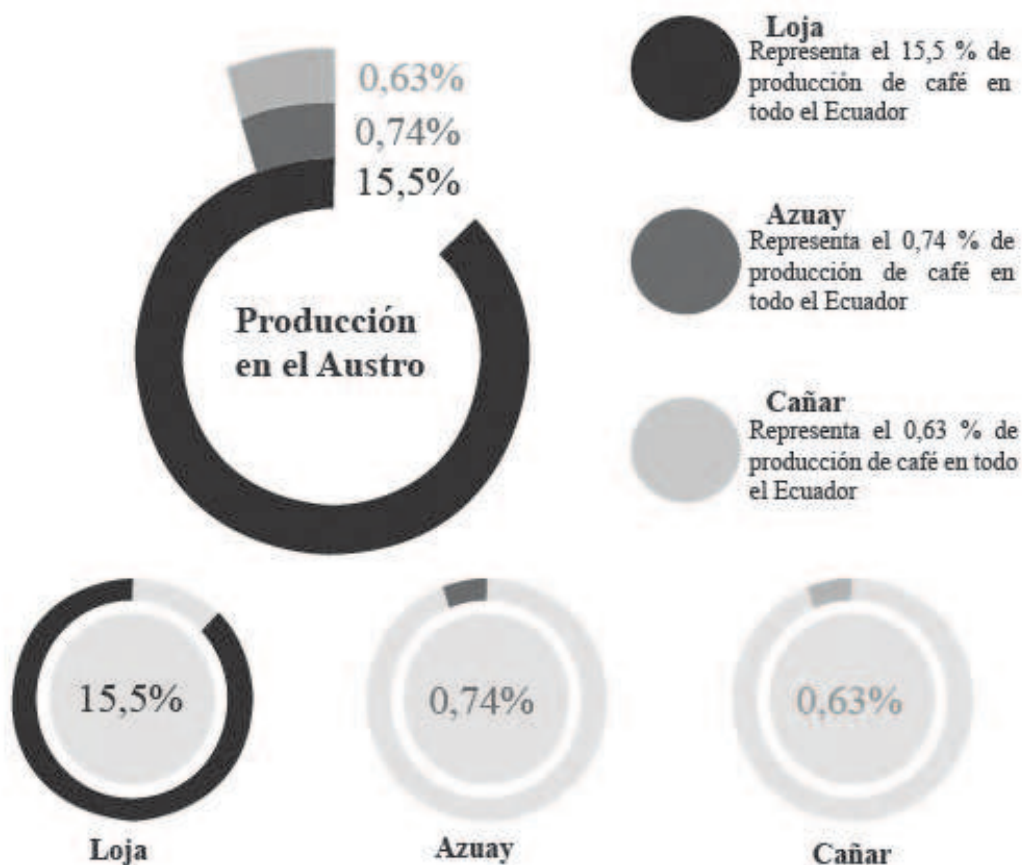


FIGURA 1.12: Porcentaje de producción de café en el Austro a nivel nacional

El trigo es el principal cereal producido en el mundo, con China como el mayor productor con el 17 %. Ecuador en el año 2018 registra 3.470 hectáreas de superficie cultivada y 3277 hectáreas cosechadas, siendo las provincias de Carchi (22.5 %) e Imbabura (25.87) las más productivas; por otro lado, la zona austral representa el 7.62 % de superficie cultivada y 3.14 % representa la producción.

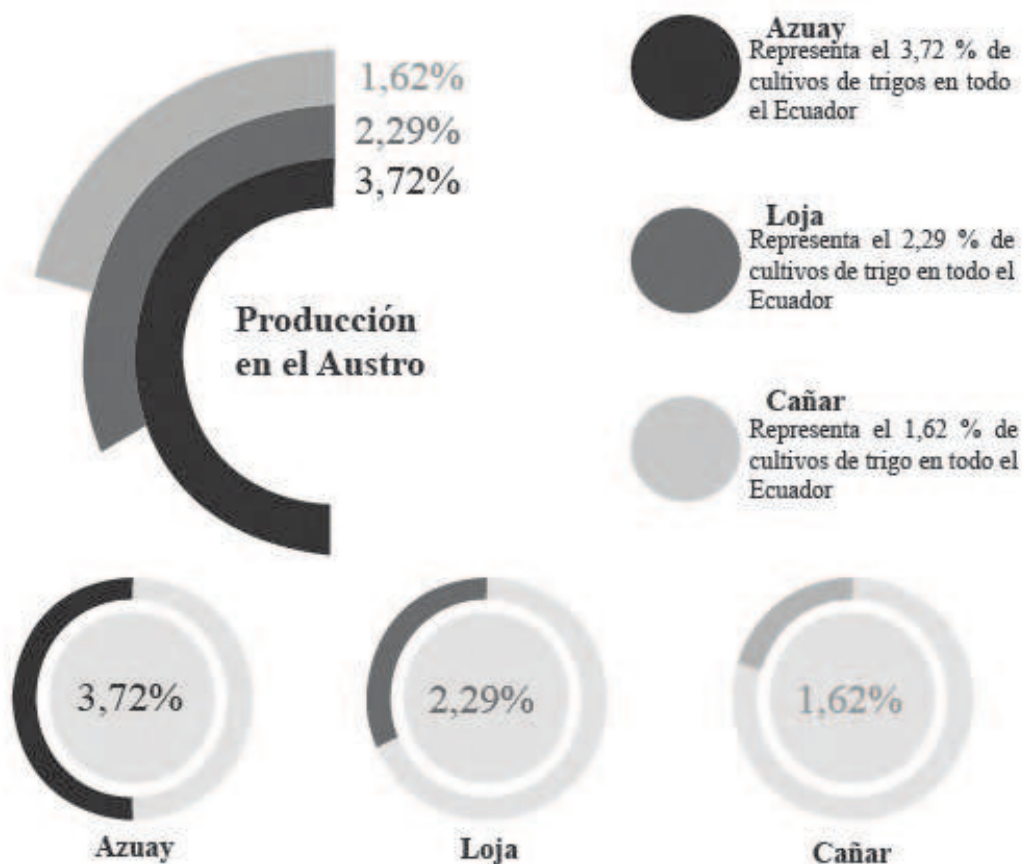


FIGURA 1.13: Porcentaje de superficie cultivada de trigo en el Austro a nivel nacional

Si bien en el país la producción de café y trigo no encabezan la lista en productividad con respecto a otras actividades agrícolas, los residuos que estas generan son de gran magnitud para su aprovechamiento en el área de la construcción e innovación de tecnologías constructivas.

## 2.1. Materiales

Este trabajo de investigación busca el aprovechamiento de elementos provenientes de desechos agroindustrial que se producen en el sector agrícola, partiendo de conceptos fundamentales en construcción sostenible, aprovechamiento de residuos y materiales ecológicos. Los beneficios al utilizar materiales ecológicos en la edificación es que son renovables y permiten su aprovechamiento disminuyendo considerablemente el impacto en el medio ambiente.

Dentro de la diversidad de materiales existentes en la construcción, en la presente investigación se analizaron aglomerantes naturales, estabilizantes y fibras lignocelulosas. La combinación de estos compuestos forma un elemento compuesto, es decir, se forma mediante la unión de dos o más materiales distintos, sin que exista una reacción química, originando mejores propiedades que las partes que se componen por separado (García et al., 2013).

## 2.2. Aglomerantes

Para Goma (1979) los aglomerantes son compuestos de una o varias sustancias con la virtud de combinar partículas de varios compuestos heterogéneos de distinta naturaleza endureciéndolo a corto o largo plazo; pueden ser de naturaleza orgánica, resinas o polímeros.

Los morteros de cal orgánicos e inorgánicos han sido utilizados como aglomerantes en varias edificaciones antiguas debido a su buen rendimiento como propiedades de apelmazamiento, repelencia al agua, resistencia a la intemperie, entre otros, siendo materiales tradicionales de cementación aplicados ampliamente en el mundo; muchos morteros de cal orgánico-inorgánico fueron preparados con almidón de arroz, sangre, jugo de plantas, aceite seco, clara de huevo, y además reforzado con paja y fibras (Fang et al., 2014).

Se pueden clasificar en aglomerantes de origen sintético y origen natural, siendo los segundos elementos que existen desde tiempos antiguos como ha sido el uso de la tierra aplicado en argamasas para adherir la piedra. Rengel Coronel (2018) describe que los

aglomerantes naturales pueden ser clasificados de acuerdo a su origen en animal como colas animales, caseína, albumina y ceras animales; y vegetal como gomas, mucilagos vegetales, ceras vegetales y aceites. Para esta investigación se analizó almidón de arroz para aplicarlo como un elemento aglutinante dentro del tablero propuesto.

### **2.2.1. Almidón de arroz**

Es un polvo fino obtenido del sobrante de la producción de arroz blanco, este contiene 90 % de almidón, entre 5 % - 8 % de proteínas y una baja cantidad de grasas. El gránulo de almidón de arroz contiene entre el 8 % a 37 % de amilosa que es una proteína con la capacidad de dividir el almidón en diferentes componentes (Martínez, 2007).

Según López (2019) el almidón contiene el porcentaje más alto en la composición del arroz, siendo el principal componente de adherencia en áreas porosas; por otro lado, las concentraciones de amilopectina, amilosa y polisacáridos le da propiedades de plasticidad y adherencia durante su cocción.

## **2.3. Estabilizadores**

Son elementos utilizados en la construcción o en la estabilización de suelos que permiten mejorar las características y propiedades de los materiales, especialmente a la tierra donde este proceso se conoce como estabilización química (Montes, 2011). Dentro de la investigación se utiliza este término para determinar los materiales que puedan ser usados como estabilizadores mejorando las características físicas y mecánicas del material.

Para Stulz et al. (1993) los elementos estabilizadores desempeñan varias funciones de mejoramiento, incrementando la resistencia a la compresión y su tendencia a la dilatación o contracción; reduce la absorción de agua sellando los vacíos y crea una película impermeable al cubrir las partículas de arcilla; reduce el agrietamiento permitiendo la expansión o contracción en el material; disminuye también la contracción y expansión excedente reforzando con material fibrosos.

### **2.3.1. Métodos de estabilización**

La estabilización puede realizarse por varios métodos como la estabilización mecánica, mediante fibras o química.

La compactación es una forma de estabilización mecánica que reduce los vacíos uniendo de mejor manera las partículas, incrementando la resistencia de los materiales y disminuyendo la deformación. La estabilización por fibras previene la deformación que se pueda dar en el material, preservando su forma y evitando el agrietamiento. Por último, la estabilización química mejora las propiedades de los elementos agregando sustancias capaces de formar compuestos estables (Montes, 2011).

Existen sustancias o elementos usados como estabilizadores de materiales en la naturaleza como la arena, arcilla, fibras, jugo de plantas, ceniza de madera, excremento de animales, entre otros; sin embargo, existen también elementos industrializados como la cal, cemento, yeso, asfalto, silicato de sodio, resinas, entre otros (Peña, 2016).

La elección adecuada de elementos estabilizadores va a depender de la disponibilidad en el medio, así como su adaptación en el tablero propuesto; pese a esto, para la investigación se ha seleccionado la arcilla, cal y el yeso como materiales estabilizadores.

### 2.3.2. Arcilla

Para Goma (1979) la arcilla es uno de los primeros materiales empleados por la humanidad, constituido principalmente por silicatos de aluminio hidratados y silicatos de magnesio; posee propiedades físico-químicas como la capacidad de endurecimiento y plasticidad.

La arcilla roja es la más usada por la facilidad de obtención en abundancia, puede ser encontrada al pie de colinas o tierras agrícolas; existen dos procesos de extracción, manual a mediana escala obteniendo el material a una profundidad de 2 metros, y mecánico a gran escala que requiere el uso de maquinaria pesada para su obtención.

Según (Peña, 2016) dentro del país se puede obtener esta materia prima en las zonas de Azuay y Loja, los usos empelados a este material son diversos desde aplicaciones artesanales e industriales en la producción de ladrillos para la construcción hasta utensilios de cocina.

### 2.3.3. Cal

Según González (2000) se denomina cal a todo producto que proviene de la calcinación de piedras caliza o mármoles. La cal para la construcción es un conglomerado cuyos principales componentes son óxidos e hidróxidos de calcio, y cantidades menores de magnesio, silicio, aluminio y hierro; su endurecimiento se debe por la interacción del CO<sub>2</sub> en el ambiente.

La cal sufre una serie de procesos desde su obtención por la extracción de la piedra caliza en canteras hasta su puesta en obra; la primera fase es someter a calcinación la piedra caliza obteniendo cal viva, una segunda fase es el apagado o hidratación de la cal fenómeno que sucede cuando la cal viva se pone en contacto con agua, produciendo una reacción exotérmica con los óxidos, liberación de calor y modificación del pH del agua, permitiendo obtener cal hidratada que es un polvo fino y de baja densidad, que al ponerse en contacto con el CO<sub>2</sub> atmosférico se transforma en calcita (Cazalla Vázquez, 2002). El apagado puede ser aplicado por simple extensión al aire requiriendo varios meses, por inmersión en agua durante un tiempo corto o a pie de obra para volúmenes cortos (Goma, 1979).

### 2.3.4. Yeso

Es un aglomerante compuesto por  $\text{CaSO}_4$  (sulfato cálcico) hidratado por moléculas de agua, se ha empleado desde la antigüedad por los egipcios, debido a que su temperatura de calcinación es más baja que el resto de aglomerantes. Se utiliza en la construcción para la fabricación de morteros, enlucidos y empastes; sin embargo, debido a su buena resistencia, rápido fraguado, resistencia al fuego y gran adherencia a soportes de diferentes tipos es usado para divisiones de mampostería interior y cielo raso. Este elemento se obtiene de la piedra de yeso, cocida, molida y mezclada con agua para formar otra vez una piedra de yeso, proceso conocido como “ciclo del yeso” (Cazalla Vázquez, 2002).

## 2.4. Fibras Lignocelulosas

Alvarez-Castillo et al. (2012) describen la lignocelulosa como el principal elemento de la pared celular en una planta y la fuente de carbono renovable principal para solucionar problemas de energía y materia prima; las fibras lignocelulosas o vegetales están compuestas de dos elementos, la celulosa y la lignina. La celulosa es un biopolímero abundante en la naturaleza; y la lignina además de ser la segunda fuente renovable con más abundancia, es una sustancia formada por paredes de organismos vegetales, puede considerarse una red polimérica tridimensional formada por fenilpropano.

Al combinarse la celulosa con la lignina forman tejidos con propiedades de resistencia, tracción y flexión. Actualmente el uso de materiales lignocelulósicos al poseer un alto contenido de celulosa se han desarrollado alternativas generadoras de fibras de carbón para la industria de materiales compuestos. Las agroindustrias han creado materiales a base de celulosa altamente fibrosa como el bagazo de caña, cascarilla de arroz, zacate, entre otros (Alvarez-Castillo et al., 2012).

Peña (2016) describe que las fibras vegetales han sido utilizadas desde tiempos muy antiguos en la humanidad, remontando su uso a la era pre-neolítica, especulando que los primeros asentamientos utilizaban estos elementos para construir sus refugios; actualmente, existen modelos en sociedades aborígenes dentro de la Amazonía donde se evidencia la aplicación de técnicas constructivas a base de estructuras de madera y la unión de pórticos mediante el uso de fibras naturales.

Las fibras vegetales desarrollan un papel importante en la construcción al ser usadas como refuerzo de bloques compuestos con base de arcilla; pero a causa del avance en la industria de polímeros sintéticos a mediados del siglo XX el uso de fibras fue desplazado del mercado; sin embargo, actualmente con la escasez de petróleo en un futuro próximo y la preocupación ambiental que se vive hoy en día, se considera una opción imponente el uso de agro-fibras como una alternativa en materiales compuestos dentro de la construcción. (Tapia et al., 2006).

Actualmente los recursos forestales donde proviene la madera son más escasos, debido al crecimiento poblacional a nivel global que genera una mayor demanda en productos que

se derivan de la madera. Dentro de la industria constructiva se han usado para aislamiento fibras sintéticas como lana mineral, fibra de vidrio, entre otros, siendo muy eficientes; sin embargo, la fabricación de estos compuestos representa un alto costo energético produciendo un impacto ambiental considerable (Peña, 2016).

Existen múltiples usos y aplicaciones que se puede dar a los residuos agroindustriales, pero a nivel regional y local se busca aprovechar los recursos en el campo de la construcción; ejemplo de ello se encuentra la paja de trigo y cascarilla o cisco de café que pertenecen a cultivos que se desarrollan dentro del Austro ecuatoriano, representando la región, donde se aplica la investigación, además se aprovecha grandes cantidades de desechos que se descomponen en los terrenos de cultivo sin aprovechamiento alguno, por lo que no existe un riguroso análisis de estos elementos enfocados en la elaboración de materiales constructivos, con esta materia prima.

## 2.5. La cascarilla de café

La cascarilla de café es el recubrimiento que protege el grano de café desde su crecimiento hasta la cosecha; este residuo puede llegar a ser una alternativa eficiente en el desarrollo e innovación de elementos constructivos, debido a la alta producción que existe a nivel global, facilidad de obtención y características físicas. El cisco o cascarilla es una forma de residuo compuesta mayormente del pergamino, cafeína, taninos, polifenoles y fragmentos de grano de café, que se obtiene de dos procesos luego de la cosecha del fruto, proceso húmedo o seco (Pandey et al., 2000).

El grano de café luego de pasar por la despulpadora y seguido el proceso de fermentación y/o secado descrito en el capítulo 1, se obtiene la cascarilla que presenta características de homogeneidad, propiedades retardantes al fuego, resistencia a la humedad y alto contenido de celulosa (Lemus Muñoz, 2005). Esta materia orgánica constituye alrededor del 6% del café seco de trilla y contiene 12% de humedad; de acuerdo a investigaciones realizadas en Estados Unidos se determina que la cascarilla de café puede ser utilizado como ingrediente alimenticio para animales, material permutador de iones, material adhesivo, entre otros (Salazar et al., 1984).

### 2.5.1. Propiedades físico-químicas de la cascarilla de café

Para determinar las propiedades de la cascarilla de café se recolectó información de investigación previamente realizadas del material que nos permite tener un sustento teórico para la investigación. La densidad en el material es una característica que permite determinar la cantidad de masa por unidad de volumen, dada esta propiedad en la cascarilla de café va a depender el nivel de expansión y compresión; para el estudio de biomásas se debe conocer la densidad real y específica, ya que estos valores permiten calcular su porosidad, siendo esta una relación entre el volumen de los poros del material y el volumen total que ocupa el mismo (Castillo Benavides, 2014).

Según la investigación de [Castillo Benavides \(2014\)](#) la cascarilla de café posee una densidad real aproximada de 1212 kg/m<sup>3</sup> y aparente de 314 kg/m<sup>3</sup>, siendo la real mayor debido a no estar considerada la porosidad, lo que permite que sea más pesada al compactar el material. El nivel de porosidad contenido en el material es del 74 %, debido a la geometría plana de la cascarilla se puede compactar y distribuir de una forma homogénea; dadas estas características es importante mantener un criterio de compactación en el material para el diseño y elaboración de tableros.

Tabla 2.1: PROPIEDADES FÍSICAS DE LA CASCARILLA DE CAFÉ. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA SEGÚN DATOS DE CASTILLO

| <b>Propiedad</b>  | <b>Característica</b>  |
|-------------------|------------------------|
| Estado            | Sólido granulado       |
| Color             | Marrón                 |
| Olor              | Aroma de café          |
| Humedad           | 12 %                   |
| Densidad real     | 1212 kg/m <sup>3</sup> |
| Densidad aparente | 314 kg/m <sup>3</sup>  |
| Porosidad         | 74 %                   |

La cascarilla de café químicamente se compone de extracto etéreo, proteínas, celulosa, hemicelulosa, azúcares, pentosa, cenizas, silicio, aluminio, hierro, calcio, magnesio, sodio, potasio y grasas ([Salazar et al., 1984](#)). Las características químicas están vinculadas a los elementos que ocasionen el degrado de la cascarilla, por lo que se debería inmunizar las fibras ya que contiene un alto porcentaje de celulosa 50.20 % en café arábica y 60.20 % en café robusta.

Tabla 2.2: PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA CASCARILLA DE CAFÉ. FUENTE: SALAZAR ET AL. (1984)

| Componente        | Café arábica (%) | Café robusta (%) |
|-------------------|------------------|------------------|
| Extracto etéreo   | 0.4              | -                |
| Proteínas totales | 1.5              | 2.2              |
| Celulosa bruta    | 50.2             | 60.2             |
| Hemicelulosa      | 11.6             | 7.6              |
| Azúcares          | 21.3             | -                |
| Pentosa           | 26               | -                |
| Cenizas           | 1                | 3.3              |
| Silicio           | 15.7             | -                |
| Aluminio          | 3.4              | -                |
| Hierro            | 13.6             | -                |
| Calcio            | 19.6             | -                |
| Magnesio          | 12.2             | -                |
| Sodio             | 3.4              | -                |
| Potasio           | 18               | -                |
| Grasas            | 0.6              | -                |

## 2.5.2. Cuantificación de la cascarilla de café

Según las estadísticas agropecuarias del MAGAP (2018) en la zona austral ecuatorial comprendida por las provincias de Azuay, Cañar y Loja; cuantifican el 16.88% de la producción en todo el austro, sin embargo, Loja cuenta con el 15.5% de cosecha a nivel nacional. Estos porcentajes representan 4852.14 t de producción de café anuales en toda la zona austral.

Sotomayor y Duicela (1995) señalan que la cantidad de cosecha de café arábigo del país depende de la época lluviosa del año, que comprende entre los meses de diciembre y mayo (180 días) siendo cosechada entre mayo y agosto; por otro lado, la especie robusta puede sembrarse en cualquier época del año debido a su adaptabilidad a las zonas tropicales húmedas y subhúmedas del Ecuador, dándose la recolección del fruto durante todo el año. Dentro de la provincia de El Oro, en el cantón Zaruma la producción de café es una actividad que genera trabajo a pequeños productores, siendo una zona en la que se cosecha el grano en la época seca entre los meses de mayo y julio, y produciendo anualmente dentro de una finca 8 quintales de producto final manifiesta Murillo (L. Murillo, comunicación personal, 22 de agosto de 2019).

Según Calle (1977) al cosechar el fruto, durante el proceso húmedo del café, este es sometido a varios procesos donde se generan materiales de desecho (pulpa, mucilago, pergamino o cascarilla y cisco) que representan el 90.5% del peso del grano, es decir, que el 9.5% del peso es usado para la preparación de la bebida; por otro lado, en la investigación de Bressani (1978) siguiendo el mismo proceso húmedo muestra que de 100g de frutos de café cereza, alrededor del 29% del peso seco representa la pulpa de café, 12%

cascarilla, 55 % granos de café y 4 % de mucílago.

Según Murillo (L. Murillo, comunicación personal, 22 de agosto de 2019) y Villacís (V. Villacís, comunicación personal, 01 de septiembre de 2019) en el proceso seco del café bola, de un quintal se obtiene entre 20 a 25 libras de residuo, aproximadamente una relación 60 % (grano de café) y 40 % (cascarilla). Para determinar con exactitud la cantidad de residuo generada dentro de este proceso, basándose en la investigación de [Bressani \(1978\)](#) de 1000g de café bola seco, se realiza el proceso de pilado en la despulpadora y el aventado que consiste en separar los granos de café de la cascarilla, como resultado se obtiene 549g de grano y 451g de residuo, es decir, el 54.9 % representa el producto que se usa para la bebida y el 45.1 % es el desperdicio que genera este proceso. Ver tabla 2.3.

Tabla 2.3: PESOS Y PORCENTAJES OBTENIDOS DE 1000G DE CAFÉ BOLA

|                    | Peso seco (g) | %          |
|--------------------|---------------|------------|
| <b>Café bola</b>   | <b>1000</b>   | <b>100</b> |
| Grano de café      | 549           | 54.9       |
| Cascarilla de café | 451           | 45.1       |

La figura 2.1 Muestra el proceso para cuantificar 1000g de café bola y separar los porcentajes de grano de café y residuo.



(A) Café bola



(B) 1000g de café bola



(C) Pilado de café bola



(D) Café pilado



(E) Grano de café



(F) Cascarilla de café

FIGURA 2.1: Proceso de cuantificación de la cascarilla. Fuente: autor

Para el año 2018 se produjo 4852.14 t de café en el austro ecuatoriano, siendo el 45.1% de esa cantidad el residuo que se genera, es decir, existe anualmente 2188.32 t aproximadamente de cascarilla de café, y mensualmente se puede obtener 182.36 t.

### 2.5.3. Extracción y obtención de materia prima (cascarilla de café)

Para la extracción y recolección de la materia prima proveniente de los desechos del café se debe tomar en cuenta la época (mayo-agosto) de recolección del fruto y el proceso beneficio húmedo o seco que se realice; para esta investigación se aplica el proceso de beneficio seco, debido a que este método permite acumular mayor cantidad de residuo a comparación del otro método. Se obtiene la cascarilla en estado seco tomada de una finca cafetera ubicada en la parroquia Gualdeleg dentro del cantón de Santa Isabel y posteriormente es transportada al lugar de procesamiento.



FIGURA 2.2: Proceso de trituración de la cascarilla. Fuente: autor

El residuo seco obtenido presenta características granulométricas superior a 4mm, a continuación, se reduce su tamaño triturando el material en un molino eléctrico, dando como resultado partículas de dimensiones menores a los 2mm.

## 2.6. La paja de trigo

El *Triticum aestivum* o trigo es uno de los cultivos más extensos a nivel global, cultivado por 115 países con una producción de  $675 \times 10^9$  kg año y como subproducto se genera aproximadamente  $877 \times 10^9$  kg de paja residual (Baltierra-Trejo et al., 2016). La paja es considerado el tallo seco del cultivo de trigo, es decir, la parte entre la raíz y la espiga compuesta por celulosa, lignina, hemicelulosa y tierra silicia, presentando un exterior ceroso e impermeable; es un material renovable y se descompone lentamente debido a su alto contenido de silicatos (Minke y Mahlke, 2006). Baltierra-Trejo et al. (2016) señalan que la paja de trigo se compone de restos de la pared celular vegetal: lignina (17%), hemicelulosa (38.7%) y celulosa (39%).

La paja compuesta generalmente de tallos y hojas tienen diferentes destinos luego de la cosecha, por una parte, es una fuente de alimentación en la ganadería o como base para producción de abono, y en otros casos como el de países donde la producción de cereales es intensiva, se queman estos residuos generando altas emisiones de gases invernadero (Bernal, 2018). Según Minke y Mahlke (2006) en Europa y América la paja era utilizada desde tiempos antiguos como recubrimiento para techos, además de ser utilizado como agregado en la construcción con barro, con la finalidad de mejorar características térmicas y reducir el fisuramiento.

### 2.6.1. Propiedades físico-químicas de la paja de trigo

Las propiedades físicas y químicas de la paja de trigo se obtuvieron al realizar una búsqueda y recolección de información bibliográfica en investigaciones previamente realizadas. La granulometría es una propiedad física que permite determinar el espacio poroso, la densidad aparente, la aireación y la capacidad para retener agua; Handreck (1983) establece en su investigación que el tamaño de partícula en residuos vegetales entre 0.10 y 0.25 mm tiene mayor influencia en la porosidad y retención de agua, sin embargo, Benito et al. (2006) afirman que las compostas en residuos vegetales con fraccionamientos de partícula entre 2 y 4 mm permiten una óptima retención de agua y contenido de aire. Por otro lado, la densidad aparente representa una relevante importancia en cuanto a las propiedades mecánicas como la porosidad, fuerza y compactación, y relacionada con el contenido de humedad y mineralización de compostas (López-Clemente et al., 2015).

De acuerdo a la investigación de López-Clemente et al. (2015) la paja de trigo tiene una capacidad de aireación del 41% siendo el recomendado del 20-30%, y un espacio poroso del 96%; posee un tamaño de partículas entre 0.50 y 3.36 mm, encontrándose en un rango óptimo y con buenas características según Benito et al. (2006); la densidad real es de  $1260 \text{ kg/m}^3$  y aparente de  $60 \text{ kg/m}^3$ .

Tabla 2.4: PROPIEDADES FÍSICAS DE LA PAJA DE TRIGO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA SEGÚN DATOS DE [LÓPEZ-CLEMENTE ET AL. \(2015\)](#)

| Propiedad              | Característica         |
|------------------------|------------------------|
| Estado                 | Sólido granulado       |
| Granulometría          | 0.50-3.36 mm           |
| Humedad                | 5.35 %                 |
| Densidad real          | 1260 kg/m <sup>3</sup> |
| Densidad aparente      | 60 kg/m <sup>3</sup>   |
| Porosidad              | 96 %                   |
| Capacidad de aireación | 41 %                   |

La biomasa lignocelulósica es un material orgánico presente en los residuos vegetales como la paja de trigo, para su uso es importante conocer sus componentes químicos como porcentajes de celulosa que representa entre el 40-60 % del peso seco, hemicelulosa, lignina, humedad, cenizas, pH, nitrógeno, sustancias extractivas como resinas, terpenos y fenoles ([Romero et al., 2014](#)). De acuerdo a la investigación de [López-Clemente et al. \(2015\)](#) el porcentaje de pH en una composta de paja de trigo representan el 6 %, nitrógeno 0.79 % y carbono orgánico total del 48.24 %; sin embargo, en el estudio de [Romero et al. \(2014\)](#) el porcentaje de pH varia a 6.5 %, humedad 5.35 %, cenizas 10.30 %, nitrógeno 0.002 %, extractos 20.45 %, lignina 19.10 %, holocelulosa 73.91 %, celulosa 57.09 % y hemicelulosa 16.81 %. Ver tabla 2.5.

Tabla 2.5: PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA PAJA DE TRIGO. FUENTE: [LÓPEZ-CLEMENTE ET AL. \(2015\)](#) Y ([ROMERO ET AL., 2014](#))

| Componente       | Datos de López (%) | Datos de Romero (%) |
|------------------|--------------------|---------------------|
| pH               | 6                  | 6.5                 |
| Nitrógeno        | 0.79               | 0.002               |
| Carbono orgánico | 48.24              | -                   |
| Humedad          | -                  | 5.35                |
| Cenizas          | -                  | 10.3                |
| Extractos        | -                  | 20.45               |
| Lignina          | -                  | 19.1                |
| Holocelulosa     | -                  | 73.91               |
| Celulosa         | -                  | 67.09               |
| Hemicelulosa     | -                  | 16.81               |

## 2.6.2. Cuantificación de la paja de trigo

El trigo es uno de los principales cultivos agrícolas en el mundo que genera como subproducto residual la paja de trigo alrededor de  $877 \times 10^9$  kg por año ([Baltierra-Trejo](#)

et al., 2016, p.198). Según Bamaga et al. (2003) (citado por Tomás-Pejó (2010)) “en el caso concreto del trigo, cada kilogramo de grano produce 1.1 kg de paja” (p.15).

Según las estadísticas agropecuarias del ESPAC (2018) en el austro ecuatoriano contenido por las provincias de Azuay, Cañar y Loja; el 7,62 % de la superficie cultivada a nivel nacional pertenece al austro, y el 3,14 % representa la producción de esta zona. De acuerdo a los datos obtenidos en el capítulo 1, para el año 2018 en todo el austro se produjo 173 toneladas de trigo, lo que en residuo representa 190.3 toneladas de paja, es decir, mensualmente se podría obtener aproximadamente 15.85 toneladas de este residuo para la producción de elementos constructivos.

### **2.6.3. Extracción y obtención de materia prima (paja de trigo)**

La obtención de este residuo se da específicamente en los cultivos de trigo en la época de cosecha, donde la trilladora separa los granos de trigo quedando el resto de la planta (tallos y hojas) como residuo, y posteriormente sigue un proceso de almacenamiento y compactación del desecho con una empacadora formando fardos de paja. Según Minke y Mahlke (2006) los fardos de paja tienen varios formatos, la altura varía de 32-35 cm, ancho de 50cm y el largo entre 50-120 cm, con una compresión entre 80-120 kg/m<sup>3</sup> (p.17).

La materia prima fue obtenida en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) ubicado en el cantón Gualaceo con dimensiones de 35 x 50 x 70 cm. Según Coronel (J. Coronel, comunicación personal, 23 de octubre de 2019) el tiempo de secado de la paja de trigo se realiza en el mismo tiempo que dura el proceso hasta la cosecha, es decir, la cosecha se realiza una vez que las plantas se secan y cambian su coloración de verdosa a amarillenta, este tiempo dura de 170 a 180 días. La paja de trigo pasa por un proceso de triturado mediante un molino eléctrico, obteniendo diferentes granulometrías, para lo cual es necesario un proceso de tamizado para su posterior uso.



FIGURA 2.3: Proceso de trituración de la paja de trigo. Fuente: autor

Si bien el material pasa por un tratamiento para reducir su tamaño de fragmentación, fue necesario seleccionar tamices de dimensiones 2x2 mm, 4x4 mm y 10x10 mm, permitiendo este método clasificar granulométricamente las fibras, para determinar el tamaño óptimo de uso.

Del 100 % de material tamizado se obtuvieron varios porcentajes en el tamaño de fragmento de los diferentes tamices, de los cuales el 1.30 % corresponde a la paja mayor a 10x10 mm, la paja fina en malla 2x2 mm se obtuvo el 6.88 %, en la malla 4x4 mm el 1.92 % y finalmente las partículas que pasaron todas las mallas, es decir, el fondo representa el 89.9 %.

La figura 2.4 muestra el dimensionamiento de la paja de trigo luego del proceso de triturado y tamizado, siendo los fragmentos  $\geq 2\text{mm}$  las óptimas para el uso de la investigación.



(A) Fragmentos  $4\text{mm} \geq 10\text{mm}$     (B) Fragmentos  $2\text{mm} \geq 4\text{mm}$ .    (C) Fragmentos  $\geq 2\text{mm}$ .

FIGURA 2.4: Proceso de trituración de la paja de trigo. Fuente: autor

## 2.7. Ensayos de inmunización en fibras vegetales

Al trabajar con elementos de origen orgánico, en este caso las fibras, este material se encuentra expuesto a diferentes factores ambientales que podrían afectar su composición como por ejemplo insectos, no obstante, es necesario aplicar un proceso de inmunización para controlar y evitar la afectación debido al ataque de agentes patógenos. Basado en la experimentación de Peña (2016) en su investigación ‘Módulos termoaislantes para tabiquería interior a base de residuos vegetales’ se aplica un método que consisten en sumergir el material en una solución en agua durante un periodo de 24 horas y finalmente seguir un proceso de secado natural.

**Método de inmunización.** La cascarilla de arroz y paja de trigo es tratada en una solución compuesta de 4000ml de agua, 40g de bórax y 40g de ácido bórico. En un recipiente se coloca la solución mezclada y se introduce 1000 g de cascarilla de café, conjuntamente en otro recipiente se realiza el mismo proceso colocando 1000 g de paja de trigo.

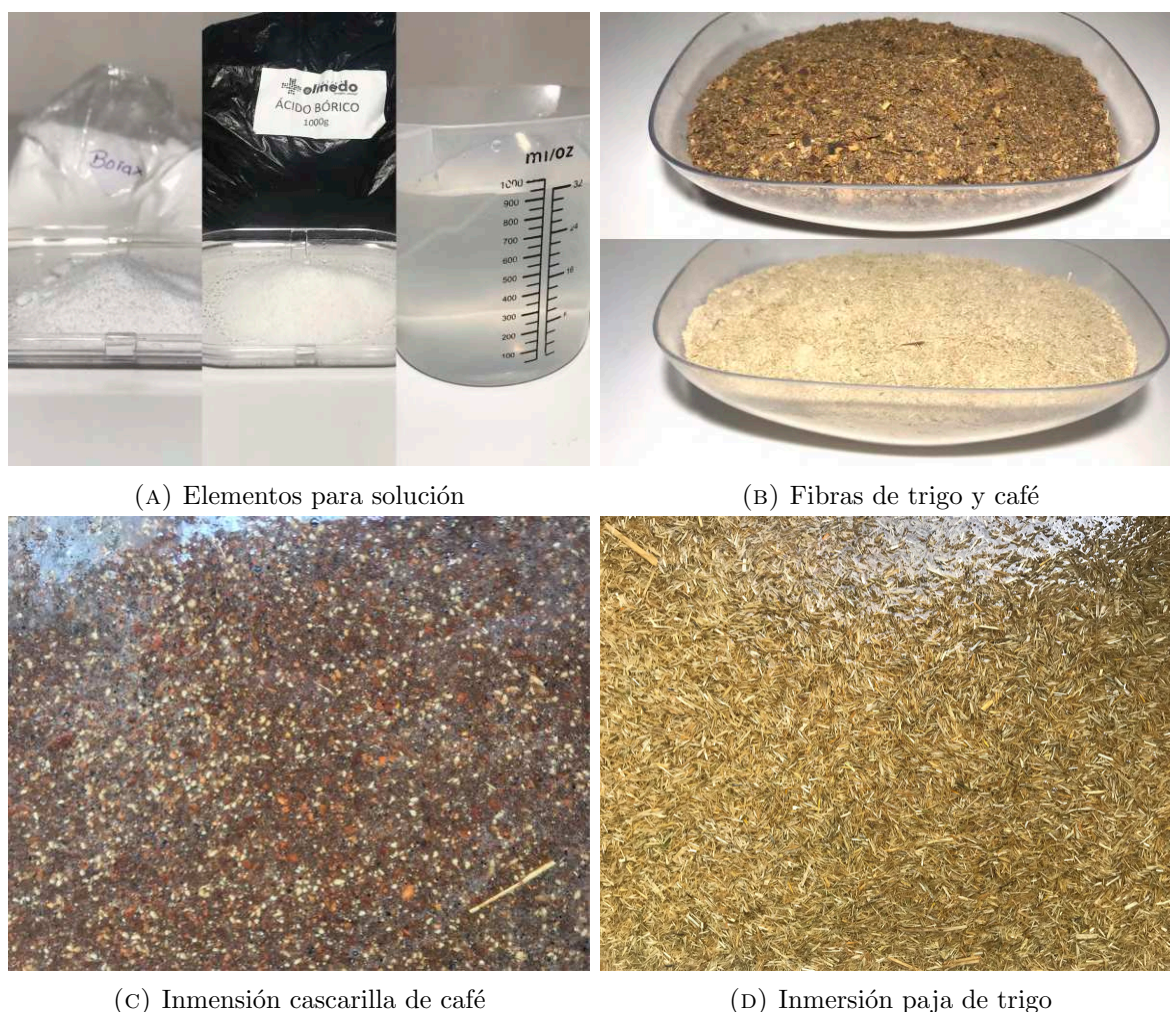


FIGURA 2.5: Inmersión de fibras en solución. Fuente: autor

Peña (2016) señala que este método es el óptimo al ser una fórmula compuesta por un esterilizador y preservador, es decir, dos aditivos químicos que logran inmunizar las fibras. Se observa en la figura 2.6 que el material mantiene la misma coloración y no presenta un deterioro al someterse a este método.



FIGURA 2.6: Fibras inmunizadas. Fuente: autor

## 2.8. Normas técnicas

Son documentos aprobados por organismos que determina las especificaciones técnicas de los materiales constructivos basadas en resultados de experiencias y desarrollo investigativo como tecnológico con la finalidad de normalizar y establecer parámetros o requerimientos de calidad. Dentro del estudio se analizaron diferentes normativas nacionales e internacionales basadas en tableros de partículas aglomeradas que ayuden a determinar propiedades y características óptimas del tablero.

El desarrollo experimental realizado en la investigación, consideró como referentes para determinar las propiedades físico-mecánicas la norma técnica colombiana NTC 2261:2003 Tableros de partículas aglomeradas para aplicaciones de interiores no estructurales, también se apoya de normas técnicas ecuatorianas como NEC-SE-MD; 2014 Estructuras de madera; NTE INEN 897:2013 Tableros de madera aglomerada, contrachapada y fibras de madera (MDF). Determinación de la densidad aparente; y NTE INEN 896:2013 Tableros de madera aglomerada, contrachapada y fibras de madera (MDF). Determinación del contenido de humedad. Además de normas americanas ANSI 208.1:1999 Particleboard y ASTM D 1037-99 Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials.

La figura 2.7 muestra como pueden ser clasificados los tableros basado en las normas NTC 2261 y ANSI 208.1.

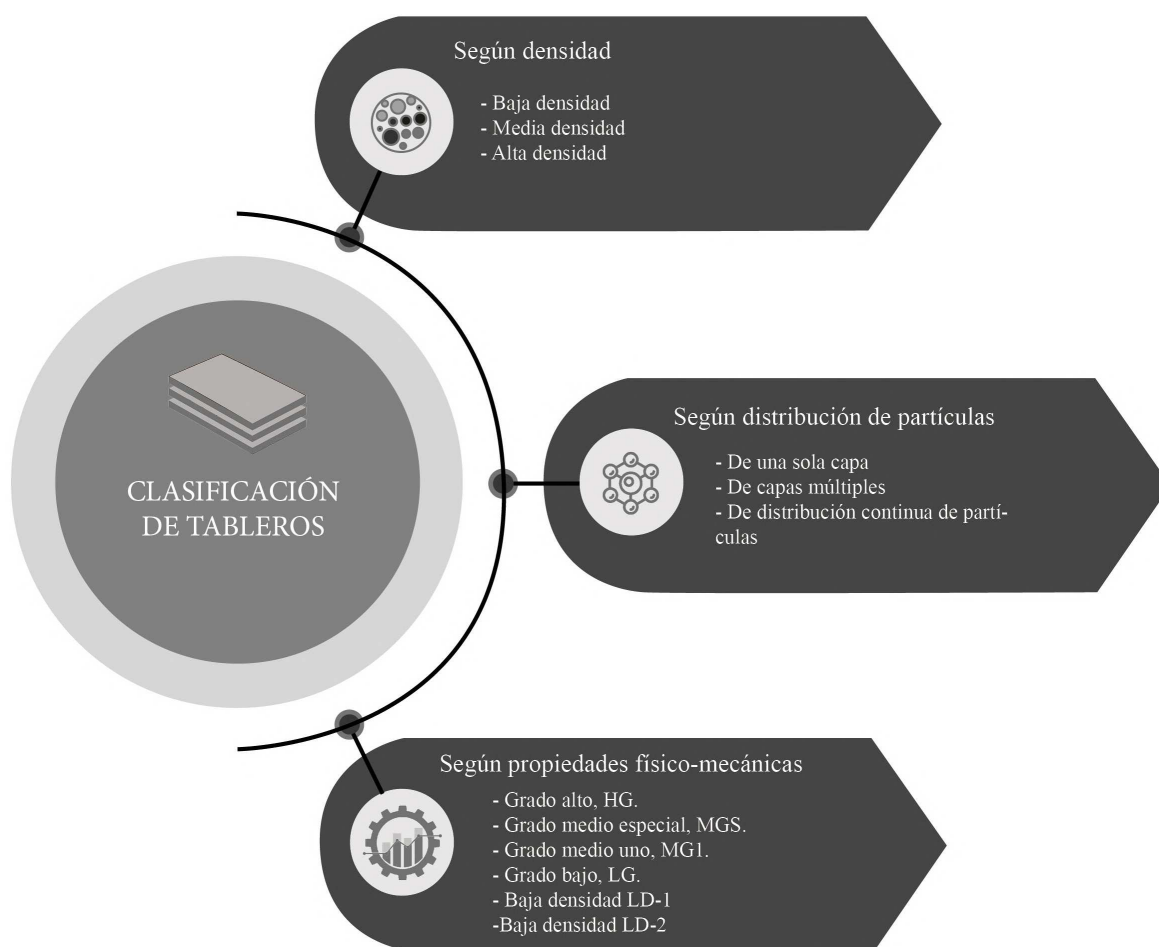


FIGURA 2.7: Clasificación de tableros. Fuente: NTC 2261:2003 y ANSI 208.1:1999

## 2.9. Parámetros físico-mecánicos

### 2.9.1. Densidad Aparente

La densidad es un valor físico que dentro la norma [NTE-INEN:897 \(2013\)](#) la define como el cociente de la masa en una pieza de ensayo con su humedad real para el volumen; en donde la masa es la materia que contiene un cuerpo medida en gramos (g), y el volumen es el espacio físico que ocupa la materia medido en centímetros cúbicos ( $\text{cm}^3$ ). La densidad aparente debe calcularse en kilogramos sobre metro cúbicos ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

La norma señala para la determinación de densidad aparente el uso de un calibrador que determina el largo, ancho y espesor de las muestras con una aproximación de 0.1 mm; y una balanza que permita precisar la masa.

Las muestras son preparadas en forma cuadrada de 150 mm de lado con tolerancia de  $\pm 1.5$  mm, con bordes rectos, limpios y sin protección. El procedimiento para obtener la densidad es determinar la masa de las muestras con una aproximación del 0.1 g, se mide el espesor en cuatro puntos diferentes, siendo el espesor efectivo de la probeta la

media aritmética de las cuatro medidas; se mide el largo y ancho, considerando la media aritmética de cada dos medidas paralelas como ancho o largo efectivo; con los datos obtenidos se determina el volumen con una aproximación de  $0.1 \text{ cm}^3$ .

La densidad se calcula con la ecuación:

$$D = \frac{M}{V} \times 1000$$

, siendo:

$D$  la densidad expresado en  $\text{kg}/\text{cm}^3$ .

$M$  la masa de la muestra expresado, en g.

$V$  el volumen volumen expresado en  $\text{cm}^3$ .

La tabla 2.6 muestra la clasificación de los tableros según la densidad con su valoración según la norma NTC:2261 (2003).

Tabla 2.6: CLASIFICACIÓN Y VALORES DE TABLEROS DE PARTÍCULAS SEGÚN DENSIDAD. FUENTE: AUTOR BASADO EN NTC:2261 (2003).

| Grado | Densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) | Densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) |
|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Baja  | $< 500$                             | $< 0.5$                             |
| Media | $500 \geq 800$                      | $0.5 \geq 0.8$                      |
| Alta  | $> 800$                             | $> 0.8$                             |

## 2.9.2. Contenido de humedad

Martines y Lira (2010) definen el contenido de humedad como una magnitud que muestra la cantidad de agua dentro de un material sólido expresada en porcentaje, debido a que la mayoría de cuerpos se constituyen de materia seca y agua. Este porcentaje se determina en base a las mismas probetas ensayadas en la densidad aparente, bajo normativa NTE-INEN:896 (2013) la masa de la muestra debe ser calibrada en una balanza con precisión de  $\pm 0,1 \text{ g}$ , y secado en horno manteniendo una temperatura de  $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ .

El proceso que se ejecuta es pesar la masa de las muestras inmediatamente después del muestreo y antes del secado; se ingresan las piezas en el horno hasta alcanzar una masa constante, finalmente se enfrían las piezas y se determina el peso después del secado.

Se determina el contenido de humedad en porcentaje a través de la ecuación:

$$CH = \frac{M1 \times M2}{M2} \times 100$$

, siendo:

$CH$  el contenido de humedad expresado en %.

$M1$  la masa inicial expresado en g.

$M2$  la masa seca expresado en g.

### 2.9.3. Módulo de elasticidad (MOE)

Esta variable determina la carga capaz de resistir un elemento a un ensayo de compresión simple, mediante una carga puntual. Principalmente es la máxima resistencia a la deformación de un cuerpo, soportado por una fuerza hasta su ruptura. Este ensayo se realiza mediante la norma ecuatoriana [NEC-SE-MD \(2014\)](#), expresado en MPa, sin embargo, se recomienda también el uso de las unidades  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , siendo los valores admisibles los presentados en la tabla 2.7. Conjuntamente se utiliza la norma [NTC:2261 \(2003\)](#) para determinar procesos en el muestreo.

Tabla 2.7: ESFUERZOS ADMISIBLES PARA MOE. FUENTE: AUTOR SEGÚN NORMA [NEC-SE-MD \(2014\)](#).

| Grado | Compresión (Mpa) | Compresión ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) |
|-------|------------------|----------------------------------------|
| A     | 4                | 40.78                                  |
| B     | 2.8              | 28.55                                  |
| C     | 1.5              | 15.29                                  |

Las muestras son preparadas mediante piezas cúbicas de 50mm de arista. Se requiere de un calibrador para determinar espesor, largo y ancho en las muestras, el módulo de elasticidad se determina con una máquina para ensayos de resistencia de materiales. El proceso es similar a los ensayos de densidad y contenido de humedad especificado en la norma [NTC:2261 \(2003\)](#) donde señala que las muestras deben cumplir con bordes rectos, limpios y sin protecciones, se determina largo, ancho y espesor de las muestras; la muestra es sometida a una carga perpendicular que abarque toda el área de la probeta. El módulo de elasticidad obtiene mediante la ecuación:

$$MOE = \frac{P1 \times L^3}{4 \times a \times e^3 \times y1}$$

, siendo:

$MOE$  el módulo de elasticidad expresado en  $\text{N}/\text{mm}^2$

$P1$  la carga expresado en N

$y1$  la deflexión expresado en mm

$e$  el espesor nominal de la probeta expresado en mm

$a$  el ancho de la probeta expresado en mm

$L$  la distancia entre los apoyos expresado en mm

## 2.9.4. Módulo de rotura (MOR)

Peña (2016) describe que el módulo de rotura determina la fuerza máxima que puede resistir una pieza de ensayo a la flexión estática, aplicando una carga puntual centrada a la pieza de ensayo con dos apoyos en los extremos, es decir, es la máxima resistencia a la flexión de una muestra soportada por una carga hasta que se rompa. Esta variable se basa en la norma NTC:2261 (2003) que expresa el modulo de rotura en  $N/mm^2$ ; esta norma esta basada en la normativa americana (ASTM-1037, 1999) “*Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials*”, para determinar las dimensiones en las piezas de ensayo. La tabla 2.8 muestra los esfuerzos admisibles para tableros de partículas de acuerdo a su clasificación.

Tabla 2.8: ESFUERZOS ADMISIBLES PARA MOR. FUENTE: AUTOR SEGÚN NORMA NTC:2261 (2003) Y ANSI-208.1 (1999).

| Grado | Flexión ( $N/mm^2$ ) | Flexión ( $kg/cm^2$ ) |
|-------|----------------------|-----------------------|
| HG    | 21                   | 214.1                 |
| MGS   | 14.5                 | 147.8                 |
| MG1   | 11                   | 112.1                 |
| LG    | 8                    | 81.5                  |
| LD2   | 5                    | 50.9                  |
| LD1   | 3                    | 30.5                  |

El equipo requerido para el ensayo es el mismo descrito en el módulo de elasticidad y anteriores, para determinar espesor, ancho y largo. Las muestras deben ser preparadas con ancho de 7.5 cm y el largo va a depender del espesor nominal, es decir (a) 24 veces el espesor nominal, mas 5 cm, si el espesor es inferior o igual a 7mm; (b) 15 veces el espesor nominal, mas 5 cm, si el espesor es mayor que 7mm. El espesor se mide en tres puntos del eje transversal sobre el que se aplica la carga, uno en el centro y los otros dos a los extremos; la media aritmética de las tres medidas es el valor del espesor.

El módulo de rotura se determina con una maquina para ensayos de resistencia de materiales, adecuada mediante dos apoyos en los extremos. La distancia entre apoyos debe ser (a) 25 veces el espesor de la probeta, si es menor a 7mm y (b) 15 veces el espesor de la probeta, si es mayor que 7mm. El MOR se obtiene con la ecuación:

$$MOR = \frac{3 \times P \times L}{2 \times a \times e^2}$$

, siendo:

$MOR$  el módulo de rotura expresado en  $N/mm^2$

$P$  la carga aplicada expresado en N

$L$  la distancia entre los apoyos expresado en mm

$a$  el ancho de la probeta expresado en mm

$e$  el espesor de la probeta expresado en mm

## 2.10. Diseño experimental. Fase 1

### 2.10.1. Mezcla y dosificación de materiales

Dentro del trabajo de investigación se plantearon pruebas experimentales con fibras naturales de cascarilla de café y paja de trigo, a estas se suman elementos estabilizantes y aglomerantes descritos en apartados previos, con el motivo de combinar materiales compuestos con propiedades mecánicas óptimas.

Para el proceso de elaboración experimental se tomo como referencia investigaciones como: “Panel prefabricado a base de fibras naturales” de Andrés Peña realizada en el año 2016 y ‘Módulos termo aislantes para tabiquería interior a base de residuos vegetales. Estudio realizado en Arenillas, Santa Rosa y Macará’ de Darío López realizada en el año 2018, donde emplea materiales aglomerantes con almidón de arroz.

Las dosificaciones se elaboran basándose en los materiales analizados, se obtiene seis tipos de mezclas diferentes para evaluar y comparar sus características de compresión y flexión. Para determinar las mezclas se aplica un método empírico que consiste en experimentar con los materiales mediante varias combinaciones, con la finalidad de comparar sus propiedades y seleccionar la muestra con mejores características físico-mecánicas.

Tabla 2.9: DOSIFICACIONES DE MUESTRAS

| M   | Fibra Vegetal     |      |                        |      | Estabilizador  |      |            |     | Aglutinante           |      |
|-----|-------------------|------|------------------------|------|----------------|------|------------|-----|-----------------------|------|
|     | Paja<br>trigo (g) | %    | Cascarilla<br>café (g) | %    | Arcilla<br>(g) | %    | Cal<br>(g) | %   | Engrudo<br>arroz (ml) | %    |
| P01 | 200               | 14.2 | 400                    | 28.5 |                |      |            |     | 800                   | 57.1 |
| P02 | 200               | 16.6 | 400                    | 33.3 |                |      |            |     | 600                   | 50   |
| P03 | 200               | 12.2 | 300                    | 18.4 | 300            | 18.4 | 30         | 1.8 | 800                   | 49   |
| P04 | 200               | 13.9 | 300                    | 20.9 | 300            | 20.9 | 30         | 2.0 | 600                   | 41.9 |
| P05 | 100               | 6.2  | 300                    | 18.7 | 400            | 25   |            |     | 800                   | 50   |
| P06 | 100               | 7.1  | 300                    | 21.4 | 400            | 28.5 |            |     | 600                   | 42.8 |

### Engrudo de almidón de arroz

López (2019) señala que la base para elaborar engrudo de arroz es el arroz residual producto de los procesos de remoción del endocarpio en las plantas de refinamiento. El proceso para la elaboración del aglomerante se aplica mediante el uso de arrocillo, agua

y ácido bórico un conservante de fácil disolución en agua que controla la proliferación de hongos y bacterias, además de funcionar como un retardante al fuego.



(A) Agua. (B) Almidón de arroz. (C) Ácido bórico. (D) Engrudo.

FIGURA 2.8: Ingredientes para aglomerante de arroz. Fuente: autor

El arrocillo residual pasa por un proceso de trituración para transformarse en almidón, este estado del material permite que en la elaboración del engrudo las partículas alcancen su punto de gelatinización más rápido. De acuerdo con los autores [BeMiller y Whistler \(2012\)](#), y [Martínez et al. \(2017\)](#) coinciden que el almidón de arroz alcanza el punto de gelatinización en un rango de 60-75° C, adquiriendo de esta forma propiedades de adherencia; por este motivo la fase de cocción debe ser en este promedio de temperatura, para garantizar que el compuesto adquiera una plasticidad espesa, permitiendo tener mayor manejabilidad y adherencia con los materiales. Durante el proceso de cocción es importante mantener en movimiento constante la mezcla para evitar que el almidón se asiente por sedimentación y este se queme; al triturarse el arrocillo y convertirse en polvo permite que la cocción se realice en un período de 30-45 minutos, el engrudo estará listo cuando alcance el punto de gelatinización que generalmente sucede al mismo tiempo que alcanza el punto de ebullición, finalizado este proceso es recomendable reposar la sustancia en lapso de 20 minutos totalmente cubierto. Finalizado este periodo de tiempo el aglutinante debe ser aplicado en estado caliente para una mejor adherencia de los materiales.

Finalizado el proceso de elaboración se obtiene como resultado un aglomerante viscoso con una plasticidad espesa, que permite la adherencia con otros materiales, además de obtener un endurecimiento óptimo luego del período de secado.

Tabla 2.10: DOSIFICACIÓN AGLOMERANTE DE ALMIDÓN DE ARROZ

| Agua (ml) | Almidón de arroz (g) | Ácido bórico (g) |
|-----------|----------------------|------------------|
| 800       | 100                  | 1                |

## Elaboración de mezclas

Las fibras (paja de trigo, cascarilla de café) y elementos estabilizadores (arcilla, cal hidratada) se pesan de acuerdo a la dosificación en cada mezcla, posteriormente se efectúa la combinación de materiales con el engrudo en un estado caliente, con una temperatura aproximada entre 40°C - 50°C, ya que este método refuerza y mejora la adherencia del aglomerante con las fibras. El primer paso es mezclar el aglomerante con las fibras, para luego añadir arcilla y cal hidratada hasta obtener una consistencia homogénea. Se elaboraron 3 alternativas para una primera mezcla base, y se desarrollaron 6 probetas para realizar los ensayos de compresión y flexión simple.

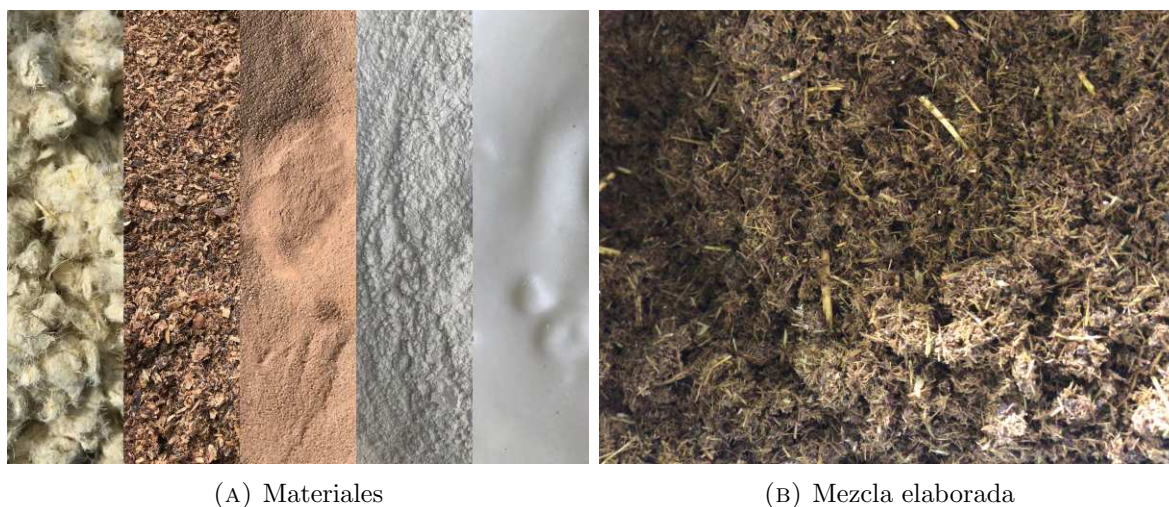


FIGURA 2.9: Elaboración de mezclas. Fuente: autor

Se diseñaron tres mezclas bases y para cada mezcla se elaboró dos dosificaciones diferentes. Las probetas P01 y P02 se componen de paja de trigo, cascarilla de café y engrudo de arroz; las muestras P03 y P04 se elaboraron a partir de la combinación de paja de trigo, cascarilla de café, arcilla, cal hidratada y engrudo de arroz; y las piezas P05 y P06 se componen de paja de trigo, cascarilla de café, arcilla y engrudo de arroz. Las proporciones de cada probeta se especifican dentro de la tabla 2.9.

Dentro de la primera fase de experimentación con las mezclas obtenidas se elaboraron piezas de ensayo cúbicas de 5 x 5 x 5 cm para los ensayos de compresión, y piezas rectangulares de 51 x 7.5 x 2 cm basándose en la norma ASTM-1037 (1999) para ensayos de flexión. Las probetas pasan por un proceso de secado en un horno eléctrico digital Pinzuar a una temperatura de 90 °C, durante un período de 5 horas.



(A) Probeta para compresión

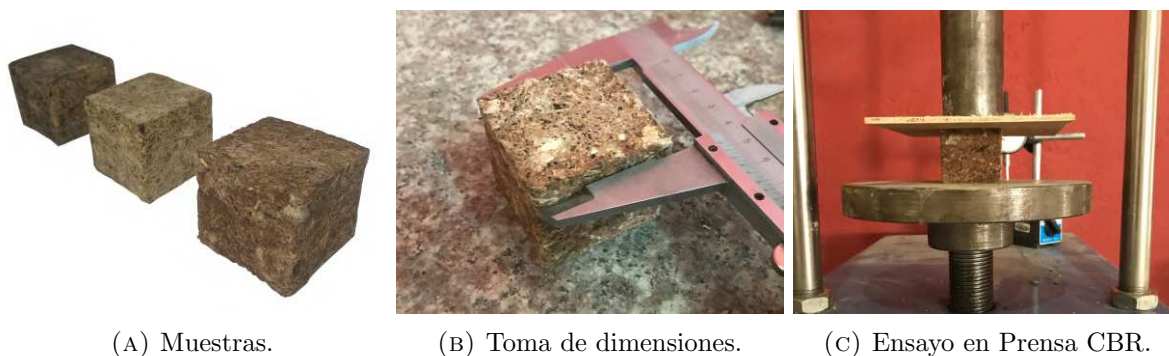
(B) Probeta para flexión

FIGURA 2.10: Piezas de ensayo para ensayos de laboratorio. Fuente: autor

### 2.10.2. Ensayo de compresión

Se elaboraron 6 probetas cúbicas de 50 mm de lado para determinar la resistencia a través del ensayo de rotura por compresión simple, basando en [NEC-SE-MD \(2014\)](#). Antes de realizar el ensayo de compresión las muestras pasan por un proceso de deshidratación en horno eléctrico en un lapso de tiempo de 5 horas a  $90^{\circ}\text{C}$ , y secado natural a la intemperie bajo cubierta, durante un período de 21 días. El proceso de deshidratación en horno se realiza para evitar el deterioro del elemento por cualquier factor que se encuentre en el ambiente, ya que la composición del material es orgánica; y el secado se aplica para que el elemento adquiera su máxima resistencia.

Previo a realizar el ensayo se debe registrar los datos de masa, volumen y dimensiones, como lo establece las normas para ensayos de materiales; siendo datos indispensables para el cálculo de la resistencia y densidad en cada probeta. El ensayo se ejecuta mediante una máquina para ensayos de compresión de resistencia de materiales CBR PR-05 con capacidad de 28 K.



(A) Muestras.

(B) Toma de dimensiones.

(C) Ensayo en Prensa CBR.

FIGURA 2.11: Preparación de muestras para ensayo de compresión. Fuente: autor

Tabla 2.11: RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN

| Muestra | Lado A<br>(cm) | Lado B<br>(cm) | Altura<br>(cm) | Peso<br>(g) | Densidad<br>(kg/cm <sup>3</sup> ) | Carga<br>(kg) | Resistencia<br>máxima<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|----------------|----------------|----------------|-------------|-----------------------------------|---------------|------------------------------------------------|
| P01     | 4.9            | 4.9            | 4.8            | 68.8        | 596.97                            | 526.82        | 21.90                                          |
| P02     | 4.9            | 4.95           | 4.9            | 71          | 597.39                            | 488.00        | 20.10                                          |
| P03     | 4.95           | 5              | 5              | 82.6        | 667.47                            | 824.45        | 33.30                                          |
| P04     | 4.9            | 4.9            | 4.7            | 82.6        | 731.96                            | 656.22        | 27.30                                          |
| P05     | 4.9            | 4.8            | 4.7            | 76.9        | 695.65                            | 552.70        | 23.50                                          |
| P06     | 4.9            | 4.9            | 4.8            | 87.2        | 756.63                            | 423.29        | 17.60                                          |

En la Tabla 2.11 se detallan los resultados obtenidos en las probetas P01, P02, P03, P04, P05 y P06; donde se muestra el peso, densidad del material y la resistencia a la compresión. Se determina que todas las muestras están por encima del mínimo requerido de acuerdo a la norma (15.29 kg/cm<sup>2</sup>), sin embargo, la dosificación P03 obtuvo la mayor resistencia (33.30 kg/cm<sup>2</sup>), por encima del grupo B (28.55 kg/cm<sup>2</sup>).



(A) Muestra P01

(B) Muestra P03

(C) Muestra P05

FIGURA 2.12: Muestras tras ensayo de compresión. Fuente: autor

### 2.10.3. Ensayos de flexión

Se elaboraron 6 probetas rectangulares bajo la norma [ASTM-1037 \(1999\)](#) “*Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials*” con dimensiones de 51 x 7.5 x 2 cm para determinar la resistencia a través del ensayo de rotura por flexión simple, basando en la norma colombiana [NTC:2261 \(2003\)](#) “*Tableros de partículas aglomeradas para aplicaciones de interiores no estructurales*”. Las muestras son deshidratadas en horno eléctrico en un período de 5 horas a 90°C y secadas a la intemperie bajo cubierta, hasta un período de 21 días para realizar el ensayo de flexión; el ensayo se ejecuta en una máquina para ensayos de compresión de resistencia de materiales CBR PR-05 con capacidad de 28 K, sin embargo, de acuerdo a las proporciones de las piezas de ensayo con respecto a la máquina, fue necesario reducir la longitud de las muestras.



FIGURA 2.13: Preparación de muestras para ensayo de flexión. Fuente: autor

El ensayo de rotura por flexión se realiza en la misma prensa mencionada anteriormente, colocando dos apoyos cilíndricos de 1.5 cm de diámetro, a 2.5 cm de cada extremo de la probeta, y un tercer apoyo colocado en el centro de la muestra para aplicar la fuerza de la prensa. Es importante antes de realizar el ensayo registrar los datos de masa y dimensiones, como lo establece las normas para ensayos de materiales; siendo datos importantes para determinar el módulo de rotura y densidad en cada probeta.

Tabla 2.12: RESULTADOS DE ENSAYOS A FLEXIÓN

| Muestra | Largo<br>(cm) | Ancho<br>a (cm) | Espesor<br>e (cm) | Luz L<br>(cm) | Peso<br>(g) | Densidad<br>(kg/cm <sup>3</sup> ) | Carga<br>(kg) | Módulo<br>Rotura<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|---------------|-----------------|-------------------|---------------|-------------|-----------------------------------|---------------|-------------------------------------------|
| P01     | 20.1          | 8.1             | 1.6               | 14.4          | 215.8       | 828.42                            | 8.62          | 8.96                                      |
| P02     | 20            | 8.1             | 1.9               | 14.5          | 209.5       | 680.64                            | 8.62          | 6.40                                      |
| P03     | 19.9          | 8.1             | 1.8               | 14.5          | 180         | 620.39                            | 14.06         | 11.64                                     |
| P04     | 19.9          | 8.1             | 1.8               | 14.5          | 210.4       | 725.16                            | 7.26          | 6.01                                      |
| P05     | 19.9          | 8               | 1.7               | 14.5          | 228.4       | 843.93                            | 8.16          | 7.67                                      |
| P06     | 20            | 8.1             | 1.9               | 14.5          | 252.3       | 819.69                            | 7.26          | 5.39                                      |

Dentro de la Tabla 2.12 se detallan los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la flexión en las muestras; donde se muestra el peso, densidad del material y módulo de rotura. Los resultados obtenidos en el ensayo no cumplen con los parámetros de resistencia mínimo dentro de las normas NTC:2261 (2003) y ANSI-208.1 (1999), no obstante, la muestra P03 se destaca, presentando mayor resistencia de lo estipulado en la normativa (11.64 kg/cm<sup>2</sup>).



FIGURA 2.14: Muestras tras ensayo de flexión. Fuente: autor

#### 2.10.4. Análisis de resultados Fase 1

Dentro de los ensayos a compresión se observó que todas las probetas muestran buenas propiedades de resistencia y densidad, sin embargo, las que contienen arcilla y cal hidratada, mostraron los mejores resultados de resistencia. Por otro lado, los resultados que presentan los ensayos a flexión no lograron alcanzar la resistencia mínima requerida por la normativa, no obstante, las muestras con contenido de arcilla y cal hidratada también obtuvieron los mejores resultados al módulo de rotura.

Luego de analizar estos parámetros físico-mecánicos, y tomando en consideración que la metodología adoptada en esta primera fase de experimentación es netamente empírica, se optó como mezcla base la formulación de la probeta P03, por ser la muestra que presentó los mejores resultados a la compresión ( $33.30 \text{ kg/cm}^2$ ) y flexión ( $11.64 \text{ kg/cm}^2$ ). Esta mezcla base es la que se desarrolla y mejora sus características físicas y mecánicas en la segunda fase de experimentación.

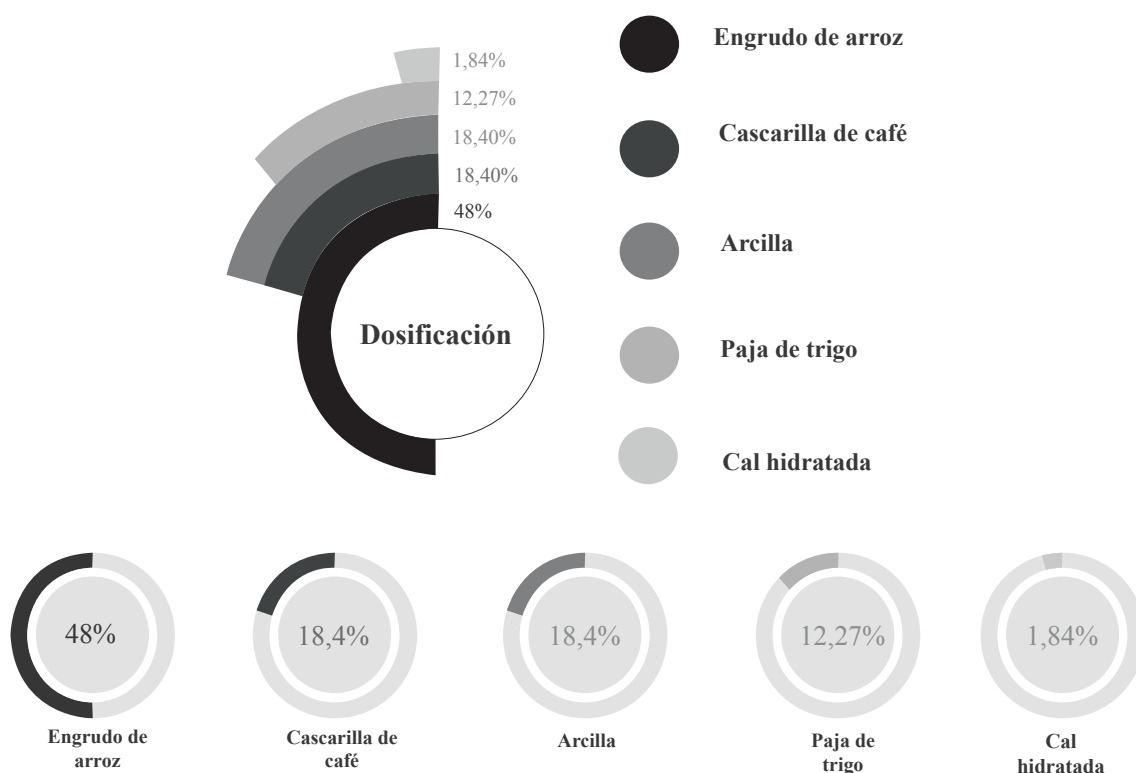


FIGURA 2.15: Porcentajes de dosificación en muestra P03. Fuente: autor

## 2.11. Diseño experimental. Fase 2

### 2.11.1. Mezcla y dosificación de materiales

La primera fase de experimentación fue necesaria para determinar el proceso de producción del panel y la mezcla base, en donde los resultados en las dosificaciones de la muestra P03 compuesta por paja de trigo, cascarilla de café, arcilla, cal hidratada y aglomerante de engrudo de arroz obtuvieron los mejores resultados en los ensayos mecánicos.

Para el desarrollo de las dos fases de experimentación, se utilizó como componentes principales la cascarilla de café obtenida de fincas cafeteras en la región de Santa Isabel, y la paja de trigo obtenida en el INIAP en el cantón Gualaceo. Las fibras tienen un tratamiento previo mediante un proceso de sumersión en una mezcla de agua compuesta de ácido bórico y bórax, proceso descrito en el apartado 2.7

Las mezclas se preparan en recipientes metálicos o plásticos, mezclando la paja de trigo y cascarilla de café con el aglomerante, luego se agrega la arcilla y la cal hidratada hasta obtener una mezcla homogénea, todo este proceso se realiza a mano. Para una mejor

homogenización de los materiales, es recomendable el uso de una mezcladora eléctrica. El proceso de secado y endurecimiento se aplica en horno eléctrico para mantener una temperatura continua y obtener la resistencia máxima.

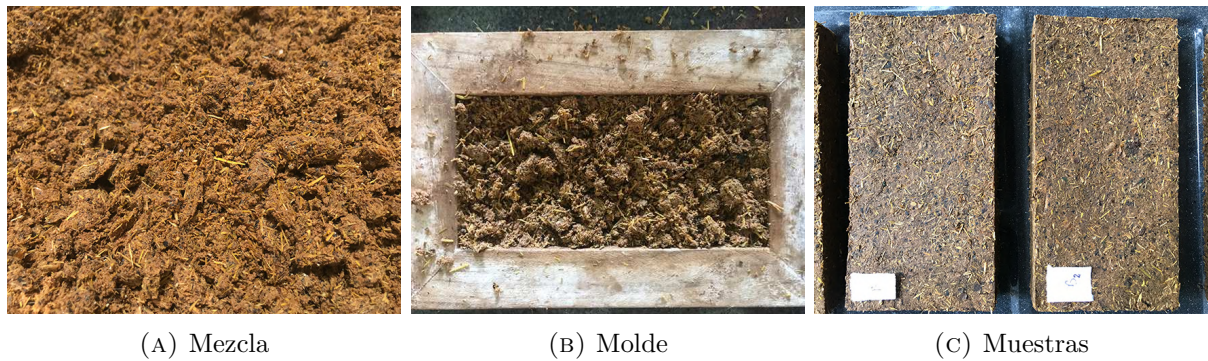


FIGURA 2.16: Elaboración de muestras. Fuente: autor

Se fabricaron moldes de maderas para elaborar muestras de 7.6 cm x 15 cm y espesor de 2.5 cm, medidas basadas en la experimentación y normas del apartado 2.10.3. Las dosificaciones fueron aumentando secuencialmente sus cantidades en los diferentes componentes, partiendo de la mezcla base; a estas muestras se asignaron una nueva nomenclatura A1, B1, B2 y B3 respectivamente, la tabla 2.13 muestra la composición de cada una.

Tabla 2.13: DOSIFICACIONES DE MUESTRAS

| Muestra | Fibra Vegetal     |      |                        |    | Estabilizador  |    |            |     | Aglutinante           |    |
|---------|-------------------|------|------------------------|----|----------------|----|------------|-----|-----------------------|----|
|         | Paja<br>trigo (g) | %    | Cascarilla<br>café (g) | %  | Arcilla<br>(g) | %  | Cal<br>(g) | %   | Engrudo<br>arroz (ml) | %  |
| A1      | 200               | 12.2 | 300                    | 18 | 300            | 18 | 40         | 2.4 | 800                   | 49 |
| B1      | 200               | 10.9 | 300                    | 16 | 300            | 16 | 40         | 2.2 | 1000                  | 54 |
| B2      | 300               | 13.1 | 350                    | 15 | 400            | 17 | 40         | 1.7 | 1200                  | 52 |
| B3      | 400               | 13.4 | 400                    | 13 | 500            | 17 | 40         | 2.7 | 1600                  | 54 |

### 2.11.2. Determinación de la densidad

Basado en la norma NTC:2261 (2003) se elaboró un molde de madera con dimensiones de 15 x 15 cm, para fabricar 4 muestras de acuerdo a las dosificaciones planteadas; las cuales siguieron un proceso de deshidratación descrito en el apartado 2.10.2. Para obtener los valores de densidad y siguiendo los procesos que describe la norma NTE-INEN:897 (2013), se tomaron las dimensiones de las probetas con un calibrador, para determinar largo, ancho y espesor; además se obtuvo el peso mediante una balanza.

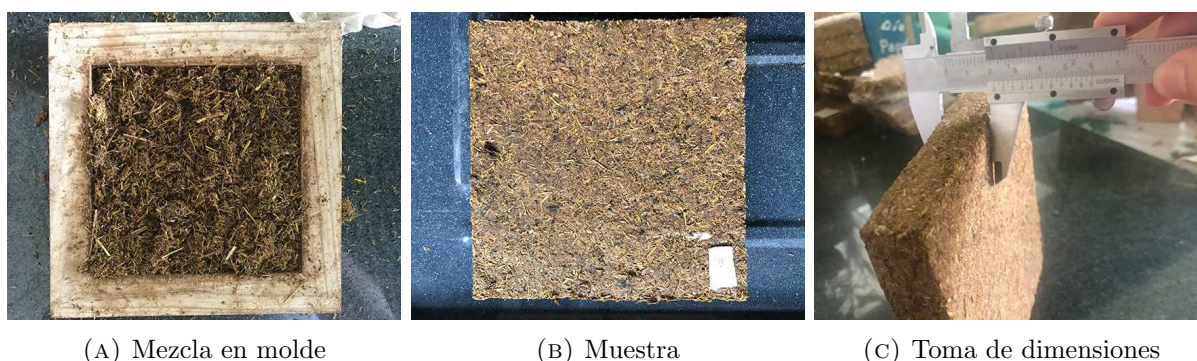


FIGURA 2.17: Elaboración de muestras para ensayos de densidad. Fuente: autor

De acuerdo a los cálculos realizados en la tabla 2.14 según demanda la norma [NTC:2261 \(2003\)](#), las densidades de las muestras B2 ( $906.36 \text{ kg/m}^3$ ) y B3 ( $821.75 \text{ kg/m}^3$ ) son mayores a los valores de  $800 \text{ kg/m}^3$ , y se los considera tableros de alta densidad; por otro lado, las muestras A1 ( $778.13 \text{ kg/m}^3$ ) y B1 ( $757.74 \text{ kg/m}^3$ ), son considerados tableros de densidad media por mantenerse en un rango de  $500\text{-}800 \text{ kg/m}^3$ .

Tabla 2.14: RESULTADOS DE DENSIDAD

| Muestra | Lado A<br>(cm) | Lado B<br>(cm) | Espesor<br>(cm) | Volumen<br>( $\text{cm}^3$ ) | Masa<br>(g) | Densidad<br>( $\text{kg/m}^3$ ) |
|---------|----------------|----------------|-----------------|------------------------------|-------------|---------------------------------|
| A1      | 14.62          | 14.73          | 2.10            | 452.24                       | 351.9       | 778.13                          |
| B2      | 14.56          | 14.73          | 2.15            | 461.11                       | 349.4       | 757.74                          |
| B3      | 14.70          | 14.50          | 2.10            | 447.62                       | 405.7       | 906.36                          |
| B4      | 14.71          | 14.56          | 2.15            | 460.48                       | 3784        | 821.75                          |

### 2.11.3. Determinación del contenido de humedad

Para determinar el contenido de humedad se elaboraron muestras con las mismas dimensiones para determinar la densidad ( $15 \times 15 \text{ cm}$ ), según lo establece la norma [NTC:2261 \(2003\)](#). Sin embargo, la norma [NTE-INEN:896 \(2013\)](#) especifica las condiciones para realizar el método de ensayo, previamente las muestras deben ser deshidratadas por completo en un período de 4 horas a  $90^\circ \text{ C}$ , dentro de un horno eléctrico.

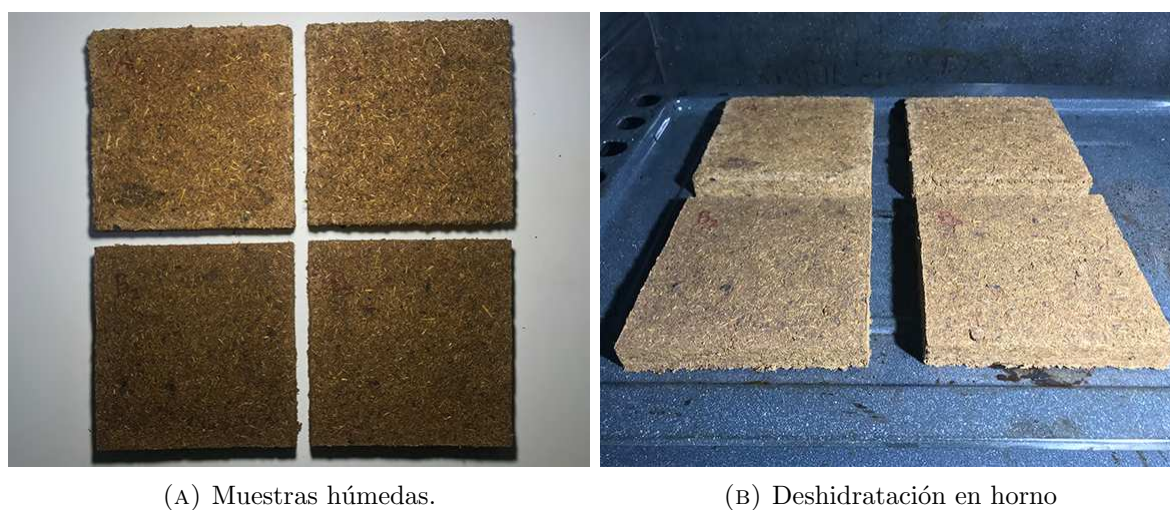


FIGURA 2.18: Ensayo contenido de humedad. Fuente: autor

Se determina el primer peso antes de ingresar las muestras al horno, luego las muestras son deshidratadas a una temperatura constante de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ; finalmente se determina el segundo peso luego de enfriar las piezas. Los resultados muestran la pérdida de masa en las muestras de ensayo antes y después del secado. Aplicada la fórmula según la norma y de acuerdo a los resultados en la tabla 2.15, se observa que las muestras presentan un contenido de humedad del 4.38 al 5.29 %, por ende cumple con la norma ANSI-208.1 (1999) donde señala que el contenido de humedad permitido en tableros no revestidos debe absorber entre el 4-10 %.

Tabla 2.15: RESULTADOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD

| Muestra | Peso húmedo (g) | Peso seco (g) | Contenido de humedad (%) |
|---------|-----------------|---------------|--------------------------|
| A1      | 438.2           | 351.9         | 4.38                     |
| B2      | 434.8           | 349.4         | 4.35                     |
| B3      | 529.3           | 405.7         | 5.29                     |
| B4      | 509.9           | 378.4         | 5.10                     |

#### 2.11.4. Ensayo de módulo de rotura

Con los resultados obtenidos en el módulo de rotura de la muestra P03 se elaboraron 4 muestras bajo las mismas normas anteriores, sin embargo, debido a las dimensiones de la máquina en el ensayo anterior fue necesario recortar las piezas, por lo tanto, para esta fase se elaboró otro molde de madera con dimensiones 7,5 x 15 x 2,5 cm. La resistencia del ensayo de módulo de rotura se aplica mediante la norma colombiana NTC:2261 (2003) “Tableros de partículas aglomeradas para aplicaciones de interiores no estructurales”. Las muestras siguen el mismo proceso de deshidratación y secado descrito en la fase 1, y se realiza el ensayo dentro de los laboratorios de la Universidad Católica de Cuenca, mediante el uso de la misma máquina para ensayos de compresión CBR PR-05.

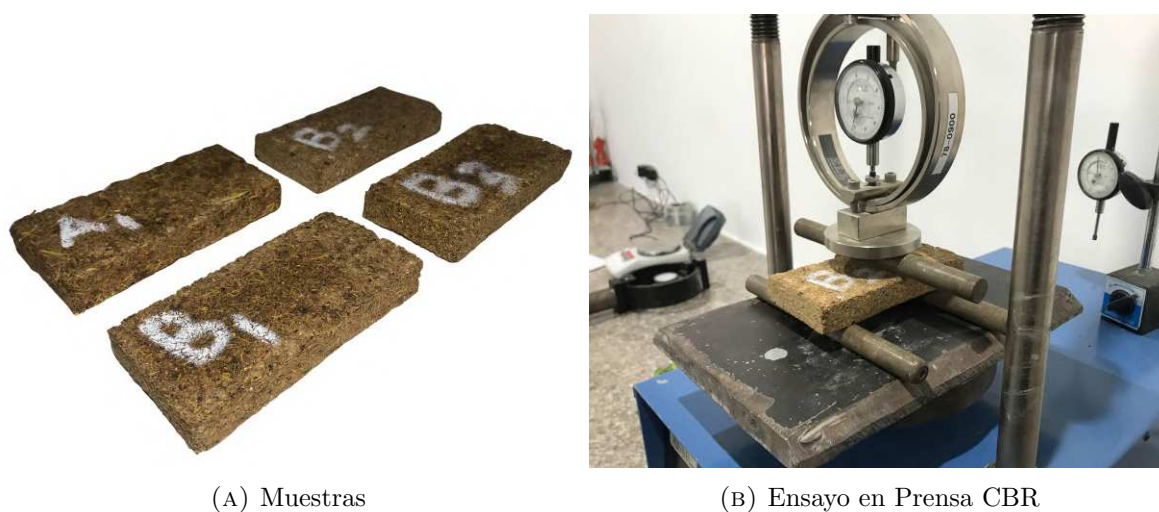


FIGURA 2.19: Preparación de muestras para ensayo de flexión. Fuente: autor

En la tabla 2.16 se puede observar los datos registrados antes del ensayo y los resultados obtenidos luego del ensayo.

Tabla 2.16: RESULTADOS DE ENSAYOS A FLEXIÓN

| Muestra | Largo<br>(cm) | Ancho<br>a (cm) | Espesor<br>e (cm) | Luz L<br>(cm) | Peso<br>(g) | Densidad<br>(kg/cm <sup>3</sup> ) | Carga<br>(kg) | Módulo<br>Rotura<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|---------------|-----------------|-------------------|---------------|-------------|-----------------------------------|---------------|-------------------------------------------|
| A1      | 14.8          | 7.3             | 2.3               | 9.8           | 157.3       | 633.02                            | 27.66         | 10.52                                     |
| B2      | 14.6          | 7.2             | 2.2               | 9.6           | 161.1       | 696.61                            | 41.27         | 17.03                                     |
| B3      | 14.6          | 7.15            | 2.2               | 9.6           | 156.7       | 682.32                            | 81.63         | 33.92                                     |
| B4      | 14.65         | 7.2             | 2.3               | 9.65          | 168.4       | 694.14                            | 72.56         | 27.54                                     |

Los resultados obtenidos en las muestras A1, B1 Y B3 no cumplen con los parámetros de resistencia mínimo dentro de las normas [NTC:2261 \(2003\)](#) y [ANSI-208.1 \(1999\)](#), sin embargo, la muestra B2 con una resistencia de 33.92 kg/cm<sup>2</sup> sobrepasa la resistencia mínima establecida en el grado LD1 (30.5 kg/cm<sup>2</sup>) dentro de la norma [ANSI-208.1 \(1999\)](#).

### 2.11.5. Análisis térmico

En las últimas décadas la aplicación de nuevas e innovadoras técnicas constructivas, el aprovechando de las propiedades de resistencia en los materiales y el creciente uso del hormigón ha generado dentro del diseño la reducción de espesores en muros, tabiques y techos, aumentando la permeabilidad al calor; resultado de esto se obtiene una pérdida de calorías durante el invierno y aumento en verano, lo cual debe ser solucionado con una instalación de calefacción, elevando considerablemente el costo de la vivienda y el consumo energético ([Payá y Peinado, 2005](#)).

Para dar respuesta a los efectos de permeabilidad térmica y un manejo adecuado en

el confort térmico de la vivienda es importante el uso de elementos aislantes, ejemplo de estos está el uso de materiales como lanas minerales, espumas plásticas, poliestireno, fibras vegetales, entre otros. El elemento constructivo desarrollado dentro de esta investigación al contener elementos de origen vegetal, puede considerarse como aislante térmico, por tal motivo se realizan ensayos para analizar el nivel de aislamiento.

La [NEC-11 \(2011\)](#) define el aislamiento térmico como *“la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción”* y la [NTE-INEN:2506 \(2009\)](#) lo señala como *“material utilizado para disminuir el flujo de calor, caracterizado por su bajo coeficiente de conductividad térmica”*; es decir, es un elemento capaz de evitar que el calor pase hacia el espacio interior donde se lo coloque, permitiendo crear un ambiente hermético; no obstante, el ensayo tendrá por objetivo determinar el coeficiente de conductividad térmica del elemento constructivo.

El objetivo principal de usar elementos aislantes en la vivienda es alcanzar el confort térmico, que según la [NEC-11 \(2011\)](#) va a estar en función de ciertos parámetros externos e internos temperatura del aire, velocidad del viento, humedad relativa; y actividad física o el metabolismo del usuario. Basándose en todos estos factores previo a realizar el ensayo se debe realizar un estudio climatológico del lugar.

### **Estudio climatológico**

La climatología es una de las ramas científicas dentro del estudio del clima, analiza las variables del clima en relación al lugar y distribución espacial y el vínculo que tiene con respecto a vegetación, cultivos o el hombre; y el clima se define basándose en las variables físicas como temperatura, humedad, presión, viento, entre otros, sobre un territorio ([García, 2012](#)).

Según la [NEC-11 \(2011\)](#) con datos climatológicos establecidos por el IMAMHI, el país agrupa seis zonas térmicas de acuerdo a los rangos de temperatura. La zona del austro ecuatoriano se encuentra dividida entre las zonas ZT3 (14-18°C) y ZT4 (18-22°C), a excepción de la zona de El Cajas que se encuentra dentro de la ZT1 (6-10°C). Para el análisis térmico realizado en el presente trabajo de investigación dentro de la ciudad de Cuenca, se consideraron los rangos de temperatura de 14 – 22 °C.

### **Montaje de módulo**

Con el objetivo de recrear un espacio interior hermético a escala, se elaboró un módulo cúbico de 30 x 30 x 30 cm estructurado con tiras de madera de 3 x 3 cm sobre una base de playwood, y recubierto por 5 placas del material experimental, anclados mediante tornillos autorroscantes; este dimensionamiento debido a las medidas del tablero. Con la finalidad de garantizar que se encuentre hermético en el interior del módulo; en las uniones y las juntas se aplicó una espuma de poliuretano de alto poder expansivo para fijaciones, aislamiento y relleno.



FIGURA 2.20: Montaje de módulo experimental. Fuente: autor

### Análisis de conductividad térmica

Para que un material pueda ser considerado como aislante térmico dentro de sus propiedades debe tener la capacidad de evitar la pérdida de calor interno o penetración de calor externo en el transcurso del tiempo, manteniendo un coeficiente de conductividad térmica bajo. Para la aplicación del análisis de conductividad se analizó varios conceptos y fórmulas que se tomaron en consideración para determinar los valores de su comportamiento.

**Calor.** Se define como la expresión de la energía interna de un cuerpo debido a una elevación de temperatura y procedente de la transformación de otras energías, es decir, el calor es la propagación de un punto de temperatura más elevado hacia otro más bajo (Sastre y Muñoz, 2010).

**Coefficiente de convección.** Gendelis y Jakovičs (2003) expresan que el coeficiente de transmisión o convección de calor es el resultado del comportamiento y la intensidad de los flujos de aire o energía calorífica entre un muro y el aire exterior-interior y viceversa.

Este valor se encuentra relacionado con las condicionantes del aire, posición y forma de las superficies, por tal, el coeficiente de convección promedio es  $a= 8.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

**Potencia calorífica.** Este parámetro mide la energía térmica transmitida por unidad de tiempo que pasa una superficie cuando entre los aires de una y otra cara hay una diferencia de temperatura (Serra Florensa y Coch Roura, 2004). La potencia calorífica se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Q = a \times S \times (T1 - T2)$$

, en donde:

$Q$ = potencia calorífica

$a$ = coeficiente de convección

$S$ = área de superficie

$T1$ = temperatura 1

$T2$ = temperatura 2

**Resistencia térmica.** Es el resultado proporcional de la resistencia a la transmisión térmica en una superficie. Se define mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{(T1 - T2)}{Q}$$

, en donde:

$Q$ = potencia calorífica

$R$ = resistencia térmica

$T1$ = temperatura superficie 1

$T2$ = temperatura superficie 2

$Q$ = potencia calorífica

**Conductividad térmica.** López (2019) y Peña (2016) señalan que el coeficiente de conductividad térmica ( $\lambda$ ) se define por la cantidad de energía calorífica que atraviesa la superficie de un muro con un espesor determinado ( $d$ ) en un período de tiempo con diferencias de temperaturas interior y exterior; este valor se mide en vatios por metro-kelvin ( $\text{W/m}^\circ\text{K}$ ).

$$\lambda = \frac{d}{(R - S)}$$

, en donde:

$\lambda$ = conductividad térmica

$d$ = espesor

$R$ = resistencia térmica

$S$ = área de superficie

## Metodología y ensayos de análisis térmico

Para realizar los ensayos de análisis térmicos se tomo como referencia la investigación realizada por Peña (2016) “Paneles prefabricados a base de fibras naturales”, en donde se realizan pruebas con un módulo experimental al interior y exterior. Para las pruebas realizadas se utilizaron dos anemómetros digitales Holdpeak 846A, equipos con la capacidad para determinar las condiciones del entorno como temperatura y velocidad del viento; y un pirómetro digital Etekcity lasergrip 800, instrumento termómetro que permite obtener la temperatura en superficies.

Dentro de la metodología aplicada se realizaron dos ensayos, el primero evalúa el comportamiento térmico del módulo experimental y el segundo determina la conductividad térmica en el elemento modular. Las pruebas fueron realizadas durante los primeros días del mes de octubre del 2020 en la ciudad de Cuenca dentro de la parroquia de Ricaurte.

El primer ensayo fue realizado en los días 04 y 06 de octubre tomando datos desde las 8h00 am hasta las 19h00 pm, durante estos días se reportó lluvia el día 04 entre la 13h00 y las 14h00. El módulo experimental fue emplazado al exterior colocando un anemómetro al interior de este para determinar la temperatura de aire interior; el segundo anemómetro se utilizó para conocer la temperatura del aire exterior; el pirómetro se uso para saber la temperatura del tablero interior y exterior. Se analizó la cara con nomenclatura C2 tomando datos en un lapso de cada 15 minutos; previo al análisis se determinó el recorrido del sol mediante una aplicación denominada Sun Surveyor.

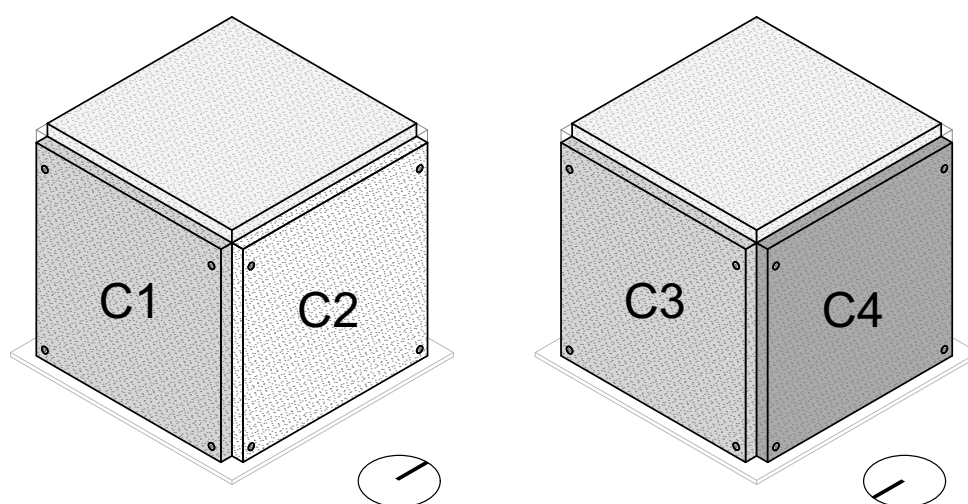
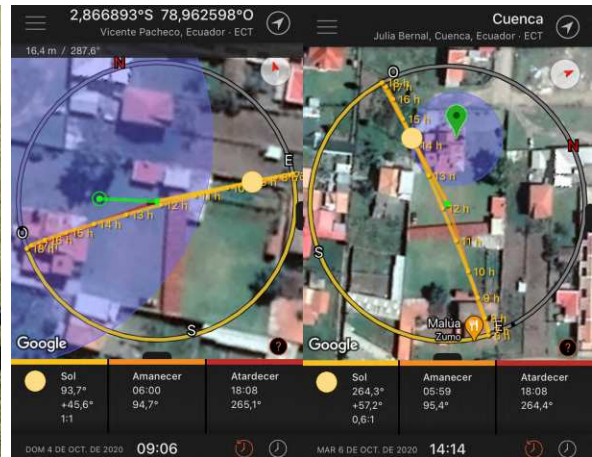


FIGURA 2.21: Nomenclatura de superficies. Fuente: autor



(A) Emplazamiento de módulo



(B) Recorrido del sol



(C) Anemómetro interior



(D) Anemómetro exterior



(E) Datos superficie interior



(F) Datos superficie exterior

FIGURA 2.22: Proceso de ensayo 1. Fuente: autor

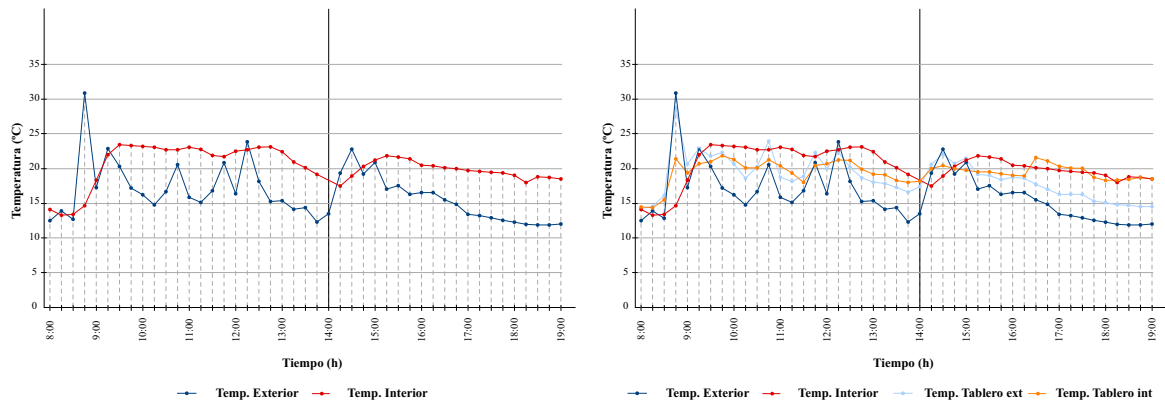
En los resultados del comportamiento en el módulo experimental se observó a partir de las 8h00 am hasta las 8h30 am un aumento de temperatura de los 12.6 °C a los 30.8°C, a partir de las 9h00 am hasta las 12h45 pm, existieron variaciones de aumento y

disminuciones en el ambiente tomando como la temperatura mínima 14.9 °C a las 10h15 am y la temperatura máxima 23.7 °C a las 12h15 pm; en el transcurso de la tarde hasta las 14h00 pm la temperatura descendió a los 13.3 °C. A partir de las 14h15 pm el punto más alto se registró a las 14h30 pm con una temperatura de 22.6 °C y posteriormente empezó a descender a los 11.9 °C a las 19h00 pm.

Tabla 2.17: RESUMEN DE DATOS DE ENSAYO EN ANÁLISIS TÉRMICO A CADA MEDIA HORA

| Fecha           | Hora           | TAE (°C)     | TAI (°C)     | TTE (°C)     | TTI (°C)     | VVE (m/s)   |
|-----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 04 oct<br>2020  | 8h00           | 12.6         | 14.2         | 14.2         | 14.4         | 0.456       |
|                 | 8h30           | 13.0         | 13.4         | 16.1         | 15.5         | 0.804       |
|                 | 9h00           | 17.5         | 18.3         | 20.8         | 19.5         | 0.071       |
|                 | 9h30           | 20.4         | 23.4         | 22.0         | 21.1         | 0.383       |
|                 | 10h00          | 16.3         | 23.2         | 20.9         | 21.5         | 0.262       |
|                 | 10h30          | 16.6         | 22.7         | 20.3         | 20.2         | 0.000       |
|                 | 11h00          | 15.8         | 23.2         | 19.0         | 20.5         | 0.267       |
|                 | 11h30          | 16.5         | 22.0         | 18.6         | 18.2         | 0.493       |
|                 | 12h00          | 16.5         | 22.6         | 20.2         | 20.7         | 0.328       |
|                 | 12h30          | 18.3         | 23.0         | 20.6         | 21.3         | 0.245       |
|                 | 13h00          | 15.2         | 22.6         | 18.2         | 19.3         | 0.585       |
|                 | 13h30          | 14.3         | 20.2         | 17.5         | 18.4         | 0.641       |
|                 | 14h00          | 13.3         | 18.4         | 17.4         | 18.1         | 0.000       |
|                 | 06 oct<br>2020 | 14h30        | 22.6         | 18.6         | 22.2         | 20.5        |
| 15h00           |                | 20.8         | 21.3         | 21.3         | 19.9         | 1.115       |
| 15h30           |                | 17.4         | 21.7         | 19.2         | 19.6         | 1.605       |
| 16h00           |                | 16.5         | 20.6         | 18.8         | 19.2         | 0.216       |
| 16h30           |                | 15.5         | 20.2         | 18.1         | 21.7         | 1.037       |
| 17h00           |                | 13.5         | 19.8         | 16.6         | 20.5         | 0.855       |
| 17h30           |                | 13.0         | 19.5         | 16.3         | 20.1         | 0.723       |
| 18h00           |                | 12.4         | 19.1         | 15.2         | 18.4         | 0.119       |
| 18h30           | 11.9           | 18.8         | 14.7         | 18.5         | 0.000        |             |
| 19h00           | 11.9           | 18.5         | 14.3         | 18.7         | 0.000        |             |
| <b>Promedio</b> |                | <b>16.35</b> | <b>20.28</b> | <b>18.84</b> | <b>19.56</b> | <b>0.39</b> |

Dentro del análisis en el interior del módulo experimental se pudo observar que la temperatura se elevó a las 9h30 am a los 23.4 °C y se mantuvo constante a lo largo del día teniendo un promedio de 20.28 °C, es decir, se logra conservar en calor interno del módulo experimental.



(A) Temperaturas de aire exterior e interior

(B) Temperaturas de aire y superficies

FIGURA 2.23: Análisis de temperaturas en el módulo experimental. Fuente: autor

El segundo ensayo, se realizó el día 06 de octubre en un período de 30 minutos, el cual nos permite determinar el coeficiente de conductividad térmica en el elemento modular, aplicando un método que consiste en emitir calor desde el interior del módulo experimental utilizando un calentador eléctrico de 1500 W. Igual que en el ensayo anterior se utilizaron dos anemómetro, uno al interior del módulo y el otro al exterior para determinar las temperaturas de aire; el pirómetro se usó para determinar la temperatura de la superficie del tablero C4 interior y exterior como se muestra en la figura 2.21; el muestreo de datos se realizó en lapsos de cada 5 minutos.



(A) Calentador eléctrico



(B) Instalación equipos interior



(C) Anemómetro interior



(D) Anemómetro exterior



(E) Temperatura superficie interior



(F) Temperatura superficie exterior

FIGURA 2.24: Análisis de conductividad térmica. Fuente: autor

La temperatura inicial del ambiente se registro en 12.6 °C., posteriormente se encendió el calentador hasta alcanzar una temperatura aproximada de 30 °C la cual permaneció constante en el interior hasta finalizado el ensayo en un promedio 30°C, mientras que

al exterior se registró un promedio de 12.52 °C.

Tabla 2.18: ANÁLISIS Y CÁLCULO DE COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

| Hora            | TAE (°C)     | TAI (°C)     | TTE (°C)     | TTI (°C)     | $Q$          | $R$         | $\lambda$   |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| 19h10           | 12.6         | 31.1         | 16.0         | 24.3         | 12.59        | 0.66        | 0.03        |
| 19h15           | 12.5         | 30.8         | 17.6         | 23.0         | 12.45        | 0.43        | 0.05        |
| 19h20           | 12.6         | 29.4         | 18.2         | 22.1         | 11.43        | 0.34        | 0.07        |
| 19h25           | 12.5         | 29.8         | 16.6         | 23.2         | 11.77        | 0.56        | 0.04        |
| 19h30           | 12.4         | 28.9         | 17.8         | 22.0         | 11.23        | 0.37        | 0.06        |
| <b>Promedio</b> | <b>12.52</b> | <b>30.00</b> | <b>17.24</b> | <b>22.92</b> | <b>11.89</b> | <b>0.48</b> | <b>0.05</b> |

Luego de obtener los datos en el ensayo se calcula el coeficiente de conductividad térmica aplicando las formulas descritas anteriormente; para lo cual en primer instancia se calculó la potencia calorífica ( $Q$ ) y la resistencia térmica ( $R$ ) para finalmente obtener el coeficiente de conductividad térmica ( $\lambda$ ). El calculo se lo aplica para cada dato tomando en el lapso de 5 minutos y se realiza un promedio con los 5 datos obtenido, el cual nos da como resultado un coeficiente conductividad térmica en el tablero de  $\lambda= 0,05 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ . Ver anexo 2.

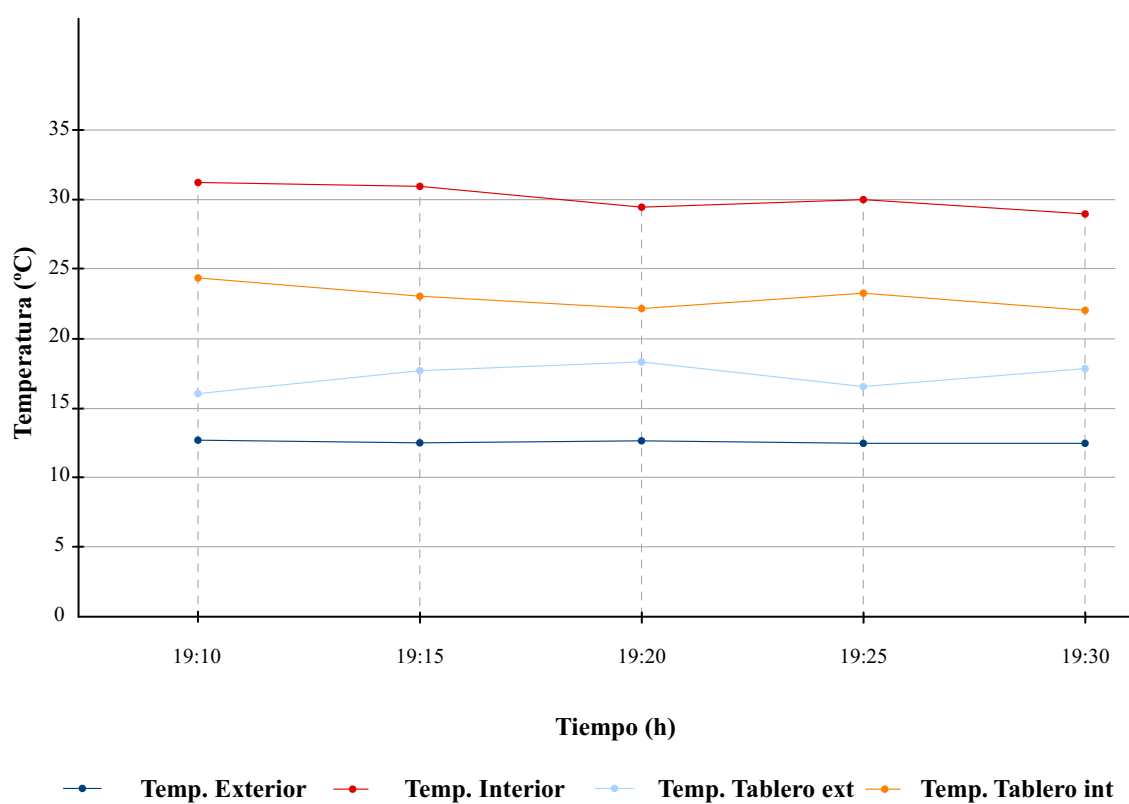


FIGURA 2.25: Análisis de aislamiento térmico. Fuente: autor

Según como lo indica la [NEC-11 \(2011\)](#) para que un material sea considerado como aislante térmico su coeficiente de conductividad térmica ( $\lambda$ ) debe ser inferior a  $0.085 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ ; es decir, el elemento modular presenta buenas características térmicas al encontrarse en un promedio de  $0.05 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$  como lo establece la normativa.

Por otro lado dentro de la norma [NTE-INEN:2506 \(2009\)](#) establece una lista de materiales con sus coeficientes de conductividad térmica como se muestra en la tabla 2.19. En comparación de los materiales convencionales, el material propuesto de fibra de trigo y cascarilla de café presenta características dentro de los rangos establecidos.

Tabla 2.19: COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES FUENTE: [NTE-  
INEN:2506 \(2009\)](#)

| Material         | Conductividad térmica ( $\text{W/m}^{\circ}\text{K}$ ) |
|------------------|--------------------------------------------------------|
| Lana mineral     | 0.035                                                  |
| Espuma sintética | 0.03                                                   |
| Corcho           | 0.028                                                  |
| Fibras de madera | 0.05                                                   |

### 2.11.6. Análisis de resultados fase 2

Concluidos los ensayos dentro de la fase 2 se pudo observar y determinar la dosificación final del elemento constructivo de acuerdo a los análisis aplicados. Dentro de los ensayos realizados para la determinación de la densidad se pudo clasificar las muestras como tableros de media y alta densidad; el contenido de humedad presentó resultados en un rango de  $4.35\%$  -  $5.29\%$  encontrándose dentro de los parámetros establecidos por la normativa. En los ensayos de módulo de rotura o flexión se observó que todas las muestras superaron la resistencia establecida dentro de la fase 1, sin embargo, únicamente la muestra B2 ( $33.92 \text{ kg/cm}^2$ ) se encuentra dentro de los parámetros mínimos establecidos en la norma [ANSI-208.1 \(1999\)](#) ( $30.5 \text{ kg/cm}^2$ ).

La muestra B2 fue sometida al análisis térmico demostrando un buen comportamiento como aislante. Dentro de los ensayos aplicados se puede observar en la figura 2.22 el comportamiento del módulo con los elementos modulares, concluyendo que existe un buen aislamiento térmico, a medida que la temperatura externa fue variando con respecto a la interior existe una diferencia de  $3.93 \text{ }^{\circ}\text{C}$  promedio. El coeficiente conductividad térmica en el material es de  $0.05 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ .

Analizados estos parámetros físico-mecánicos y finalizadas las dos etapas de experimentación como resultado final se puede establecer la mezcla B2 como óptima para la producción de elementos modulares.

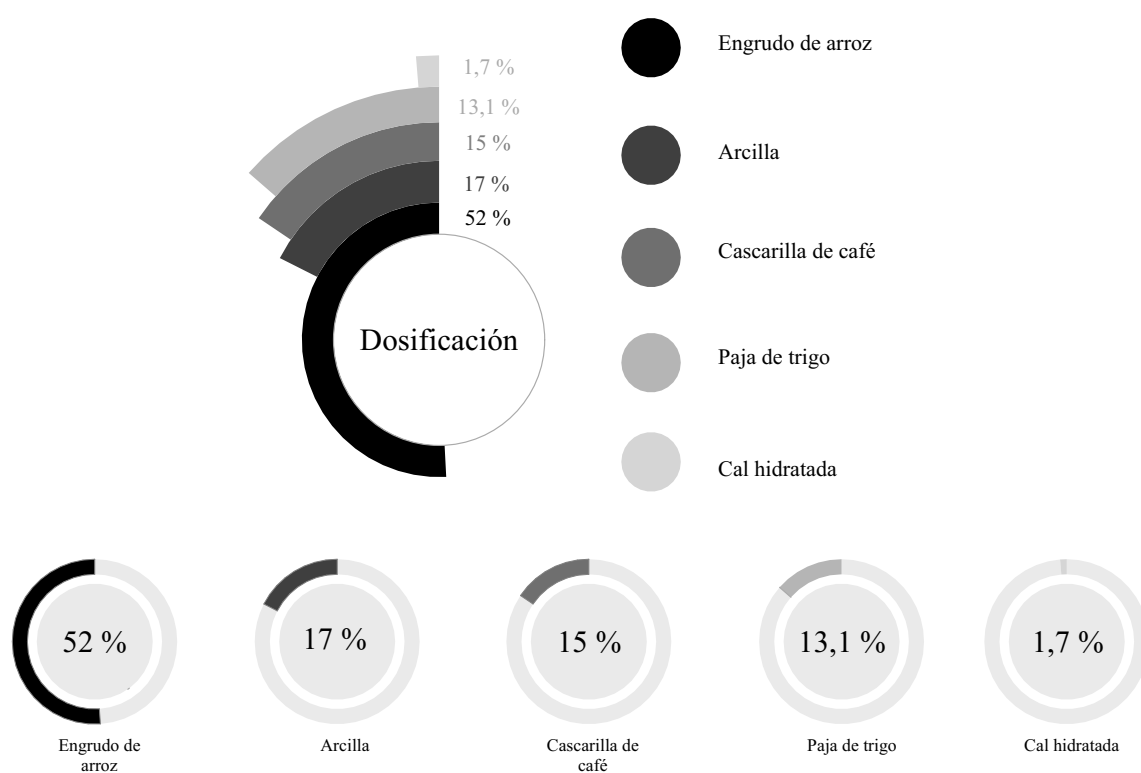


FIGURA 2.26: Dosificación muestra B2. Fuente: autor

## 3.1. Diseño del elemento constructivo

Finalizados los procesos de experimentación de acuerdo a los resultados físico-mecánicos obtenidos, se determina la composición y dosificación óptima para elaborar un elemento constructivo capaz de tener usos para revestir mamposterías interiores y tabiquerías livianas.

Las fibras de paja de trigo y cascarilla de café son tratadas previamente con un proceso de inmunización descrito en el apartado 2.7 del capítulo 2. Los componentes de la mezcla son pesados mediante una balanza según la dosificación, y el mezclado sigue el mismo proceso descrito en el capítulo 2 hasta obtener una masa homogénea, posteriormente se coloca la mezcla en un molde de madera diseñado, adaptado a una prensa hidráulica.

### 3.1.1. Determinación de dimensiones

Se determinó elaborar un elemento constructivo modular, es decir, dada sus dimensiones que tenga la capacidad de adaptarse a diferentes espacios interiores. Bajo la experimentación y las recomendaciones establecidas en los ensayos de campo, se pudo determinar que el estado húmedo con el que se trabaja el material, se estipula que a mayor escala existe mayor debilidad en el tablero al fraccionamiento limitando la elaboración de elementos que presenten grandes dimensiones. En la propuesta para facilitar el proceso de fabricación y un rápido secado se elaboró módulos de 30x30 cm evitando el fraccionamiento cuando el material se encuentra en estado crudo. El espesor del elemento fue establecido según la experimentación en el prensado.

### 3.1.2. Dosificación y componentes

Dadas las fases de experimentación en el capítulo 2, permite obtener una dosificación óptima para el desarrollo del elemento constructivo. Dentro de la primera fase se determinó los componentes paja de trigo, cascarilla de café, arcilla, cal hidratada y aglomerante de engrudo de arroz como los materiales con las características óptimas. La segunda fase

permitió determinar la mejor dosificación del elemento, siendo la muestra (B2); compuesta de 13.1 % paja de trigo, 15 % cascarilla de café, 17 % arcilla, 1.7 % cal hidratada y 52 % engrudo de arroz. Para el diseño del elemento constructivo las dosificaciones se establecen mediante el peso en gramos, manteniendo la composición de la muestra B2; no obstante, para cada tablero de 30 x 30 x 1.8 cm con un volumen compactado de 1620 cm<sup>3</sup> se necesitan 1920 g de material. En la tabla 3.1 se observan las cantidades necesarias para la fabricación de un elemento constructivo.

Tabla 3.1: DOSIFICACIÓN FINAL

| M  | Fibra Vegetal     |      |                        |    | Estabilizador  |    |            |     | Aglutinante           |    |
|----|-------------------|------|------------------------|----|----------------|----|------------|-----|-----------------------|----|
|    | Paja<br>trigo (g) | %    | Cascarilla<br>café (g) | %  | Arcilla<br>(g) | %  | Cal<br>(g) | %   | Engrudo<br>arroz (ml) | %  |
| B2 | 251.52            | 13.1 | 288                    | 15 | 326.4          | 17 | 32.64      | 1.7 | 1000                  | 52 |

### 3.1.3. Diseño y elaboración de molde

Se diseño y fabricó un molde desmontable de madera para elaborar un elemento constructivo cuadrado de 30 x 30 cm. El molde esta compuesto por tres componentes: el primero una base de madera de 50 x 50 cm para anclar el molde, un segundo tablero de madera de 36 x 36 cm, adicional un molde geométrico ondulado de madera de espesor 1 cm, que permite generar un diseño en el panel; un tercer elemento compuesto por dos ángulos de madera anclados con tornillos autorroscantes de 1/2'' en las esquinas para el desmontaje.

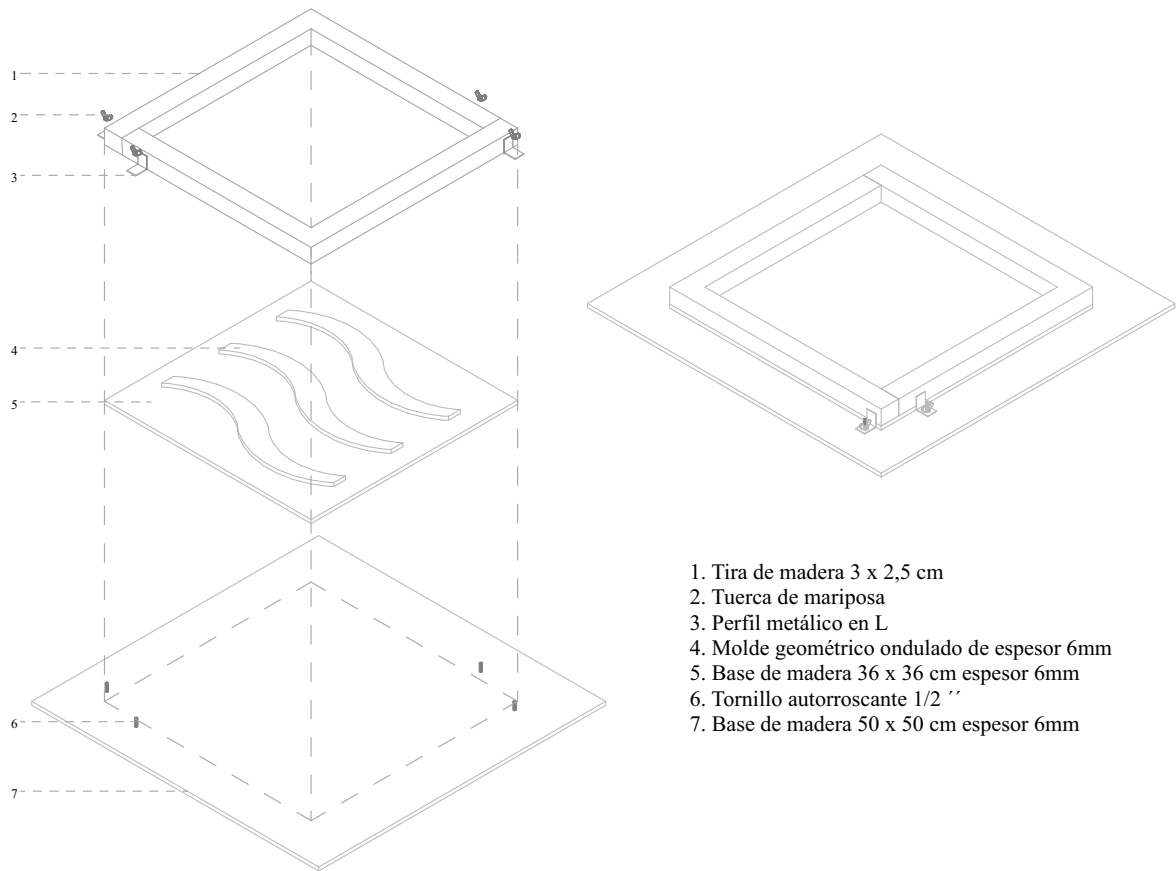


FIGURA 3.1: Diseño de molde. Fuente: autor



(A) Molde geométrico ondulado

(B) Molde geométrico plano

FIGURA 3.2: Elaboración de molde. Fuente: autor

### 3.1.4. Proceso de producción del elemento constructivo

La producción del elemento constructivo conlleva una serie de procesos desde la mezcla de los componentes hasta el prensado del material. Mediante una balanza se pesa la cantidad de material de acuerdo a la dosificación final establecida en el apartado 3.1.2, el mezclado de los componentes se realiza en recipientes metálicos o plásticos combinando las fibras (paja de trigo 251.52 g y cascarilla de café 288 g) con el aglomerante (1000 ml), y luego se agrega la arcilla (326.4 g) y la cal hidratada (32.64 g) hasta obtener una mezcla homogénea, siendo un proceso realizado a mano.

Una vez armado el molde correctamente se aplica una capa de diésel en el interior como desmoldante para evitar la adhesión del material a la madera. La mezcla se vierte dentro en una primera capa hasta compactarlo manualmente e igualar el nivel, posteriormente se vierte el resto de material hasta completar el espesor del molde.

El molde es colocado y sujetado en una prensa hidráulica *century 30T* con capacidad de compresión de 30 toneladas con el objetivo de mejorar la adherencia de los materiales mediante una mayor compresión; dada la forma de prensado vertical de la maquina se adaptó una placa metálica de dimensiones 30 x 30 cm y espesor de 3mm como tapa del molde para la compresión. Luego de colocar la placa metálica sobre el molde se coloca dos elementos de acero en forma de C, siendo estos los encargados de distribuir las cargas hacia la placa. Se produce el prensado hasta obtener un espesor aproximado de 2 cm, manteniendo el material en ese estado durante aproximadamente 1 hora. Concluido el lapso de tiempo se desmolda el elemento para el proceso de deshidratación y posterior secado en un horno eléctrico *Pinzuar* a una temperatura de 90°C durante un período de tiempo de 5 horas.

Culminado el tiempo de secado entre 5 a 7 días dependiendo de la temperatura ambiente, el elemento constructivo pasa un último proceso de acabados.



(A) Mezcla



(B) Aplicación de desmoldante



(C) Colocación de mezcla



(D) Prensado



(E) Desmoldaje



(F) Elementos Modulares

FIGURA 3.3: Proceso de elaboración de elemento constructivo. Fuente: autor

### Formas obtenidas

Para esta investigación se fabricaron dos tipos de elementos constructivos, el primero un tablero plano con una textura rugosa. El segundo un panel ondulado con relieves,

que se logró mediante el uso de moldes de madera colocados sobre la base, obteniendo un efecto visual dinámico y mejorando al mismo tiempo el comportamiento acústico al presentar más aristas que absorben el sonido.



(A) Elemento geométrico plano

(B) Elemento geométrico ondulado

FIGURA 3.4: Formas propuestas. Fuente: autor

### 3.1.5. Proceso de producción del elemento constructivo con acabado de yeso

La fabricación de este elemento constructivo sigue el mismo proceso descrito en el apartado 3.1.4, sin embargo, antes de realizar el proceso de deshidratación y secado del panel se aplica una capa de yeso con un espesor aproximado de 5 mm. El yeso es preparado en recipientes plásticos, colocando primero el agua y posteriormente vertiendo poco a poco el yeso en polvo hasta obtener una mezcla homogénea, la dosificación depende del uso para el cual sea planificado; la mezcla debe reposar un periodo de tiempo de 5 minutos aproximadamente antes de la colocación, debido a que se requiere una mezcla espesa y no tan líquida para fácil manejabilidad en el molde. El periodo de fraguado es de 20 minutos, luego de este lapso se retira el molde.

Terminado el tiempo de prensado, se retira el elemento metálico del molde para colocar una última capa; como proceso previo se coloca una malla metálica encima del panel para permitir la adherencia óptima del material. La capa de yeso que va a recubrir el elemento constructivo se compone de 700 ml de agua mezclada con 910 g de yeso, adicionalmente se agregan fibras de cabuya obtenidas en estado deshilado y esponjoso con dimensionamiento aproximado de 20 cm, esto para mejorar la cohesión del material.

Se vierte el yeso con la cabuya en el molde, durante un período de tiempo entre 20 – 30 minutos se desmolda el elemento constructivo para su proceso de deshidratación en horno eléctrico a 90° C durante 5 horas. Finalmente, el panel sigue un proceso de secado en la intemperie en un lapso de 2 días; el secado en este proceso es menor debido a que la capa de yeso ayuda a endurecer el elemento en un periodo de tiempo menor.



FIGURA 3.5: Proceso de elaboración de capa de yeso. Fuente: autor

### 3.1.6. Protección y Acabados

Las fibras vegetales en este caso la cascarilla de café y paja de trigo, puede presentar características similares a la madera al estar compuestas principalmente por celulosa y lignina; claramente obviando la capacidad de resistencia de la madera, ambos elementos son de composición orgánica o natural, por lo tanto, los agentes que puedan degradar o dañar a la madera pueden afectar de la misma forma las fibras naturales.

Sánchez (2001) y Barreiro y Hirsch (2011) coinciden en que la madera al ser un elemento de origen biológico está expuesta a agentes degradantes abióticos o atmosféricos (radiación solar, humedad, fuego) y agentes bióticos u organismos vivos (moho, hongos, insectos); la afectación de estos agentes va a depender siempre del tipo de exposición interior o exterior.

La aplicación del elemento constructivo en esta investigación está diseñada para espacios interiores, por tanto, los agentes degradadores a los cuales podría estar expuesto serán la humedad, fuego, moho o insectos; siendo importante la aplicación de ciertos elemen-

tos de protección e impermeabilización con la finalidad de preservar, resaltar acabados y mantener una mayor durabilidad en el panel.

Las fibras tienen un proceso previo de inmunización al moho, insectos y al fuego descrito en el capítulo 2, sin embargo, luego de la fabricación del elemento constructivo, se aplica un preservante para madera compuesto de solventes aromáticos alifáticos el cual se emplea en los tableros antes de realizar los acabados; para la aplicación de este componente la superficie del elemento es lijada y limpiada, dejándola libre de polvo y cualquier contaminante, se aplica dos capas de preservante mediante una brocha en un intervalo de 1 hora.

### Impermeabilización

Las superficies del elemento constructivo son tratadas mediante el uso de un sellador compuesto por resinas de nitrocelulosa con resina alquídica para la madera generando una protección ante cualquier salpicadura de agua o exposición a la humedad, además de un atractivo acabado transparente que no modifique las condiciones del material. El sellador se aplica directamente a las superficies mediante brocha en dos capas.



FIGURA 3.6: Impermeabilización con sellador. Fuente: autor

La aplicación del sellador mejora la resistencia contra la humedad del elemento evitando la absorción de agua, sin embargo, este proceso no garantiza una impermeabilización total, por consiguiente, se aplica una segunda capa impermeable que según la [NEC-SEMD \(2014\)](#) establece que los elementos de madera deben protegerse mediante sustancias hidrófugas mejorando sus condiciones de resistencia a la humedad. Las superficies de los elementos fueron recubiertas por una capa a mano de Sika Transparente W compuesto por líquido hidrófugo.



(A) Líquido hidrófugo

(B) Aplicación de líquido

(C) Aplicación de líquido

FIGURA 3.7: Impermeabilización con líquido hidrófugo. Fuente: autor

### Acabado con pintura

Una vez selladas las superficies del tablero se puede observar un resultado que evidencia la textura y naturalidad del material, sin embargo, se aplicó otras tonalidades de color mediante el uso de pintura plástica para madera dando resultados visuales diversos. Cabe destacar que la pintura aplicada también presentar propiedades de impermeabilización.



(A) Elemento sellado

(B) Aplicación de pintura

(C) Textura de color

FIGURA 3.8: Acabado con pintura plástica. Fuente: autor

## 3.2. Pruebas de campo de elemento constructivo

Con el objetivo de conocer si el proceso de impermeabilización y protección aplicado al elemento constructivo es adecuado, se ejecutaron pruebas como exposición al agua y taladrado. Se observó que el tablero es apto para ser taladrado, lo cual permite un adecuado anclaje a una estructura de entramado ligero mediante tornillos autorroscantes.



(A) Atornillado

(B) Prueba de humedad

FIGURA 3.9: Pruebas de campo. Fuente: autor

Para comprobar la resistencia a la humedad, la superficie del elemento se mantuvo expuesto a una vertiente de agua durante aproximadamente 20 minutos y además se aplicó un ensayo para determinar el porcentaje de absorción de humedad basado en la norma [NTE-INEN:296 \(2014\)](#).

Para determinar el porcentaje de absorción se aplica la siguiente fórmula:

$$Abs \% = \frac{(P2 - P1)}{P1} \times 100$$

, en donde:

$P1$ = masa de la muestra desecada

$P2$ = masa de la muestra después de haber sido sumergida en agua

El proceso realizado fue obtener el peso inicial ( $P1$ ) del elemento mediante una balanza antes del ensayo, posteriormente el tablero es sumergido en un recipiente con agua durante un periodo de tiempo de una hora; concluido el lapso de tiempo el elemento es pesado nuevamente en una balanza para obtener el peso final ( $P2$ ) y se realizan los cálculos aplicando la formula descrita.

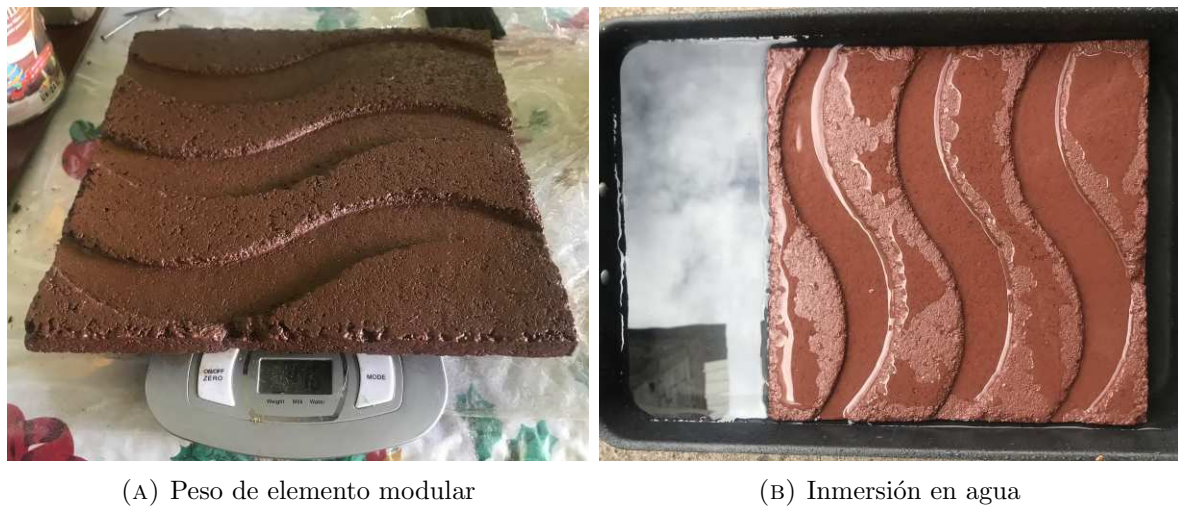


FIGURA 3.10: Ensayo absorción de humedad. Fuente: autor

El peso inicial obtenido es de  $P1= 946$  g y el peso final  $P2=951$  g; el porcentaje de absorción en el elemento modular es de 0.52 %. Se puede observar que el elemento presenta buena resistencia a la humedad, gracias a los compuestos aplicados para impermeabilización el agua no logra filtrarse.

### 3.3. Aplicaciones constructivas

El elemento constructivo propone una aplicación de revestimiento en muros y tabiquerías livianas en espacios interiores de la edificación, sin embargo, requiere de una estructura de entramado de madera o metálico para su colocación; para esta investigación se planteó un sistema de entramado ligero en madera, donde su configuración va a depender de la planta arquitectónica. La estructura empleada además de soportar los elementos, pueden ser utilizadas para el paso de instalaciones.

Para todas las soluciones constructivas se optó por el sistema prefabricado de entramado ligero por su gran nivel de prefabricación y rápido montaje. La estructura de esta técnica se basa en varios elementos portantes en forma de muros que soportan su propio peso, conformado por piezas de madera verticales llamados montantes, separados a distancias cortas entre 30 – 60 cm, anclados en la parte inferior y superior por piezas de madera horizontales llamados listones, correas o testeros (Inat Trigueros, 2011). Las uniones del panel a la estructura se realizan mediante tornillos autorroscantes para madera.

#### 3.3.1. Sistema de montaje para recubrimiento de muros

El diseño e instalación se centra en revestimiento de muros, donde junto a la mampostería se coloca la configuración de entramado ligero con madera de pino de sección 5 x 10 cm, en montantes como en listones. La separación de elementos verticales (montante)

y horizontales (listones) es de 25 cm, permitiendo 2.5 cm a cada lado para el anclaje. La estructura de madera se ancla mediante tornillos autorroscantes para madera de 2 1/2 pulgadas.

El primer sistema de montaje esta diseñado en una trama tridimensional de placas de cascarilla de café y paja de trigo, configuradas a diferentes niveles generando una superposición de elementos. El nivel de la primera placa se ancla mediante tornillos autorroscantes de 1 1/2 pulgada directamente en la estructura de madera; y la segunda placa se configura mediante dos elementos, el primero se compone de un separador de aluminio con un tablero de mdf anclado al entramado, al cual se va sujeta a la placa, el segundo está compuesto del elemento constructivo anclado a este, dos perfiles de aluminio en J permitiendo colocar el segundo elemento sobre el primero.

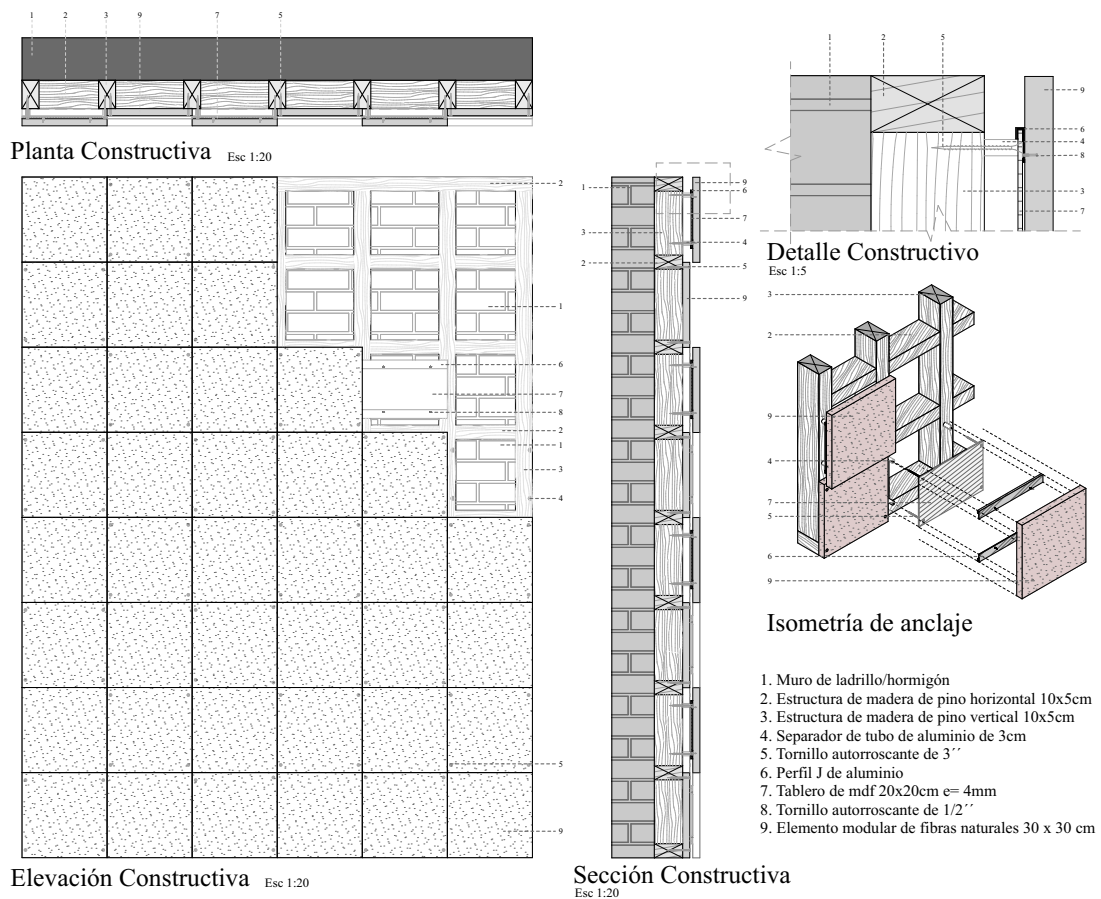


FIGURA 3.11: Detalle constructivo para recubrimiento de muro diseño 1. Fuente: autor

El segundo sistema de montaje esta diseñado basándose en el elemento constructivo, donde la propuesta depende del molde, colocando piezas de madera con formas curvas creando relieves en el panel, de esta manera al replicar el tablero en el entramado se logra efectos visuales con mayor relevancia.

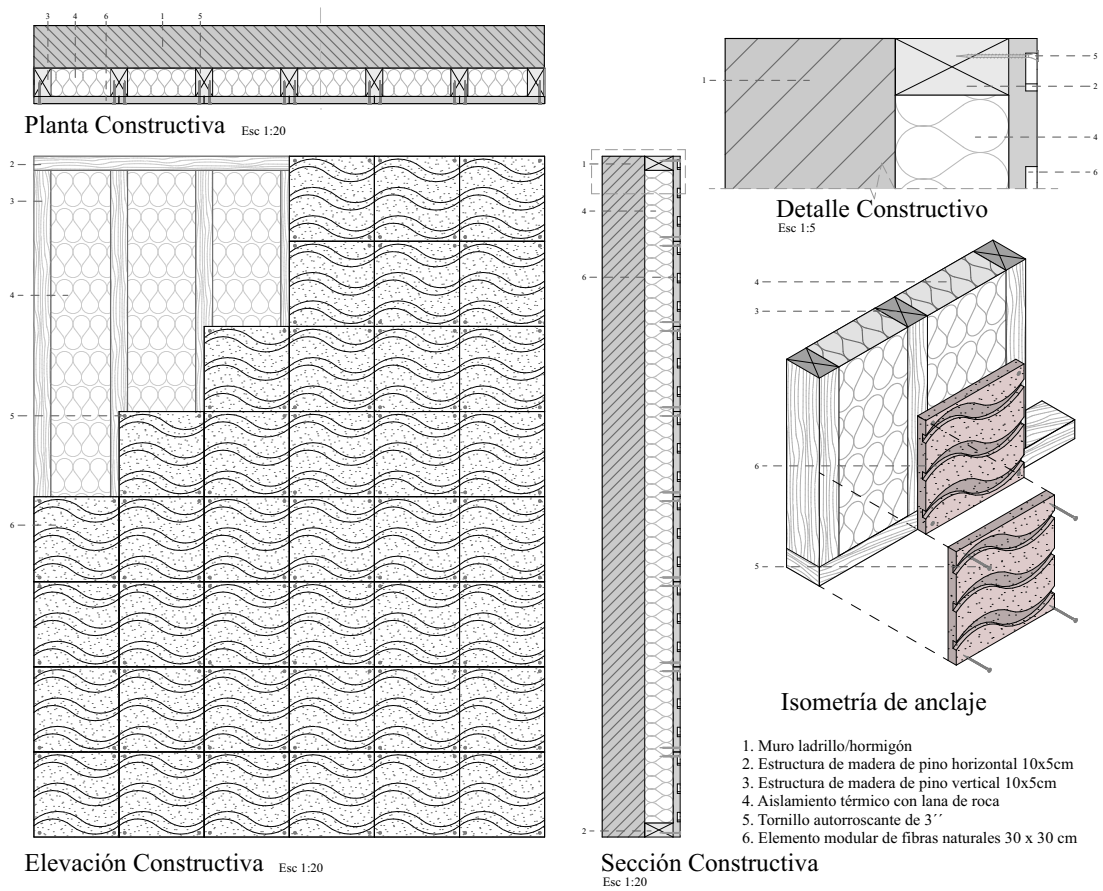


FIGURA 3.12: Detalle constructivo para recubrimiento de muro diseño 2. Fuente: autor

Antes de colocar los elementos constructivos, se coloca un aislante térmico de lana mineral, espuma o vegetales, entre el espaciamiento de montantes con el fin de mejorar el aislamiento del tabique.

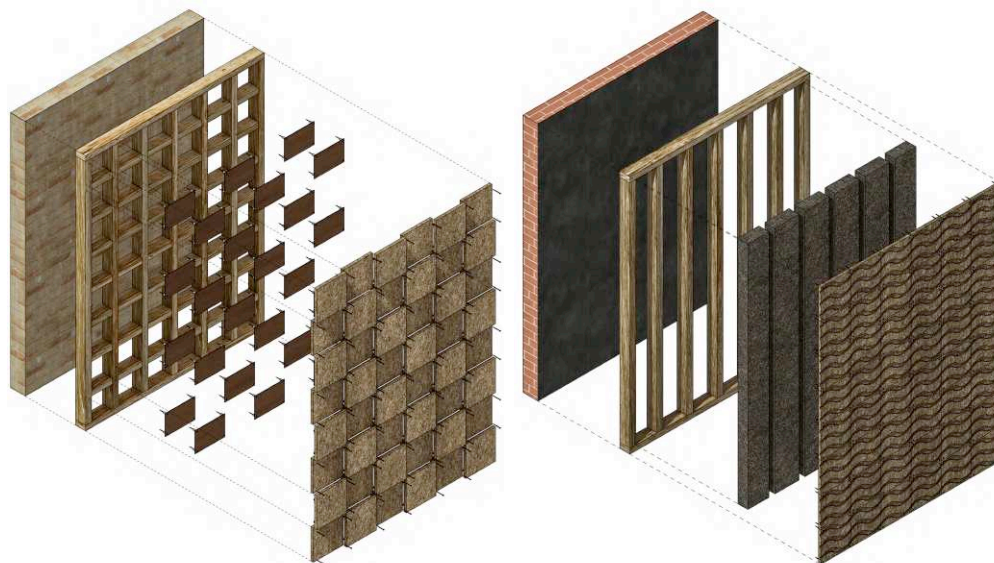


FIGURA 3.13: Secuencia constructiva revestimiento de muros. Fuente: autor

### 3.3.2. Sistema de montaje para tabiquería liviana

El diseño y método de instalación se basa para el uso en tabiquería liviana, donde se implementa la configuración de entramado ligero con madera de pino de sección 5 x 10 cm, en montantes como en listones. La separación de elementos verticales (montante) depende de las dimensiones del elemento constructivo (30 x 30 cm), para este caso el espaciamiento de montantes será de 25 cm, permitiendo 2.5 cm a cada lado para el anclaje. La estructura de madera se ancla mediante tornillos autorroscantes para madera de 2 1/2 pulgadas.

Previo al montaje de los elementos constructivos, se recomienda colocar un aislante térmico de lana mineral, espuma o vegetales, entre el espaciamiento de montantes con el fin de mejorar el aislamiento del tabique. Las placas se anclan a la estructura en ambos lados, mediante tornillos autorroscantes de 1 1/2 pulgada.

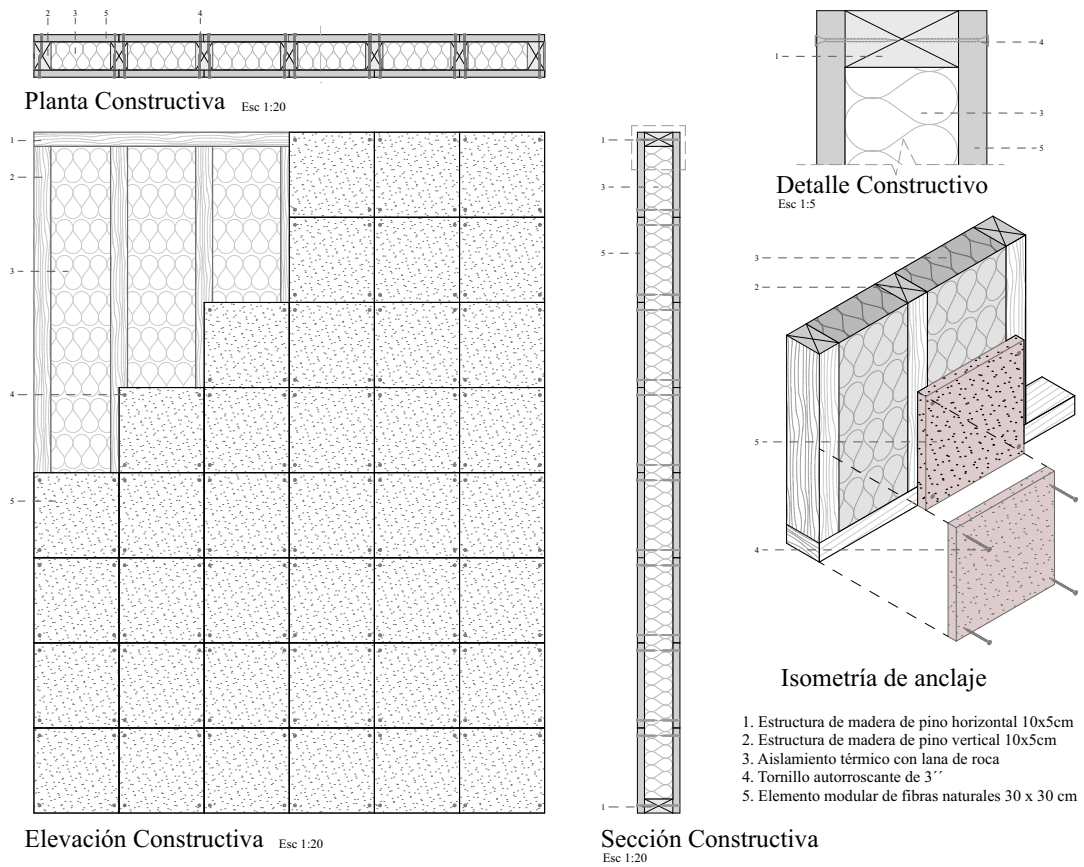


FIGURA 3.14: Detalle constructivo para tabiquería liviana diseño 1. Fuente: autor

Para este diseño las placas se anclan a la estructura en ambos lados, mediante tornillos autorroscantes de 1 1/2 pulgada, en las juntas se coloca un perfil metálico T de 3mm. Es importante realizar un corte diagonal en las esquinas del elemento constructivo para colocar una placa cuadrada con un perno anclado a la estructura; de esta forma se obtiene un mejor tratamiento visual en las juntas y se ocultan los tornillos.

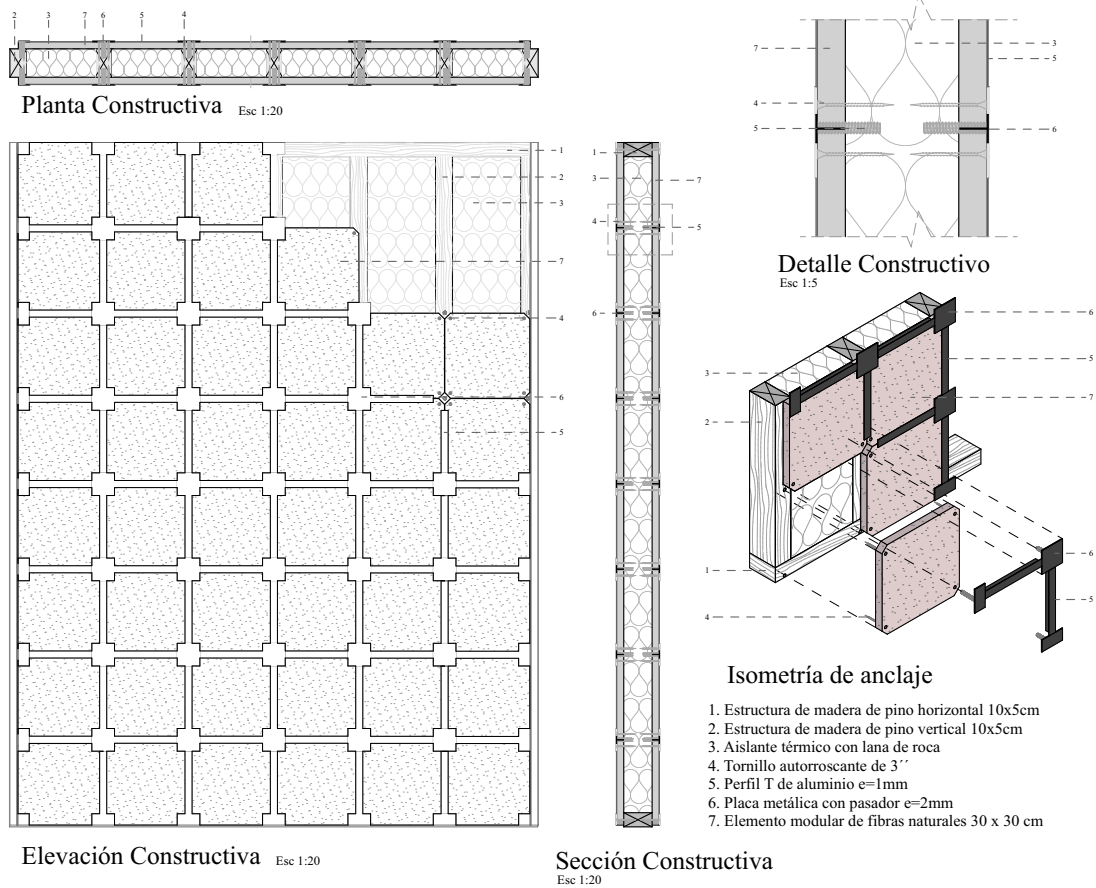


FIGURA 3.15: Detalle constructivo para tabiquería liviana diseño 2. Fuente: autor

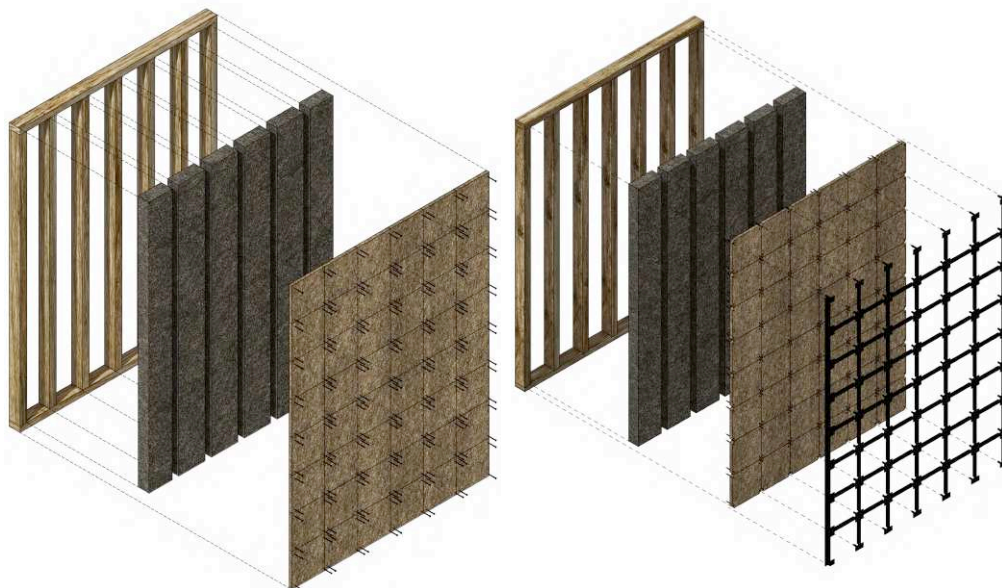


FIGURA 3.16: Secuencia constructiva tabiquería liviana. Fuente: autor

### 3.4. Aplicaciones en espacios interiores

Basado en las propuestas constructivas descritas en el apartado, y mediante un análisis visual se proponen algunas alternativas de uso y aplicación del módulo constructivo. A través del uso de herramientas digitales en el diseño virtual arquitectónico se aplicó una visualización de los espacios interiores usando el panel como revestimiento de muros y tabiquería liviana.



FIGURA 3.17: Aplicación de elemento modular en sala. Fuente: autor



FIGURA 3.18: Aplicación de elemento modular en sala. Fuente: autor



FIGURA 3.19: Aplicación de elemento modular como tabiquería. Fuente: autor

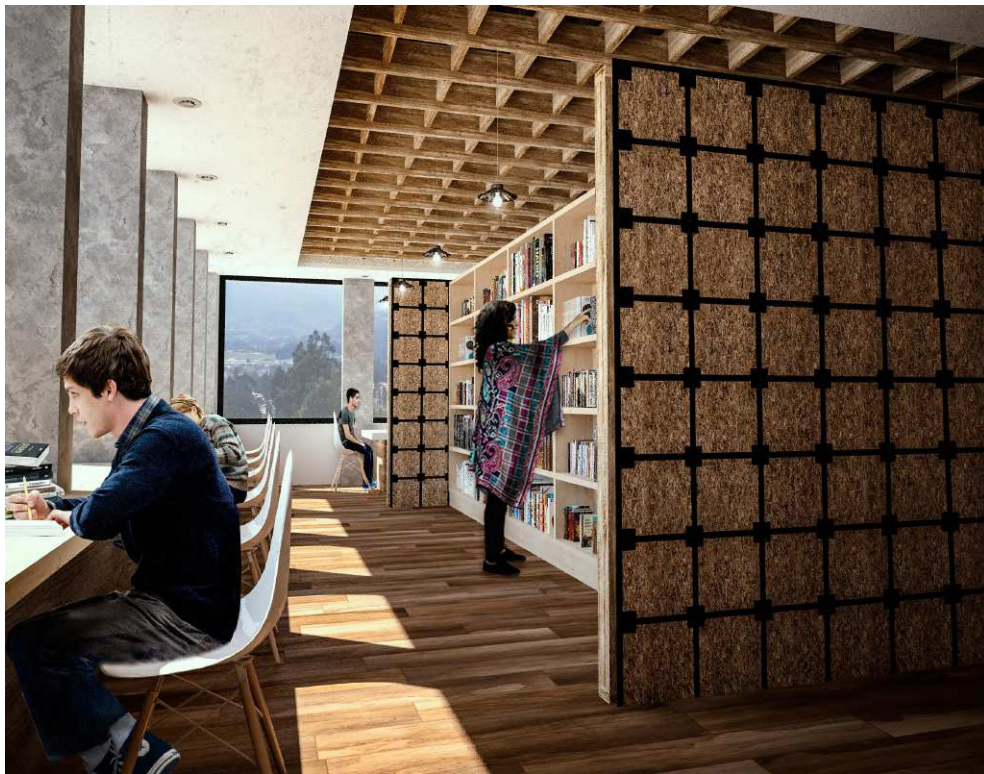


FIGURA 3.20: Aplicación de elemento modular como tabiquería. Fuente: autor



FIGURA 3.21: Aplicación de elemento modular como revestimiento. Fuente: autor



FIGURA 3.22: Aplicación de elemento modular como revestimiento. Fuente: autor

### 3.5. Análisis de costos

Aplicando un análisis de precios unitarios APUS se determinó el precio comercial del elemento modular, estimando un valor que puede variar de 1.76 a 2.54 dólares por unidad en tableros de 30 x 30 cm, la variación depende del acabado que se aplique. Basándose en este valor se puede estimar un valor comercial en metro cuadrado que incluye costo de instalación de 28.37 y 38.90 dólares. Ver anexo 3.

Tabla 3.2: COSTOS DEL ELEMENTO MODULAR

| Tipo                                 | Precio en dólares |
|--------------------------------------|-------------------|
| Elemento lacado                      | 1.76              |
| Elemento acabado color               | 2.54              |
| Costo m <sup>2</sup> elemento lacado | 28.37             |
| Costo m <sup>2</sup> elemento color  | 38.90             |

Se realizó una comparación de precios dentro del mercado local en revestimientos de muros existiendo varios productos tipo paneles 3D con diferentes materiales como PVC, yeso, porcelanato y poliestireno de alta densidad; se pudo observar que los precios por metro cuadrado se encuentran en un rango desde los 25 -50 dólares, incluso ofertas entre los 250 dólares el metro cuadrado.

Tabla 3.3: COMPARACIÓN DE COSTOS

| Material                      | Costo m <sup>2</sup> |
|-------------------------------|----------------------|
| Porcelanato 3D                | 43                   |
| Poliestireno de alta densidad | 35                   |
| PVC 3D                        | 25                   |
| Paneles de yeso 3D            | 250                  |

### 3.6. Análisis medio ambiental del elemento modular

La evaluación medio ambiental es una herramienta para la protección del medio ambiente, siendo un proceso para identificar relaciones causa-efecto, predecir cuantitativa y cualitativamente, valorar, interpretar y prevenir el impacto ambiental de una acción o acciones (Dellavedova, 2011), siendo para este caso de estudio la elaboración y uso de elementos modulares para mampostería. En la figura 3.23 se muestra el porcentaje de aplicación de fibras vegetales y engrudo de arrocillo, elementos provenientes de los residuos agroindustriales considerados materiales renovables (80.1 %), no obstante, la mayor parte de materiales usados son de proveniencia natural pudiendo deducir la proporción de porcentajes de contaminación mediante indicadores de emisión en materiales. El análisis determina emisiones contaminantes muy bajas, sin embargo, para determinar que los procesos de elaboración en el elemento son de bajo impacto es importante realizar un análisis de ciclo de vida ACV.

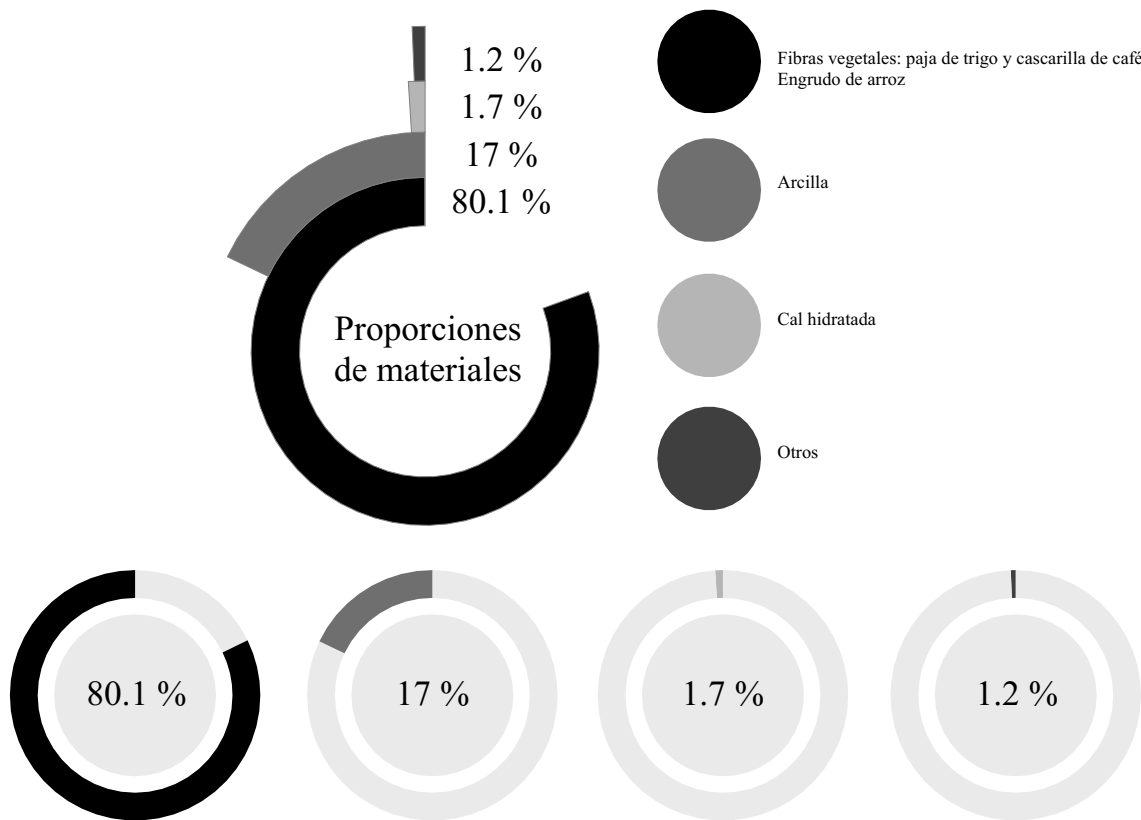


FIGURA 3.23: Proporciones de materiales. Fuente: autor

El análisis de ciclo de vida de los materiales es una metodología que permite tratar los aspectos ambientales, dentro de la cual es posible determinar, clasificar y cuantificar los impactos ambientales de una actividad dentro del período de vida del elemento, partiendo desde la extracción de materia prima hasta convertirse en residuo (Benveniste et al., 2011). La norma NTC-ISO:14024 (2000) hace referencia como realizar dicho análisis.

Tabla 3.4: MATRIZ DE SELECCIÓN DE CRITERIOS AMBIENTALES – ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

| Etapas de ciclo de vida | Indicadores de entradas/salidas ambientales                                                               |                            |           |      |       | Otros |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------|------|-------|-------|
|                         | Energía                                                                                                   | Recursos                   | Emisión a |      |       |       |
|                         | Renovable/<br>no renovable                                                                                | Renovable/<br>no renovable | Agua      | Aire | Suelo |       |
| Extracción de recursos  | La extracción es manual en el café siendo renovable y en el trigo mediante maquinaria siendo no renovable | Renovable<br>80.1 %        | x         | x    | x     |       |
| Producción              | La producción es limpia, sin embargo, en un porcentaje el 3 % utiliza elementos no renovables             | Renovable<br>80.1 %        | x         | x    |       |       |
| Distribución            | La transportación no es renovable                                                                         | Renovables                 |           | x    |       |       |
| Uso                     | Renovable                                                                                                 | Renovables                 |           |      |       | x     |
| Disposición final       | No renovable por el uso de estabilizadores, sin embargo, las fibras naturales son biodegradables          | Renovables<br>50 %         |           |      |       |       |

Según la norma [NTC-ISO:14024 \(2000\)](#) señala que el análisis de ciclo de vida se realiza mediante la matriz Tipo 1 de selección de criterios ambientales, en donde se analizan los parámetros que incluye extracción de recursos, producción, distribución, uso y disposición final; estableciendo el nivel de impacto en los materiales de construcción. El elemento modular se compone de materiales renovables y biodegradables como la cascarilla de café y la paja de trigo que son residuos agroindustriales permitiendo un impacto menor al medio ambiente.

### 3.7. Análisis comparativo de tableros

Este análisis hace énfasis en aplicar una comparación analítica del elemento propuesto con respecto a tableros ya existentes como tableros a base de fibras de densidad media (MDF) y tableros aglomerados de partículas; mediante este método se podrá tener una clara visión en cuanto a la factibilidad y viabilidad en el uso del elemento modular.

Tabla 3.5: COMPARACIÓN ENTRE TABLEROS

| Tipo de tablero                              | Densidad (kg/cm <sup>3</sup> ) | Humedad (%) | Módulo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> ) | Conductividad Térmica (W/m <sup>°K</sup> ) |
|----------------------------------------------|--------------------------------|-------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|
| Fibras de paja de trigo y cascarilla de café | 757.74                         | 5.29        | 33.92                                  | 0.05                                       |
| Fibras de densidad media (MDF)               | 450                            | 4-10        | 131                                    | 0.07                                       |
| Aglomerados de partículas                    | 650                            | 5-11        | 180                                    | 0.106                                      |

El elemento modular elaborado a base de paja de trigo y cascarilla de café, presenta propiedades similares a los expuestos en la tabla 3.5; dentro de la densidad los tres tableros se pueden clasificar como densidad media, el porcentaje de humedad se encuentra dentro de rangos permitidos en los otros tableros; el tablero propuesto y el de fibras de densidad media (MDF) presentan un coeficiente de conductividad térmica similar 0.05 y 0,07 w/m<sup>°k</sup> respectivamente. Por otro lado, si bien dentro de la comparación existen propiedades de densidad, humedad y térmicas cercanas, la resistencia del módulo de rotura en el tablero de paja de trigo y cascarilla de café es bajo comparado con los otros dos a pesar de cumplir con los parámetros de resistencia mínimos, esta diferencia entre tableros esta denotada por la composición de materiales y procesos industriales. Los tableros de partículas y de fibras de densidad media son derivados de la industria maderera, constituidos por partículas de material leñoso aglomeradas a través de adhesivos resinosos (Melanina Urea Formaldehído), sometidos a presión y calor, diferenciándose por su composición, el primero se forman mediante la trituración de astillas de madera, y el segundo se fabrica a partir del desfibrado de las astillas, mediante un método termo mecánico (Manzano, 2012).



(A) Tablero propuesto

(B) Tablero MDF

(C) Tablero aglomerado

FIGURA 3.24: Comparación de tableros. Fuente: autor

El formandehído es un gas incoloro, soluble en agua que polimeriza rápidamente facilitando su empleo como componente en resinas utilizado para la fabricación de tableros aglomerados y de densidad media; sin embargo, el uso de este componente provoca efectos sobre la salud como irritación ocular, tracto respiratorio y de la piel; la inhalación en altas concentraciones provoca una severa irritación del tracto respiratorio, provocando la

muerte (Santolaya y Freixa Blanxart, 2001). Si bien los tableros de partículas y densidad media son ecológicamente aceptables al utilizar residuos para su fabricación, un porcentaje de su composición usado para endurecer y dar resistencia como el formandelhído puede presentar afecciones a la salud ya mencionadas; a diferencia del elemento modular propuesto utiliza un aglomerante compuesto por almidón de arroz, siendo la base para elaborar dicho aglutinante el arroz residual proveniente de los procesos de remoción del endocardio en las plantas de refinamiento dándole la resistencia y endurecimiento necesario para su aplicación en el campo de la construcción.

Por otro lado, la presente investigación no busca competir con los tableros descritos, sino crear una alternativa constructiva con mayor énfasis en el aprovechamiento de recursos renovables, creando un elemento modular con características termo acústicas, que a diferencia de los otros tableros tenga características para ser usado en revestimiento de muros y tabiquería liviana, en primera instancia mejorando las propiedades térmicas al presentar un bajo coeficiente de conductividad térmica creando un espacio hermético al interior, y en segunda instancia mejorando las características acústicas al presentar porosidad y aristas en la textura del material permite ser un elemento absorbente evitando que el ruido se refleje en lo menor posible creando una pérdida energética por la vibración de las fibras que componen el tablero.

## Conclusiones y Recomendaciones

### 4.1. Conclusiones

De acuerdo con los objetivos establecidos y dando importancia a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se puede establecer las siguientes conclusiones.

- En términos generales y según el objetivo principal de la investigación, el estudio de los materiales y el análisis de los conceptos enfocado hacia una construcción sostenible, aprovechamiento de los residuos agroindustriales y el uso de fibras naturales, que se enmarca dentro de la presente investigación, ha permitido desarrollar la elaboración de elementos constructivos modulares, a fin de generar un impacto positivo hacia la huella ecológica y el medio ambiente, a través de la reutilización de residuos provenientes de actividades agrícolas, presenta como resultado el desarrollo de un material elaborado a base de fibras naturales (paja de trigo y cascarilla de café) como una alternativa constructiva para su aplicación dentro de la vivienda y la edificación.

- Se ha mostrado una buena solución para la revalorización de residuos fibrosos de paja de trigo y cascarilla de café mediante el desarrollo de materiales compuestos ecológicos, lo que podría ayudar a la problemática planteada inicialmente dentro de la agroindustria, que constituye una carga medioambiental mediante la quema de residuos o compost.

- Si bien la manufactura tanto de café como de trigo en el país no lideran los índices de exportaciones y producciones, la generación de residuos provenientes de estas actividades son amplios, es así, que según datos estadísticos dentro del INIAP y MAGAP permiten deducir que dentro de la zona austral mensualmente se pueden obtener 182.36 toneladas (cascarilla de café) y 15.85 toneladas (paja de trigo), teniendo una amplia apertura a mediano y largo plazo para la producción de los elementos modulares propuestos, considerando que la demanda para la producción de un tablero se emplea 288g de cascarilla de café y 252g de paja de trigo.

- Se ha logrado optimizar el procesamiento de los residuos para obtener materia prima adecuada en tamaño y/o granulometría permitiendo una óptima incorporación como elemento de refuerzo en los materiales compuestos.

- Los compuestos elaborados dentro de la segunda fase de experimentación muestran buenas características en términos de propiedades mecánicas y térmicas, es así que

la muestra B2 (33.92 kg/cm<sup>2</sup>) de mayor resistencia presenta mejores capacidades para elaborar elementos propuestos; sin embargo, la dosificación B3 (27.54 kg/cm<sup>2</sup>) presenta una resistencia muy cerca al mínimo dentro de la normativa, por tal también podría ser considerada para otros usos.

- El elemento propuesto se compone de paja de trigo, cascarilla de café, arcilla, cal hidratada y engrudo de arroz, obteniendo las siguientes características físico-mecánicas y térmicas: densidad media 757.74 kg/m<sup>3</sup>, contenido de humedad 5.29 %, módulo de rotura de 33.92 kg/cm<sup>2</sup> y coeficiente de aislamiento térmico de 0,05 W/m<sup>o</sup>K, variables que cumplan con los parámetros que establecen las normativas [NTC:2261 \(2003\)](#) y [ANSI-208.1 \(1999\)](#).

- Las dimensiones del módulo propuesto son de 30 x 30 cm y un espesor de 1.8 cm, a través del análisis de precios unitarios se determinó dos valores del tablero de 1.76 dólares un panel lacado con acabado natural y 2.54 dólares un panel con acabado de pintura plástica de color, basándose en estos valores se determinó el precio por metro cuadrado en 28.37 y 38.90 dólares; estos costos pueden ser optimizados implementando maquinaria y técnicas de producción industrial para obtener mayor competitividad en el mercado comercial.

- Las propiedades y condiciones del material frente a tableros ya existentes (MDF y aglomerados) permiten proponer su aplicación como elemento de revestimiento en muros interiores o tabiquería liviana con características termo acústicas al presentar un bajo coeficiente de conductividad térmica, porosidad y aristas en la textura del material permitiendo absorber el ruido evitando que se refleje. El método de instalación se propone sobre una estructura de entramado ligero de madera, sin embargo, también puede ser aplicable para estructuras metálicas.

- [García et al. \(2013\)](#) desarrollaron tableros compuestos a base de fibras de trigo y resina epoxi, fabricando placas de madera plástica con buenos resultados: densidad alta 826 kg/m<sup>3</sup>, contenido de humedad 34.12 % y módulo de rotura 47.72 kg/cm<sup>2</sup>. [Penadés \(2017\)](#) elaboró materiales ecológicos basado en matrices poliméricas de origen renovable y refuerzo de alga posidonia oceánica presentando resultados en sus propiedades mecánicas y térmicas muy buenos: módulo de rotura 774.44 kg/cm<sup>2</sup> y coeficiente de aislamiento térmico de 0,059 W/m<sup>o</sup>K, generando oportunidades a productos que puedan generar una solución alternativa en la gestión de residuos. Realizando una comparación entre estas investigaciones y la realizada se puede establecer que además de los resultados mecánicos, existen parámetros de similitud en cuanto al objetivo y el aporte que plantean las investigaciones, a través de la aplicación y aprovechamiento de materiales renovables y reciclables. Considerando que en el desarrollo del elemento modular propuesto más del 80 % de materiales son renovables, únicamente alrededor del 3 % son materiales sintéticos utilizados para acabados y protección contra agentes degradantes, se puede concluir que esta investigación en una alternativa de construcción sostenible.

- Es importante manifestar las limitaciones generadas en la investigación, cabe destacar que la falta de equipos para mejorar procesos y optimizar tiempos fue fundamental en los resultados obtenidos, por ejemplo, para la fabricación de tableros de fibras y aglome-

rados existen un amplio y completo proceso industrial y tecnológico mediante maquinaria (fragmentación, secado, encolado, formación, prensado, acondicionado, canteado, lijado y expedición) (Manzano, 2012).

-El elemento modular propuesto tiene un proceso de producción artesanal, donde generar cada uno de los tableros requiere un largo tiempo, disminuyendo su rentabilidad. Es importante generar la implementación de maquinaria y equipos tecnológicos que permitan optimizar tiempos para generar una producción en masa, es decir, mediante la creación de micro-industrias que fomenten el empleo generando fuentes de ingresos a través de la agroindustria. Esto se puede lograr mediante una integración entre el sector público, privado y académico; el estado ecuatoriano a través del Plan Nacional del Buen Vivir, hoy llamado Toda una Vida establece en su objetivo N 5 el “Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistribuida y solidaria”, mediante la ejecución de políticas públicas incluido el impulso a una economía endógena, sostenible y territorialmente equilibrada que tiene como propósito promover una sociedad de productores y propietarios, facilitando a los emprendedores el acceso a medio de producción (Senplades, 2017). El Consejo Sectorial de la Producción es el encargado de las políticas, planes, programas y proyectos, de controlar y evaluar las actividades de los organismos encargados del apoyo técnico y financiero, autorizar la creación y supervisión del desarrollo de infraestructura especializada en centros de desarrollo para las Micro, pequeñas y medianas empresas, centros de investigación y desarrollo tecnológico, incubadoras de empresas, nodos de laboratorios, que se requieren para fomentar e impulsar el desarrollo productivo de dichas empresas (Salinas et al., 2012).

-La academia debe formar un rol importante, y desde ésta el apoyo que brinda el estado para promover la participación de universidades y centros de enseñanzas locales, nacionales e internacionales, en el desarrollo de programas de emprendimiento y producción. Las universidades han realizado diversas innovaciones para incorporar el desarrollo emprendedor, implementando programas complementarios de vinculación con la sociedad, incorporación de jóvenes en asesoría a micro-empresas (Garzozi Pincay et al., 2014); por tal es primordial para futuras investigaciones afines al tema, establecer una invitación y vinculación con la academia, estableciendo programa como vinculación con la sociedad o proyectos de investigación ampliando el campo investigativo a fin de desarrollar una industrialización y tecnificación del elemento modular.

## 4.2. Recomendaciones

Si bien la dosificación del elemento constructivo presentó óptimas características dentro de las normativas, estas pueden ser mejoradas mediante la implementación de maquinaria industrial para acelerar los procesos de triturado, mezclado, prensado y secado; ayudando de esta manera a incrementar la producción tecnificada, reduciendo considerablemente el esfuerzo y tiempos en la fabricación.

Dentro del proceso constructivo, una etapa fundamental para obtener buenos resultados de resistencia del material, es la etapa del secado, además de ser la parte más crítica

durante el desarrollo, se recomienda el uso de elementos que ayude acelerar el proceso de solidificación como la inyección de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>.

El elemento modular previo a los procesos de acabados e impermeabilización posee una resistencia a la humedad baja al estar constituido por fibras vegetales, dada la impermeabilización mediante selladores y pinturas plásticas la resistencia a la humedad se eleva considerablemente, sin embargo, una buena protección se genera mediante el uso de un líquido hidrófugo para repeler el agua como capa última de protección, no obstante, evitar zonas con altos índices de humedad o contacto directo con al agua.

Actualmente existen gran variedad de fibras vegetales que pueden ser reutilizadas para la innovación en el campo constructivo sostenible, por tal se recomienda profundizar estudios en el desarrollo y aprovechamiento de residuos agroindustriales generando materiales alternativos de bajo impacto ambiental.

## Referencias bibliográficas

- Agrotendencia (2019). El cultivo de café. agrotendencia. Recuperado de: <https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-cafe/>.
- Altuna, A. L. y Lucas, M. I. (2015). Prefabricated modular straw walls and panels for houses building and building renovation. *Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Ecoeficientes*, pages 818–842. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11441/59665>.
- Alvarez-Castillo, A., García-Hernández, E., Domínguez-Domínguez, M., Granados-Baeza, J., Aguirre-Cruz, A., y Morales-Cepeda, A. (2012). Aprovechamiento integral de los materiales lignocelulósicos. *Revista Iberoamericana de polímeros*, 13(4):140–150.
- ANSI-208.1 (1999). American national standard. particleboard. *Composite Panel Association*.
- ASTM-1037, D. (1999). Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. *ASTM International, West Conshohocken, PA*.
- Badii, M. (2008). La huella ecológica y sustentabilidad. *Revista Daena (International Journal of Good Conscience)*, 3(1).
- Baltierra-Trejo, E., Silva-Espino, E., Márquez-Benavides, L., y Sánchez-Yáñez, J. M. (2016). Inducción de la degradación de lignina de paja de trigo en aromáticos por aspergillus spp. y penicillium chrysogenum. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 7(1):10–19. Recuperado de: [http://www.scielo.org.bo/sciELO.php?script=sci\\_arttext&pid=S2072-92942016000100003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/sciELO.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942016000100003&lng=es&tlng=es).
- Bamaga, O., Thakur, T., y Verma, M. (2003). Assessment of cereal straw availability in combine harvested fields and its recovery by baling. *AGRICULTURAL MECHANIZATION IN ASIA AFRICA AND LATIN AMERICA*, 34(2; SEAS SPR):53–58.
- Barreiro, S. y Hirsch, T. (2011). Protección de la madera.
- Bedoya, C. M. (2011). *Construcción sostenible: para volver al camino*. Biblioteca Jurídica Dike: Mares Consultoría Sostenible.
- BeMiller, J. N. y Whistler, R. L. (2012). *Industrial gums: polysaccharides and their derivatives*. Academic Press.
- Benito, M., Masaguer, A., Moliner, A., y De Antonio, R. (2006). Chemical and physical properties of pruning waste compost and their seasonal variability. *Bioresource technology*, 97(16):2071–2076. [doi.org/10.1016/j.biortech.2005.09.011](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.09.011).

- Benveniste, G., Gazulla, C., Fullana, P., Celades, I., Ros, T., Zaera, V., y Godes, B. (2011). Análisis de ciclo de vida y reglas de categoría de producto en la construcción. el caso de las baldosas cerámicas. *Informes de la Construcción*, 63(522):71–81.
- Bernal, M. S. (2018). Uso de la paja en la construcción de paneles aislantes o estructurales, aprovechamiento de residuos de cereales de la agricultura.
- Borsani, M. S. (2011). Materiales ecológicos: estrategias, alcance y aplicación de los materiales ecológicos como generadores de hábitats urbanos sostenibles. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/2099.1/13759>.
- Bressani, R. (1978). Subproductos del fruto de café. *Pulpa de café: composición, tecnología y utilización*. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Bogotá, Colombia, pages 9–17.
- Burgos, B. P. H. y Aguayo, A. A. A. (2017). Comportamiento de la producción de harina de trigo en Ecuador. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, (236).
- Cadena, C. G. y Silvera, A. J. B. (2011). Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 12(12):1–9.
- Calle, H. (1977). Subproductos del café, nutrición animal. *Boletín Técnico-Centro Nacional de Investigaciones de Café (Colombia)*, (6).
- Castillo Benavides, J. A. (2014). Determinación de parámetros fisicoquímicos y cinéticos de la degradación térmica de broza y cascarilla de café para ser utilizados en simulaciones computacionales del proceso de gasificación.
- Cazalla Vázquez, O. (2002). Morteros de cal: aplicación en el patrimonio histórico. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10481/28626>.
- Coffea, I. (2019). Café arábica, características. coffea iq. Recuperado de: <https://www.coffeeiq.co/cafe-arabica-caracteristicas/>.
- Cury, K., Aguas, Y., Martínez, A., Olivero, R., y Chams, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, pages 122–132. [doi.org/10.24188/recia.v9.ns.2017.530](https://doi.org/10.24188/recia.v9.ns.2017.530).
- Dellavedova, M. (2011). Guía metodológica para la elaboración de una evaluación de impacto ambiental. *La Plata*.
- Edwards, B. y Hyett, P. (2008). Guía básica de la sostenibilidad. Technical report, Gustavo Gili Barcelona.
- ESPAC (2018). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua.
- Fang, S. Q., Zhang, H., Zhang, B. J., y Zheng, Y. (2014). The identification of organic additives in traditional lime mortar. *Journal of Cultural Heritage*, 15(2):144–150. [doi.org/10.1016/j.culher.2013.04.001](https://doi.org/10.1016/j.culher.2013.04.001).

- FNC (2010). Federación nacional de cafeteros de Colombia. historia del café. Bogotá, Colombia. Recuperado de: [http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre\\_el\\_cafe/el\\_cafe/el\\_cafe/](http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_cafe/).
- García, A., Amado, M. G., Campbell, H. E., Brito, R. A., y Toscano, L. (2013). Madera plástica con paja de trigo y matriz polimérica. *Revista Tecnología en Marcha*, 26(3):26–37. doi.org/10.18845/tm.v26i3.1515.
- García, A. P. (2016). Propuesta de diseño para el aprovechamiento de los residuos generados en las actividades de producción de café. caso de estudio: Agroexportadora café de altura, ubicada en tulipe, pichincha, Ecuador. B.S. thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2016. Recuperado de: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/6188>.
- García, F. F. (2012). Meteorología y climatología. aspectos generales. *Índice: Revista De Estadística y Sociedad*, (50):6–9.
- Garzozzi Pincay, R., Messina Scolaro, M., Moncada Marino, C., Ochoa Luna, J., Pérez, G. I., y Zambrano Segura, R. (2014). Planes de negocios para emprendedores.
- Garófalo, J., Ponce, L., y Abad, S. (2011). Guía del cultivo de trigo. Quito, EC: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Cereales.
- Gendelis, S. y Jakovičs, A. (2003). Numerical modelling of airflow and temperature distribution in heated rooms. *Latvian Journal of physics and technical sciences*, (3):12. doi.org/10.2478/v10047-010-0016-z.
- Goma, F. (1979). *El cemento portland y otros aglomerantes*. Reverte.
- González, M. (2000). *Recuperación de morteros romanos de cal y chamota en aplicaciones actuales*. PhD thesis, Doctoral dissertation, Arquitectura. Recuperado de: <http://oa.upm.es/149/>.
- Handreck, K. (1983). Particle size and the physical properties of growing media for containers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 14(3):209–222. doi.org/10.1080/00103628309367357.
- Inat Trigueros, S. (2011). Sistema de plataforma con entramado ligero de madera. puesta en obra y aceptación en España. Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/2099.1/13621>.
- INEC (2018). Instituto nacional de estadística y censos.
- INIAP (2010). Instituto nacional de investigaciones agropecuarias. <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcereal/rtrigo>.
- INIAP (2014). Instituto nacional de investigaciones agropecuarias. <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcafec/rcafer>.
- INIAP (2017). Instituto nacional de investigaciones agropecuarias.

- Iturbe, A. y Guerrero, E. M. (2014). Una aproximación a la huella ecológica de malargüe, argentina. *Revista Estudios Ambientales-Environmental Studies Journal*, 2(2):39–57.
- Juárez, Z. N., Bárceras, M. E., y Hernández, L. R. (2014). El grano de trigo: características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. *Programa de Doctorado en Ciencia de Alimentos*, pages 79 – 93.
- Lemus Muñoz, F. M. (2005). Análisis del efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas del polietileno de alta densidad reforzado con cascarilla de café. B.S. thesis, Bogotá-Uniandes.
- López, D. M. (2019). Módulos termoaislantes para tabiquería interior a base de residuos vegetales. estudio realizado en arenillas, santa rosa y macará. B.S. thesis, Universidad Católica de Cuenca.
- López-Clemente, X. A., Robles-Pérez, C., Velasco-Velasco, V. A., Ruiz-Luna, J., Enríquez-del Valle, J. R., y Rodríguez-Ortiz, G. (2015). Propiedades físicas, químicas y biológicas de tres residuos agrícolas compostados. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 22(2):145–152. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10439327005>.
- MAGAP (2017). Boletín situacional de trigo. *Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca*.
- MAGAP (2018). Rendimientos objetivos de café grano oro en el ecuador. *Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca*.
- Maningat, C. C., Seib, P. A., Bassi, S. D., Woo, K. S., y Lasater, G. D. (2009). Wheat starch: production, properties, modification and uses. *Starch*, pages 441–510. [doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00010-0](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00010-0).
- Manzano, C. D. H. (2012). *El MDF como material escultórico. Estudio analítico, técnico, estructural y comparativo del conglomerado de madera de fibras de densidad media*. PhD thesis, Universidad de Granada.
- Martines, E. y Lira, L. (2010). Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos. In *Simposio de metrología*, pages 27–29.
- Martínez, J., Hernández, J., y Arias, A. (2017). Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de arroz (oryza sativa l) blanco e integral physicochemical and functional properties of white and brown rice (oryza sativa l) starch. *Alimentos Hoy*, 25(41):15–30.
- Martínez, L. (2007). Obtención y caracterización de almidones de malanga, arroz y maíz ceroso modificados por extrusión termoplástica para su uso como encapsulantes de aceite esencial de naranja.
- Merchán, M. E. (2017). Estudio de las variedades de café cultivadas en la zona cálida del azuay, para la aplicación en mezclas con licores ecuatorianos (bachelor's thesis). Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28513>.

- Mercier, D., Dutil, Y., Rouse, D., Pronovost, F., Boudreau, D., Hudon, N., y Castonguay, M. (2011). Los aislamientos térmicos naturales: Construcción ecológica y eficiencia energética. *Ponencia presentada en el Coloquio Universitario Franco-Québécois, Saguenay*.
- Minke, G. y Mahlke, F. (2006). *Manual de construcción con fardos de paja*. Montevideo, Uruguay. Editorial fin de siglo.
- Montes, J. L. (2011). Estudio del efecto de la fibra de bagazo de agave angustifolia haw en la resistencia a flexión y compresión del adobe compactado. Recuperado de: <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/8292>.
- Márquez, M. E. (2014). Caracterización molecular de 297 genotipos de trigo (*triticum aestivum* l.) provenientes del centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo e inferencia de su estructura genética.
- NEC-11 (2011). Norma ecuatoriana de la construcción. eficiencia energética en la construcción en Ecuador. *Quito, Pichincha, Ecuador: MIDUVI*.
- NEC-SE-MD (2014). Estructuras de madera. Recuperado de: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-MD-Estructuras-Madera.pdf>.
- NTC-ISO:14024 (2000). Rótulos y declaraciones ambientales. rotulado ambiental tipo 1. principios y procedimientos.
- NTC:2261 (2003). Tableros de partículas aglomeradas para aplicaciones de interiores no estructurales.
- NTE-INEN:2506 (2009). Eficiencia energética en edificaciones.
- NTE-INEN:296 (2014). Ladrillos cerámicos. determinación de absorción de humedad.
- NTE-INEN:896 (2013). Tableros de madera aglomerada, contrachapada y fibras de madera (mdf). determinación del contenido de humedad. Recuperado de: [https://181.112.149.204/buzon/normas/nte\\_inen\\_896-2.pdf](https://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_896-2.pdf).
- NTE-INEN:897 (2013). Tableros de madera aglomerada, contrachapada y fibras de madera (mdf). determinación de la densidad aparente. Recuperado de: [https://181.112.149.204/buzon/normas/nte\\_inen\\_897-2.pdf](https://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_897-2.pdf).
- Pandey, A., Soccol, C. R., Nigam, P., Brand, D., Mohan, R., y Roussos, S. (2000). Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. *Biochemical Engineering Journal*, 6(2):153–162. [doi.org/10.1016/S1369-703X\(00\)00084-X](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(00)00084-X).
- Payá, M. y Peinado, M. P. (2005). *Aislamiento térmico y acústico*, volume 19. Grupo Planeta (GBS).
- Penadés, B. F. (2017). *Desarrollo de nuevos materiales ecológicos basados en matrices poliméricas de origen renovable y refuerzos de alga de Posidonia Oceánica*. PhD thesis, Universitat Politècnica de València. [doi.org/10.4995/Thesis/10251/86283](https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/86283).

- Peña, B. A. (2016). Panel prefabricado a base de fibras naturales. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25315>.
- Pullas, E. P. (2017). Relación del sector agrícola del trigo en la producción de harina en la provincia de pichincha–ecuador. B.S. thesis, Quito: UCE. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/10891>.
- Rengel Coronel, D. E. (2018). Aglomerantes naturales aplicables a la fibra de totora. B.S. thesis, Carrera de Arquitectura. Recuperado de: <http://dspace.ucacue.edu.ec/handle/reducacue/8177>.
- Romero, E., Montero, G., Toscano, L., Pérez, L., Torres, R., y Beleño, M. (2014). Determinación de los principales componentes de la biomasa lignocelulósica; celulosa, hemicelulosa y lignina de la paja de trigo para su posterior pretratamiento biológico. *XVII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas*, pages 114–118.
- Salazar, J., García, C. D., y Olaya, J. M. (1984). Dosificación de hormigones ligeros con cascarilla de café. *Ingeniería e Investigación*, (8):51–56. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4902793>.
- Salinas, S., Machado, O., Ordoñez, D., y Aquino, I. (2012). Políticas del estado ecuatoriano y su relación con el desarrollo del emprendimiento. *Yachana Revista Científica*.
- Santolaya, C. y Freixa Blanxart, A. (2001). Ntp 590: Prevención de la exposición a formaldehído. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. España*.
- Sastre, S. R. y Muñoz, S. F. (2010). *Propiedades de los materiales y elementos de construcción*. Edicions UPC. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/2099.3/36874>.
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *BioTecnología*, 16(2):14–46.
- Senplades, S. (2017). Plan nacional de desarrollo 2017-2021-toda una vida. *Plan nacional de desarrollo*, 2021:64–69.
- Serra Florensa, R. y Coch Roura, H. (2004). *Arquitectura y energía natural*, volume 17. Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica.
- Simbaña, A. (2010). Fibras naturales y residuos agroindustriales. fuente sostenible de materia prima. *REVISTA CIENTÍFICA AXIOMA*, 1(6):15–16. Recuperado de <http://pucesinews.pucesi.edu.ec/index.php/axioma/article/view/308>.
- Sotomayor, I. A. y Duicela, L. (1995). Inventario tecnológico del cultivo de café.
- Stulz, R., Mukerji, K., y Klein, M. (1993). Materiales de construcción apropiados. *Catálogo de soluciones potenciales revisado edición ampliado. Tierra, suelo, laterita*.
- Sánchez, F. P. (2001). *Protección preventiva de la madera*. AITIM.

- Tapia, C., Paredes, C., Simbaña, A., y Bermúdez, J. (2006). Aplicación de las fibras naturales en el desarrollo de materiales compuestos y como biomasa. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 19(1). Recuperado de: <http://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/210>.
- Tomás-Pejó, M. E. (2010). *Bioetanol de paja de trigo: Estrategias de integración de las etapas de proceso*. PhD thesis, Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones. Recuperado de: <https://eprints.ucm.es/10802/>.
- Valencia, N. (2000). Manejo de residuos en la agroindustria cafetera. *Chinchina, Caldas*, pages 1–10.
- Wackernagel, M. y Rees, W. (1998). *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth*, volume 9. New society publishers.

# ANEXOS

Entrevistas

Análisis Térmico

APUS

Especificaciones Técnicas

Lámina resumen

# ANEXO 1

## Entrevista en finca cafetera en Zaruma, Ecuador

### Entrevista a Lucia Murillo

Por Christian Segarra

En esta mañana 22 de agosto de 2019, me encuentro con la señora Lucia Murillo en su Finca ubicada en la parroquia Muluncay en el cantón Zaruma perteneciente a la provincia de El Oro, quien contestará algunas preguntas relacionadas con la temática analizada.

**Señora Lucia, como ya hemos conversado anteriormente, el trabajo de titulación que llevo a esta basado en una investigación para el aprovechamiento de desechos agroindustriales y el café es un recurso que genera desechos en su producción.**

**¿Cuántos años lleva en esta actividad?**

Bueno, en realidad esta es una actividad que realizamos en la familia desde mis abuelos, toda mi vida hasta ahora mis 43 años la sigo realizando.

**¿Qué cargo realiza en la finca?**

Soy la propietaria con mi padre, pero por su edad ya no puede hacer mucho

**Con respecto a la producción del café se generan desperdicios como es la cascarilla, ¿Qué uso de dan a esta?**

En realidad no tiene ningún uso, lo que se hace con este es tirarlo en las plantaciones mismas de café como abono orgánico.

**Una vez recolectado los frutos, ¿qué proceso usan para separar la cascara del grano de café?**

Se utiliza el proceso húmedo del café

**¿En que consiste ese proceso?**

El proceso húmedo consiste en que usted cosecha el grano así rojito, lo lava para que vayan todas esa basuritas, entonces en el agua todas esas basuritas se alzan, se separan los granos malos también que tienen algún defecto y de allí va a la despulpadora para sacarle la corteza roja y de allí lo deja fermentar entre unas 13 a 15 horas, entonces eso generalmente se lo hace en la tarde para que al siguiente día en la mañana lavar, entonces este mucilago se desprende con lo que se fermenta y al otro día se lava y se pone a secar. En cambio el otro proceso del café que estaba en bola se lo recolecta y se lo pone a secar.

**¿En que épocas del mes se cosecha el fruto?**

Recién estamos terminando la cosecha, entre mayo y junio

**¿Solo en estos dos meses al año?**

Si, es que esta es la época seca entonces a partir de mayo, junio, julio deja de llover

**Durante el resto del año, ¿se mantiene parada la producción?**

Claro, es que ahora el café entra en periodo de resaca hasta que llueve y florece nuevamente, generalmente florece en el mes de octubre, pero le cuento que ahora va a florecer mas pronto si es que la flor no se daña porque hace unos 10 días cayo un

pequeña llovizna, entonces eso hizo que la flor estaba allí pequeña como que ya extendía, entonces si no vuelve a llover o si no se lo riega esa flor se va a dañar.

**En los meses de producción que me dijo de mayo y julio, ¿cuál es la cantidad de café que se produce?**

Bueno realmente la producción de nosotros es poca porque como le decía estamos renovando entonces lo que es café nuevo esta empezando a producir, este año hemos de tener cerca de unos 8 quintales de producto final.

**Las cafeteras que tienen mas tiempo o son mas grandes en la zona ¿qué cantidad producen?**

Eso es lo que le decía realmente no hay mucho café, porque somos pequeños productores todos, no hay alguien que tenga una finca grande en la que se produzca grandes cantidades.

**En su finca, ¿cuantas hectáreas o metro cuadrados de cultivo tiene?**

Tenemos en total 3,2 hectáreas mas o menos de café sembrado

**En el proceso seco que se le da al café bola, ¿cuál es la cantidad de cascarilla que se saca, con respecto al grano de café?**

Me la puso difícil pues como al café bola se lo lleva y se lo hace pilar en Piñas, pero mas o menos para que quede un quintal de café mas o menos el saco pesa como 1,25 entonces seria entre unas 20 a 25 libras por quintal de café lo que da de cascara.

Fabricio el dueño de la apiladora en Piñas me dice que es mas o menos entre un 60% grano de café y 40% de cascara.

**Bueno, sin mas dudas me despido agradecido por la información que me a dado.**

De nada un gusto ayudarle.

Lugar: Cantón Zaruma, Parroquia Muluncay.

## **Entrevista en finca cafetera en Santa Isabel, Ecuador**

### **Entrevista a Vinicio Villacis**

Por Christian Segarra

En esta mañana 01 de septiembre de 2019, me encuentro con el señor Vinicio Villacis en su Finca ubicada en el catón Santa Isabel, dentro de la parroquia Abdón Calderón, en Azuay, quien contestará algunas preguntas relacionadas con la temática analizada.

**Señor Vinicio, como ya le he comentado, el trabajo de titulación que realizo se basa en una investigación para el aprovechamiento de residuos agroindustriales y el café es un recurso que genera desechos en su producción.**

**¿Cuántos años lleva en esta actividad?**

Toda la vida, ha sido una actividad que hemos realizado desde mis padres, y no solo aquí si no en varias partes de la zona de yunguilla, hasta hoy en mi 78 años la seguimos realizando.

**¿Qué cargo realiza en la finca?**

Soy el propietario con mi esposa.

**En la producción del café hay desperdicios como la cascarilla, ¿Qué uso de dan a esta?**

Nada en realidad no se usa para nada, toda esa cascarilla se vota en las huertas de café ára abono.

**¿Qué proceso usan para separar la cascara del grano de café?**

Bueno en primer lugar luego de recolectar el grano durante los meses de mayo – junio mas o menos, se esparcen los frutos en los galpones durante unas dos semanas mas o menos, ese resultado de secado aquí se conoce como café bola. Luego ese tiempo ya podemos producir el café para el consumo, lo que hacemos es recoger el café bola y pilamos en un molino para separar la cascarilla del grano, luego hacemos el aventado para separar las basuras y manualmente vamos clasificando la cascarilla del grano y ya luego el grano de café se tuesta y se muele para obtener el café en polvo.

**¿En que épocas del mes se cosecha el fruto?**

Entre los meses de mayo a junio, a veces hasta julio también.

**Durante el resto del año, ¿se mantiene parada la producción?**

No en realidad, durante los meses de cosecha se recolecta grandes cantidades de café y se mantienen almacenados en los galpones el café bola seco entonces durante todo el año mantenemos produciendo café constantemente.

**En los meses de producción que me dijo de mayo y julio, ¿cuál es la cantidad de café que se produce?**

Bueno realmente la producción de nosotros no es netamente comercial, vendemos a personas conocidas de aquí mismo, o para nuestra familia que vive en cuenca y si se comercializa un poco en cuenca pero es a personas conocida, mas se cosecha para uso propio del café

**Las cafeteras que tienen mas tiempo o son mas grandes en la zona ¿qué cantidad producen?**

Eso no le podría decir porque desconozco la verdad, pero en los últimos años el INIAP a invertido en plantas y semillas para el cultivo de café en todo Santa Isabel, entonces la producción de café aumentando en gran cantidad aquí.

**En su finca, ¿cuantas hectáreas o metro cuadrados de cultivo tiene?**

Tenemos mas o menos 1 hectárea de huertas con café

**En el proceso seco que se le da al café bola, ¿cuál es la cantidad de cascarilla que se saca, con respecto al grano de café?**

Va entre mitad y mitad creería yo, pero podemos hacer la prueba haciendo el proceso y separando la cascarilla para saber.

Se realizo un ensayo donde pilamos 1000g de café bola para separar la cascarilla del grano de café.

**Bueno, sin mas dudas me despido agradecido por la información que me a dado.**

Ya sabe estamos para ayudarle.

Lugar: Cantón Santa Isabel, Parroquia Abdón Calderón.

**Entrevista en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Pesca (INIAP) en Gualaceo, Ecuador**

**Entrevista al Ing. Jorge Coronel**

Por Christian Segarra

En esta tarde 23 de octubre de 2019, me encuentro con el Ingeniero Jorge Coronel investigador auxiliar en el INIAP ubicado en el cantón Gualaceo en la provincia del Azuay, quien contestará algunas preguntas relacionadas con la temática analizada.

**Ingeniero, como ya le he comentado, el trabajo de titulación que realizo se basa en una investigación para el aprovechamiento de residuos agroindustriales y la paja de trigo es un recurso que genera desechos en su producción.**

**Luego de cultivado el trigo, ¿cuanto tiempo se necesita para cosecharlo?**

Bueno, en realidad para saber cuando el trigo ya esta maduro y realizar la cosecha, se observa el color inicial que tiene que es verdoso a cuando cambia a un color seco amarillento, cuando las plantas de trigo ya tiene esta coloración amarillenta como que se empieza a secar ya se puede empezar la cosecha, esto ocurre aproximadamente en unos 6 meses luego de sembrar.

**¿Cuál es el proceso de cosecha del trigo?**

Existen dos formas de cosechar una manual y otra mediante maquinaria, la manual se hace con una oz cortando desde la parte mas baja. La forma mas rápido y la que se usa dentro del instituto es con el uso de una empacadora, lo que hace esta empacadora es ir cortando las plantas de trigo y haciendo el trillado que consiste en separar los granos de trigo de la paja.

**¿Cómo se almacena la paja de trigo o que uso se le da?**

La empacadora se encarga de compactar la paja y hacer fardos que en realidad no tiene ningún uso posterior mas que servir de alimento para los animales.

**¿Cuáles son las dimensiones de los fardos?**

Exactamente no se, pero vamos y les medimos.

Las dimensiones tomadas de un fardo de paja dentro del INIAP son de 35 x 50 x 70 cm

**Dentro de un articulo leí que para el caso del trigo por cada kg de grano se produce 1.1 kg de paja ¿Estos datos son correctos o como se podría analizar esto?**

Exactamente no sabría ese dato ahora, pero con la experiencia dentro del INIAP le podría decir que si debe ser esas diferencia, ya que aquí se obtiene bastante paja luego de las cosechas.

**Bueno, sin mas dudas me despido agradecido por la información que me a dado.**

Lugar: Cantón Gualaceo.

## ANEXO 2

| FECHA            | HORA    | TEMPERATURA AIRE EXT. (°C) | TEMPERATURA AIRE INT. (°C) | TEMPERATURA PLACA EXT (°C) | TEMPERATURA PLACA INT (°C) | VELOCIDAD DEL VIENTO EXT. (m/s) |
|------------------|---------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 4-oct-20         | 8 h 00  | 12,6                       | 14,2                       | 14,2                       | 14,4                       | 0,456                           |
|                  | 8 h 15  | 13,7                       | 13,4                       | 14,6                       | 14,4                       | 0,027                           |
|                  | 8 h 30  | 13                         | 13,4                       | 16,1                       | 15,5                       | 0,804                           |
|                  | 8 h 45  | 30,8                       | 14,5                       | 28,8                       | 21,4                       | 0                               |
|                  | 9 h 00  | 17,5                       | 18,3                       | 20,8                       | 19,5                       | 0,071                           |
|                  | 9 h 15  | 22,9                       | 22                         | 23                         | 20,8                       | 0,507                           |
|                  | 9 h 30  | 20,4                       | 23,4                       | 22                         | 21,1                       | 0,383                           |
|                  | 9 h 45  | 17,3                       | 23,4                       | 22,3                       | 21,9                       | 0,052                           |
|                  | 10 h 00 | 16,3                       | 23,2                       | 20,9                       | 21,5                       | 0,262                           |
|                  | 10 h 15 | 14,9                       | 23,1                       | 18,8                       | 20,2                       | 0,399                           |
|                  | 10 h 30 | 16,6                       | 22,7                       | 20,3                       | 20,2                       | 0                               |
|                  | 10 h 45 | 20,4                       | 22,6                       | 24                         | 21,2                       | 0,858                           |
|                  | 11 h 00 | 15,8                       | 23,2                       | 19                         | 20,5                       | 0,267                           |
|                  | 11 h 15 | 15,1                       | 22,8                       | 18,4                       | 19,5                       | 0                               |
|                  | 11 h 30 | 16,5                       | 22                         | 18,6                       | 18,2                       | 0,493                           |
|                  | 11 h 45 | 20,2                       | 21,7                       | 22,1                       | 20,5                       | 1,335                           |
|                  | 12 h 00 | 16,5                       | 22,6                       | 20,2                       | 20,7                       | 0,328                           |
|                  | 12 h 15 | 23,7                       | 22,7                       | 22,5                       | 21,3                       | 1,591                           |
|                  | 12 h 30 | 18,3                       | 23                         | 20,6                       | 21,3                       | 0,245                           |
|                  | 12 h 45 | 15,4                       | 23,1                       | 18,8                       | 20,2                       | 0,108                           |
| 13 h 00          | 15,2    | 22,6                       | 18,2                       | 19,3                       | 0,585                      |                                 |
| 13 h 15          | 14,2    | 21,3                       | 17,9                       | 19,2                       | 0,237                      |                                 |
| 13 h 30          | 14,3    | 20,2                       | 17,5                       | 18,4                       | 0,641                      |                                 |
| 13 h 45          | 12,5    | 19,3                       | 16,9                       | 18,1                       | 0,378                      |                                 |
| 14 h 00          | 13,3    | 18,4                       | 17,4                       | 18,1                       | 0                          |                                 |
| 6-oct-20         | 14 h 15 | 19,3                       | 17,7                       | 20,7                       | 19,8                       | 0,201                           |
|                  | 14 h 30 | 22,6                       | 18,6                       | 22,2                       | 20,5                       | 0,434                           |
|                  | 14 h 45 | 19,3                       | 20,2                       | 20,8                       | 20,2                       | 0,307                           |
|                  | 15 h 00 | 20,8                       | 21,3                       | 21,3                       | 19,9                       | 1,115                           |
|                  | 15 h 15 | 17,1                       | 21,8                       | 19,3                       | 19,7                       | 0,277                           |
|                  | 15 h 30 | 17,4                       | 21,7                       | 19,2                       | 19,6                       | 0,605                           |
|                  | 15 h 45 | 16,2                       | 21,5                       | 18,5                       | 19,4                       | 0,016                           |
|                  | 16 h 00 | 16,3                       | 20,6                       | 18,8                       | 19,2                       | 0,216                           |
|                  | 16 h 15 | 16,5                       | 20,5                       | 18,9                       | 19,1                       | 0,342                           |
|                  | 16 h 30 | 15,5                       | 20,2                       | 18,1                       | 21,7                       | 1,037                           |
|                  | 16 h 45 | 14,8                       | 20                         | 17,4                       | 21,2                       | 0,474                           |
|                  | 17 h 00 | 13,5                       | 19,8                       | 16,6                       | 20,5                       | 0,855                           |
|                  | 17 h 15 | 13,2                       | 19,7                       | 16,5                       | 20,1                       | 0                               |
|                  | 17 h 30 | 13                         | 19,5                       | 16,3                       | 20,1                       | 0,723                           |
|                  | 17 h 45 | 12,6                       | 19,4                       | 15,5                       | 19,1                       | 0                               |
|                  | 18 h 00 | 12,4                       | 19,1                       | 15,2                       | 18,4                       | 0,119                           |
|                  | 18 h 15 | 12,1                       | 18                         | 14,9                       | 18,4                       | 0,362                           |
|                  | 18 h 30 | 11,9                       | 18,8                       | 14,7                       | 18,5                       | 0                               |
| 18 h 45          | 12      | 18,8                       | 14,5                       | 18,7                       | 0                          |                                 |
| 19 h 00          | 11,9    | 18,5                       | 14,3                       | 18,7                       | 0                          |                                 |
| <b>PROMEDIOS</b> |         | <b>16,35</b>               | <b>20,28</b>               | <b>18,84</b>               | <b>19,56</b>               | <b>0,39</b>                     |

| HORA            | TEMPERATURA AIRE EXT. (°C) | TEMPERATURA AIRE INT. (°C) | TEMPERATURA PLACA EXT (°C) | TEMPERATURA PLACA INT (°C) | Q     | R    | K    |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------|------|------|
| 19h10           | 12,6                       | 31,1                       | 16                         | 24,3                       | 12,59 | 0,66 | 0,03 |
| 19h15           | 12,5                       | 30,8                       | 17,6                       | 23                         | 12,45 | 0,43 | 0,05 |
| 19h20           | 12,6                       | 29,4                       | 18,2                       | 22,1                       | 11,43 | 0,34 | 0,07 |
| 19h25           | 12,5                       | 29,8                       | 16,6                       | 23,2                       | 11,77 | 0,56 | 0,04 |
| 19h30           | 12,40                      | 28,90                      | 17,80                      | 22,00                      | 11,23 | 0,37 | 0,06 |
| <b>Promedio</b> | <b>12,52</b>               | <b>30,00</b>               | <b>17,24</b>               | <b>22,92</b>               | 11,89 | 0,48 | 0,05 |

### ANEXO 3

| Análisis de Precio Unitario (APU) |                                                               |                       |        |                 |       |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------|--------|-----------------|-------|
| <b>Rubro:</b>                     | Elemento constructivo de fibras naturales 30 x 30 cm e=1,8 cm |                       |        |                 |       |
| <b>Unidad:</b>                    | U                                                             |                       |        |                 |       |
| Equipo y Herramienta              |                                                               |                       |        |                 |       |
| Descripción                       | Unidad                                                        | Cantidad              | Precio | Rendimiento     | Total |
| Herramienta menor                 |                                                               | 5% de la mano de obra |        |                 | 0,02  |
|                                   |                                                               |                       |        | <b>Subtotal</b> | 0,02  |
| Materiales                        |                                                               |                       |        |                 |       |
| Descripción                       | Unidad                                                        | Cantidad              | Precio |                 | Total |
| Paja de trigo                     | kg                                                            | 0,23                  | 1,00   |                 | 0,23  |
| Cascarilla de café                | kg                                                            | 0,26                  | 0,29   |                 | 0,08  |
| Cal                               | kg                                                            | 0,03                  | 3,12   |                 | 0,09  |
| Arroz molido                      | kg                                                            | 0,11                  | 1,47   |                 | 0,17  |
| Agua                              | m3                                                            | 0,00                  | 0,50   |                 | 0,00  |
| Acido Bórico                      | kg                                                            | 0,00                  | 5,00   |                 | 0,01  |
| Laca sellador                     | lt                                                            | 0,16                  | 2,55   |                 | 0,41  |
| Pintura plástica                  | lt                                                            | 0,00                  | 8,00   |                 | 0,00  |
|                                   |                                                               |                       |        | <b>Subtotal</b> | 0,97  |
| Mano de obra                      |                                                               |                       |        |                 |       |
| Descripción                       |                                                               | Número                | SRH    | Rendimiento     | Total |
| Peón                              |                                                               | 1                     | 3,51   | 0,1             | 0,351 |
|                                   |                                                               |                       |        | <b>Subtotal</b> | 0,351 |
| Transporte                        |                                                               |                       |        |                 |       |
| Descripción                       | Unidad                                                        | Cantidad              | Precio |                 | Total |
| Fardos de paja de trigo           | kg                                                            | 18                    | 0,005  |                 | 0,09  |
| Cascarilla de café                | kg                                                            | 27,21                 | 0,005  |                 | 0,14  |
|                                   |                                                               |                       |        | <b>Subtotal</b> | 0,23  |
| <b>Total Costos Directos</b>      |                                                               |                       |        |                 | 1,57  |
| <b>Costos Indirectos</b>          |                                                               |                       |        |                 | 0,19  |
| <b>Total</b>                      |                                                               |                       |        |                 | 1,76  |
| <b>Valor ofertado</b>             |                                                               |                       |        |                 | 1,76  |

| Análisis de Precio Unitario (APU) |                                                               |                       |        |                 |       |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------|--------|-----------------|-------|
| <b>Rubro:</b>                     | Elemento constructivo de fibras naturales 30 x 30 cm e=1,8 cm |                       |        |                 |       |
| <b>Unidad:</b>                    | U                                                             |                       |        |                 |       |
| Equipo y Herramienta              |                                                               |                       |        |                 |       |
| Descripción                       | Unidad                                                        | Cantidad              | Precio | Rendimiento     | Total |
| Herramienta menor                 |                                                               | 5% de la mano de obra |        |                 | 0,02  |
|                                   |                                                               |                       |        | <b>Subtotal</b> | 0,02  |
| Materiales                        |                                                               |                       |        |                 |       |
| Descripción                       | Unidad                                                        | Cantidad              | Precio |                 | Total |
| Paja de trigo                     | kg                                                            | 0,23                  | 1,00   |                 | 0,23  |
| Cascarilla de café                | kg                                                            | 0,26                  | 0,29   |                 | 0,08  |
| Cal                               | kg                                                            | 0,03                  | 3,12   |                 | 0,09  |
| Arroz molido                      | kg                                                            | 0,11                  | 1,47   |                 | 0,17  |
| Agua                              | m3                                                            | 0,00                  | 0,50   |                 | 0,00  |
| Acido Bórico                      | kg                                                            | 0,00                  | 5,00   |                 | 0,01  |
| Laca sellador                     | lt                                                            | 0,16                  | 2,55   |                 | 0,41  |
| Pintura plástica                  | lt                                                            | 0,10                  | 7,00   |                 | 0,70  |
|                                   |                                                               |                       |        | <b>Subtotal</b> | 1,67  |
| Mano de obra                      |                                                               |                       |        |                 |       |
| Descripción                       |                                                               | Número                | SRH    | Rendimiento     | Total |
| Peón                              |                                                               | 1                     | 3,51   | 0,1             | 0,351 |
|                                   |                                                               |                       |        | <b>Subtotal</b> | 0,351 |
| Transporte                        |                                                               |                       |        |                 |       |
| Descripción                       | Unidad                                                        | Cantidad              | Precio |                 | Total |
| Fardos de paja de trigo           | kg                                                            | 18                    | 0,005  |                 | 0,09  |
| Cascarilla de café                | kg                                                            | 27,21                 | 0,005  |                 | 0,14  |
|                                   |                                                               |                       |        | <b>Subtotal</b> | 0,23  |
| <b>Total Costos Directos</b>      |                                                               |                       |        |                 | 2,27  |
| <b>Costos Indirectos</b>          |                                                               |                       |        |                 | 0,27  |
| <b>Total</b>                      |                                                               |                       |        |                 | 2,54  |
| <b>Valor ofertado</b>             |                                                               |                       |        |                 | 2,54  |

| Análisis de Precio Unitario (APU) |                                                                                    |          |        |                 |       |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|-----------------|-------|
| <b>Rubro:</b>                     | Instalación de entramado y colocación de elemento constructivo de fibras vegetales |          |        |                 |       |
| <b>Unidad:</b>                    | m2                                                                                 |          |        |                 |       |
| Equipo y Herramienta              |                                                                                    |          |        |                 |       |
| Descripción                       | Unidad                                                                             | Cantidad | Precio | Rendimiento     | Total |
| Herramienta menor                 | 5% de la mano de obra                                                              |          |        |                 | 0,04  |
|                                   |                                                                                    |          |        | <b>Subtotal</b> | 0,04  |
| Materiales                        |                                                                                    |          |        |                 |       |
| Descripción                       | Unidad                                                                             | Cantidad | Precio |                 | Total |
| Elemento de fibras vegetales      | u                                                                                  | 12       | 1,76   |                 | 21,09 |
| Tira de madera 10 x 5 cm          | ml                                                                                 | 5        | 0,40   |                 | 2     |
| Tornillo autorroscante            | u                                                                                  | 50       | 0,03   |                 | 1,5   |
|                                   |                                                                                    |          |        |                 |       |
|                                   |                                                                                    |          |        | <b>Subtotal</b> | 24,59 |
| Mano de obra                      |                                                                                    |          |        |                 |       |
| Descripción                       |                                                                                    | Número   | SRH    | Rendimiento     | Total |
| Peón                              |                                                                                    | 2        | 3,51   | 0,1             | 0,70  |
|                                   |                                                                                    |          |        | <b>Subtotal</b> | 0,70  |
| Transporte                        |                                                                                    |          |        |                 |       |
| Descripción                       | Unidad                                                                             | Cantidad | Precio |                 | Total |
|                                   |                                                                                    |          |        |                 |       |
|                                   |                                                                                    |          |        |                 |       |
|                                   |                                                                                    |          |        | <b>Subtotal</b> | 0     |
| <b>Total Costos Directos</b>      |                                                                                    |          |        |                 | 25,33 |
| <b>Costos Indirectos</b>          |                                                                                    |          |        |                 | 3,04  |
| <b>Total</b>                      |                                                                                    |          |        |                 | 28,37 |
| <b>Valor ofertado</b>             |                                                                                    |          |        |                 | 28,37 |

| Análisis de Precio Unitario (APU) |                                                                                    |                       |               |                    |              |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|--------------------|--------------|
| <b>Rubro:</b>                     | Instalación de entramado y colocación de elemento constructivo de fibras vegetales |                       |               |                    |              |
| <b>Unidad:</b>                    | m2                                                                                 |                       |               |                    |              |
| <b>Equipo y Herramienta</b>       |                                                                                    |                       |               |                    |              |
| <b>Descripción</b>                | <b>Unidad</b>                                                                      | <b>Cantidad</b>       | <b>Precio</b> | <b>Rendimiento</b> | <b>Total</b> |
| Herramienta menor                 |                                                                                    | 5% de la mano de obra |               |                    | 0,04         |
|                                   |                                                                                    |                       |               | <b>Subtotal</b>    | 0,04         |
| <b>Materiales</b>                 |                                                                                    |                       |               |                    |              |
| <b>Descripción</b>                | <b>Unidad</b>                                                                      | <b>Cantidad</b>       | <b>Precio</b> |                    | <b>Total</b> |
| Elemento de fibras vegetales      | u                                                                                  | 12                    | 2,54          |                    | 30,50        |
| Tira de madera 10 x 5 cm          | ml                                                                                 | 5                     | 0,40          |                    | 2            |
| Tornillo autorroscante            | u                                                                                  | 50                    | 0,03          |                    | 1,5          |
|                                   |                                                                                    |                       |               |                    |              |
|                                   |                                                                                    |                       |               | <b>Subtotal</b>    | 34,00        |
| <b>Mano de obra</b>               |                                                                                    |                       |               |                    |              |
| <b>Descripción</b>                |                                                                                    | <b>Número</b>         | <b>SRH</b>    | <b>Rendimiento</b> | <b>Total</b> |
| Peón                              |                                                                                    | 2                     | 3,51          | 0,1                | 0,70         |
|                                   |                                                                                    |                       |               | <b>Subtotal</b>    | 0,70         |
| <b>Transporte</b>                 |                                                                                    |                       |               |                    |              |
| <b>Descripción</b>                | <b>Unidad</b>                                                                      | <b>Cantidad</b>       | <b>Precio</b> |                    | <b>Total</b> |
|                                   |                                                                                    |                       |               |                    |              |
|                                   |                                                                                    |                       |               |                    |              |
|                                   |                                                                                    |                       |               | <b>Subtotal</b>    | 0            |
| <b>Total Costos Directos</b>      |                                                                                    |                       |               |                    | 34,73        |
| <b>Costos Indirectos</b>          |                                                                                    |                       |               |                    | 4,17         |
| <b>Total</b>                      |                                                                                    |                       |               |                    | 38,90        |
| <b>Valor ofertado</b>             |                                                                                    |                       |               |                    | 38,90        |

# ESPECIFICACIONES TECNICAS





**Formato:**  
300 x 300 mm  
**Esperor:**  
18 mm  
**Acabado:**  
Laca Natural  
**Peso:**  
1.1 kg  
**Densidad:**  
757.74 kg/cm<sup>3</sup>

**Humedad:**  
5.29 %  
**Módulo de Rotura:**  
33.92 kg/cm<sup>2</sup>  
**Módulo de Elasticidad:**  
33.30 kg/cm<sup>2</sup>  
**Coef. Aislamiento  
Térmico:**  
0.05 W/m<sup>2</sup>K



**Formato:**  
300 x 300 mm  
**Esperor:**  
15 mm  
**Acabado:**  
Laca Natural -  
Relieve  
**Peso:**  
0.83 kg  
**Densidad:**  
757.74 kg/cm<sup>3</sup>

**Humedad:**  
5.29 %  
**Módulo de Rotura:**  
33.92 kg/cm<sup>2</sup>  
**Módulo de Elasticidad:**  
33.30 kg/cm<sup>2</sup>  
**Coef. Aislamiento  
Térmico:**  
0.05 W/m<sup>2</sup>K



**Formato:**  
300 x 300 mm  
**Esperor:**  
18 mm  
**Acabado:**  
Color turquesa  
**Peso:**  
1.05 kg  
**Densidad:**  
757.74 kg/cm<sup>3</sup>

**Humedad:**  
5.29 %  
**Módulo de Rotura:**  
33.92 kg/cm<sup>2</sup>  
**Módulo de Elasticidad:**  
33.30 kg/cm<sup>2</sup>  
**Coef. Aislamiento  
Térmico:**  
0.05 W/m<sup>2</sup>K



**Formato:**  
300 x 300 mm  
**Esperor:**  
17 mm  
**Acabado:**  
Color turquesa -  
Relieve  
**Peso:**  
0.97 kg  
**Densidad:**  
757.74 kg/cm<sup>3</sup>

**Humedad:**  
5.29 %  
**Módulo de Rotura:**  
33.92 kg/cm<sup>2</sup>  
**Módulo de Elasticidad:**  
33.30 kg/cm<sup>2</sup>  
**Coef. Aislamiento  
Térmico:**  
0.05 W/m<sup>2</sup>K



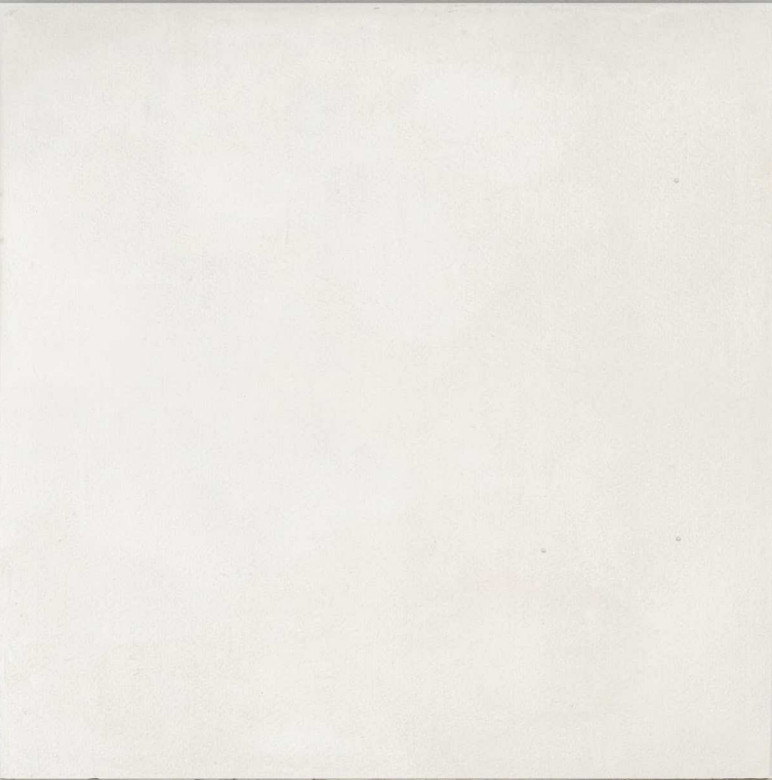
**Formato:**  
300 x 300 mm  
**Esperor:**  
18 mm  
**Acabado:**  
Color vino  
**Peso:**  
1.1 kg  
**Densidad:**  
757.74 kg/cm<sup>3</sup>

**Humedad:**  
5.29 %  
**Módulo de Rotura:**  
33.92 kg/cm<sup>2</sup>  
**Módulo de Elasticidad:**  
33.30 kg/cm<sup>2</sup>  
**Coef. Aislamiento  
Térmico:**  
0.05 W/m<sup>2</sup>K



**Formato:**  
300 x 300 mm  
**Esperor:**  
17 mm  
**Acabado:**  
Color vino -  
Relieve  
**Peso:**  
0.96 kg  
**Densidad:**  
757.74 kg/cm<sup>3</sup>

**Humedad:**  
5.29 %  
**Módulo de Rotura:**  
33.92 kg/cm<sup>2</sup>  
**Módulo de Elasticidad:**  
33.30 kg/cm<sup>2</sup>  
**Coef. Aislamiento  
Térmico:**  
0.05 W/m<sup>2</sup>K



**Formato:**  
300 x 300 mm  
**Esperor:**  
25 mm  
**Acabado:**  
Yeso  
**Peso:**  
1.9 kg  
**Densidad:**  
757.74 kg/cm<sup>3</sup>

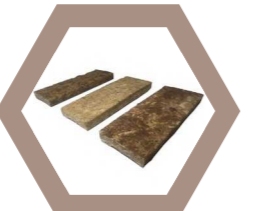
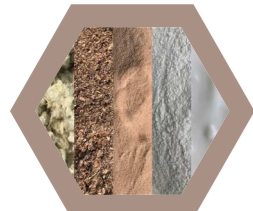
**Humedad:**  
5.29 %  
**Módulo de Rotura:**  
33.92 kg/cm<sup>2</sup>  
**Módulo de Elasticidad:**  
33.30 kg/cm<sup>2</sup>  
**Coef. Aislamiento  
Térmico:**  
0.05 W/m<sup>2</sup>K

# ELEMENTOS MODULARES

**PROBLEMÁTICA.** Desde un punto de vista global hacia la huella ecológica, se estima en 1,8 ha. la biocapacidad del planeta por habitante, pero el consumo medio por habitante y año es de 2,7 hectáreas, es decir, a nivel global se consume 30% más recursos y genera más residuos de lo que el planeta pueda generar y admitir. La industria de la construcción absorbe el 50% de los recursos mundiales, convirtiéndola en la actividad menos sostenible del planeta al explotar irracionalmente recursos naturales no renovables, siendo una gran fuente de contaminación. Por otro lado, las actividades agrícolas generan factores de desecho o acumulación de residuos, ocasionando un impacto ambiental significativo, que en muchos casos estos desechos son quemados generando emisiones de metano, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, hidrocarburos y partículas menores a 10 micras, consecuencia de ello representa efectos negativos en la salud.

La condición de esta compleja realidad desde un punto de vista de riesgo ambiental dentro del campo de la construcción, hace propicio abordarlo a fin de desarrollar alternativas tecnológicas que permita minimizar el impacto ecológico y la utilización de recursos naturales

## Diseño Experimental. Fase 1



### Mezcla y Dosificación

Se plantearon pruebas experimentales con fibras naturales de cascavilla de café y paja de trigo, arcilla, cal y engrudo de arroz. Se elaboraron seis dosificaciones diferentes para evaluar sus características

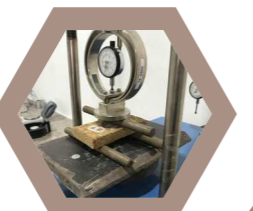
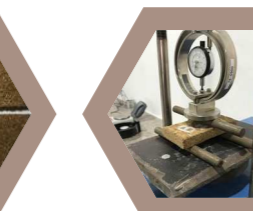
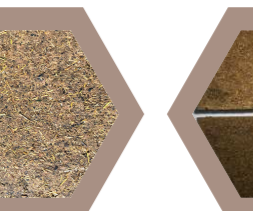
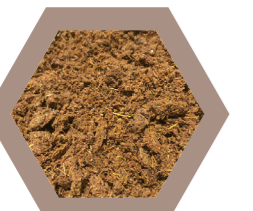
### Ensayo de Compresión

Se elaboraron seis probetas cúbicas para someterlas al ensayo de compresión, obteniendo resultados acordes a las normativas aplicadas; la mayor resistencia obtenida es de 33.30 kg/cm<sup>2</sup>

### Ensayo de Flexión

Se elaboraron seis probetas rectangulares para ejecutar el ensayo de flexión, donde los resultados no alcanzaron la resistencia mínima establecida en las normativas. Sin embargo la máxima resistencia fue de 11.64 kg/cm<sup>2</sup>

## Diseño Experimental. Fase 2



### Mezcla y Dosificación

En la primera fase se determinó la mezcla base de acuerdo a los resultados. Las dosificaciones fueron aumentando secuencialmente sus cantidades en los diferentes componentes, partiendo de la mezcla base

### Densidad

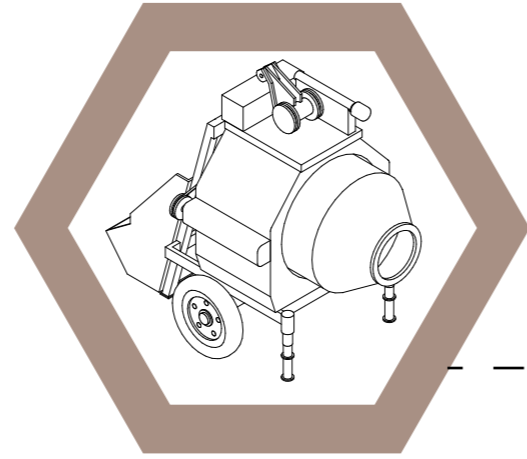
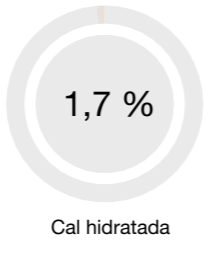
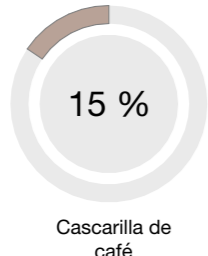
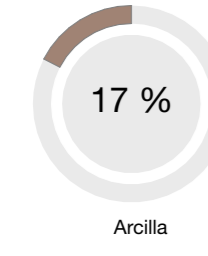
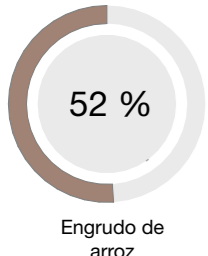
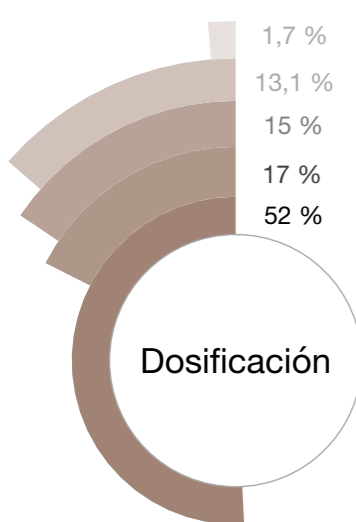
Se determinó la densidad del material y se lo clasificó de acuerdo a las nuevas dosificaciones en elementos de media y alta densidad.

### Contenido de Humedad

Se aplicó un ensayo de contenido de humedad obteniendo como resultado un contenido de humedad en las probetas en un rango de 4.35% - 5.29%.

### Ensayo de Flexión

Se elaboraron cuatro probetas rectangulares para determinar el ensayo a flexión, obteniendo una resistencia de 33.92 kg/cm<sup>2</sup> acorde a las normativas aplicadas.

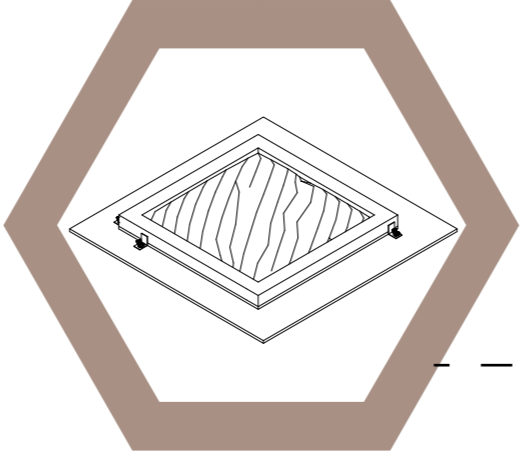
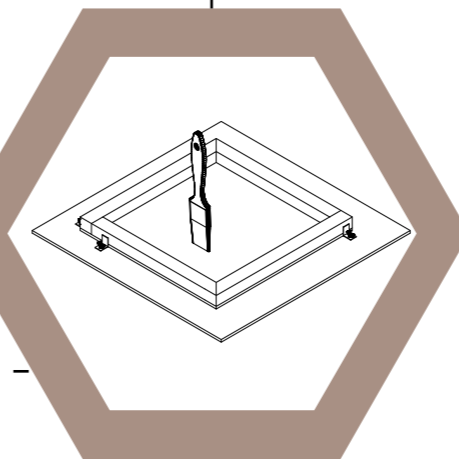


1

El mezclado de los elementos se realiza en recipientes metálicos a mano o mediante una mezcladora eléctrica. En primer lugar se mezcla las fibras de trigo y café con el aglomerante, posteriormente se agrega arcilla y cal hidratada hasta obtener una mezcla homogénea.

2

Se aplica deséel en el interior del molde como desmoldante, evitando que el material se adhiera a la estructura del molde.

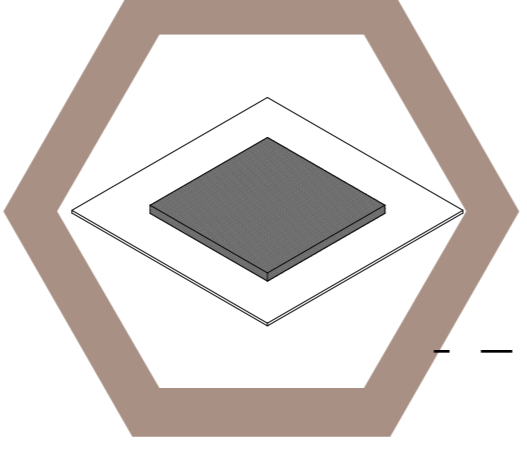
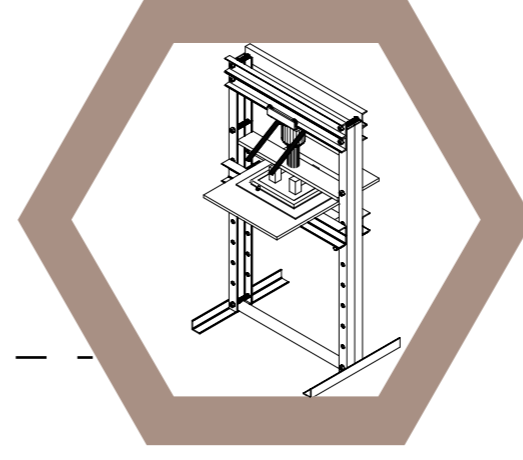


3

La mezcla se vierte dentro en una primera capa hasta compactarlo manualmente e igualar el nivel, posteriormente se vierte el resto de material hasta completar el espesor del molde.

4

El molde es colocado y sujetado en una prensa hidráulica con capacidad de compresión de 30 toneladas con el objetivo de mejorar la adherencia de los materiales mediante una mayor compresión.

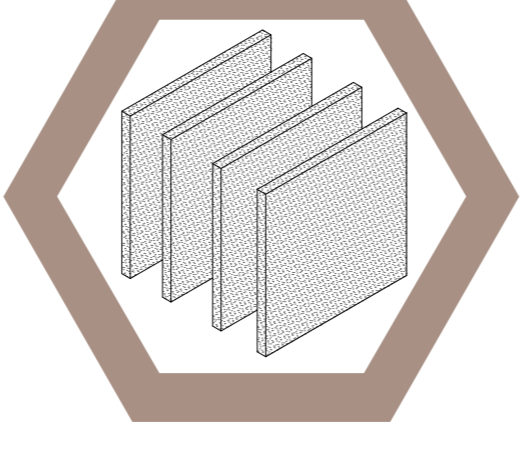
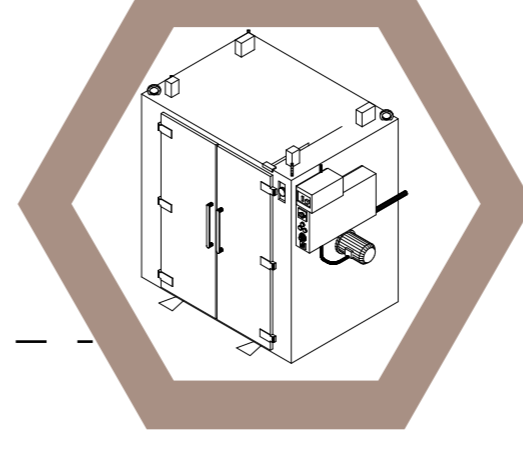


5

Se produce el prensado hasta obtener un espesor aproximado de 2 cm, manteniendo el material en ese estado durante aproximadamente 1 hora. Concluido el lapso de tiempo se desmolda el elemento.

6

Los elementos modulares son introducidos en un horno eléctrico para seguir un proceso de deshidratación a una temperatura de 90°C, para posteriormente continuar con el proceso de secado en la intemperie.



7

Culminado el tiempo de secado entre 5 a 7 días dependiendo de la temperatura ambiente, el elemento constructivo pasa un último proceso de acabados.



Dimensiones  
300 x 300 mm  
e= 18 mm



Densidad  
906.36 kg/cm<sup>3</sup>



Contenido de humedad  
5.29 %



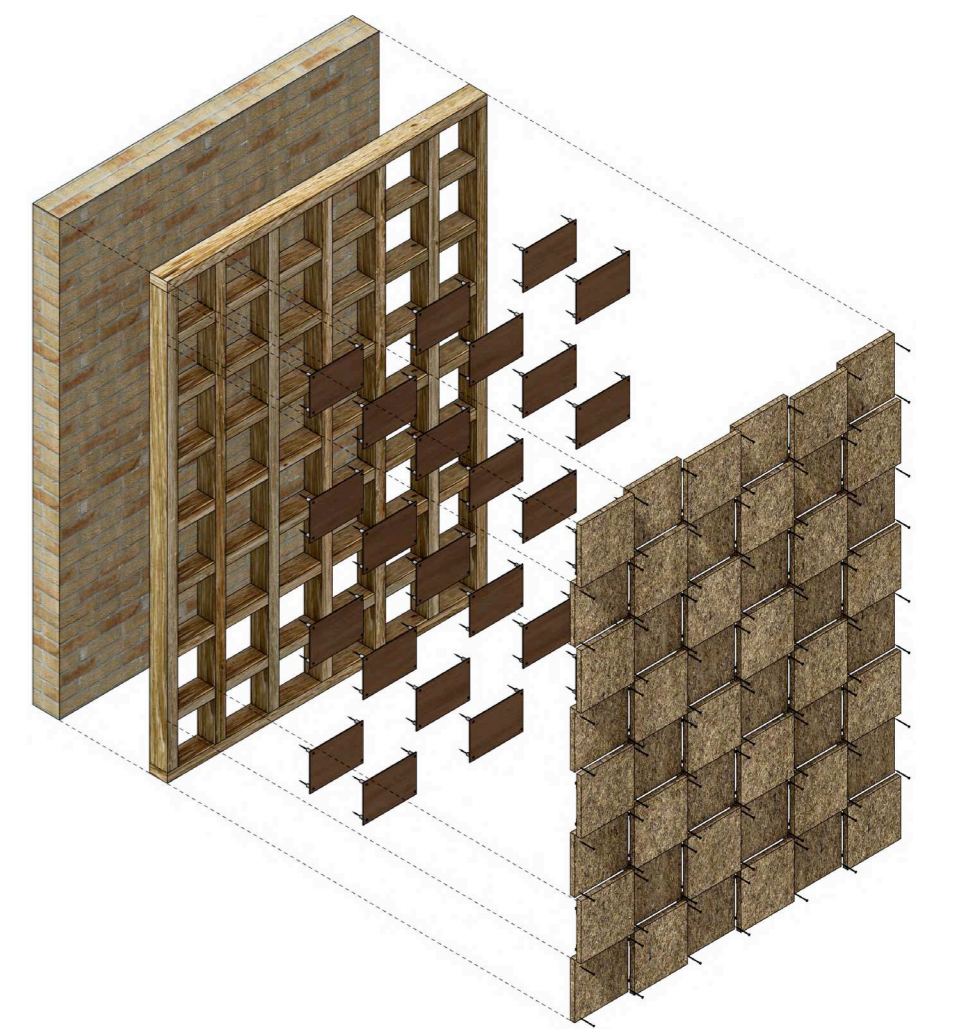
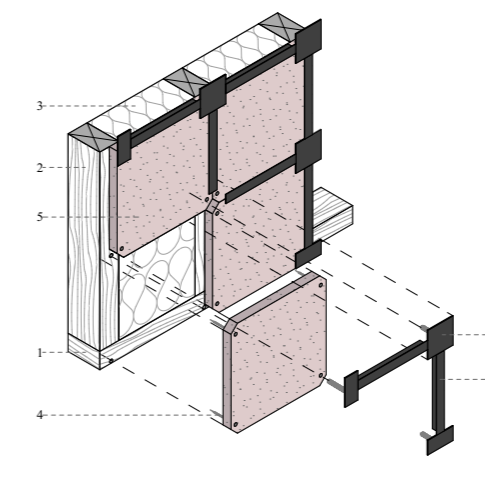
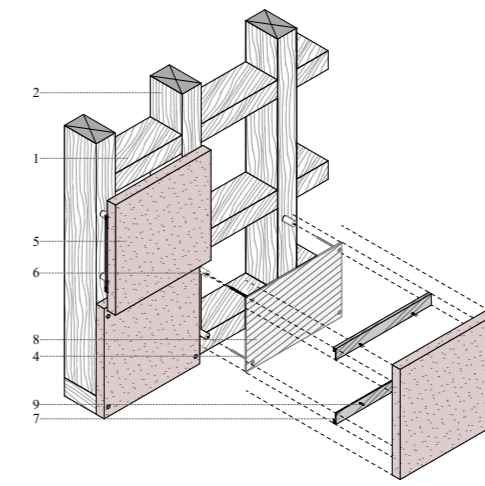
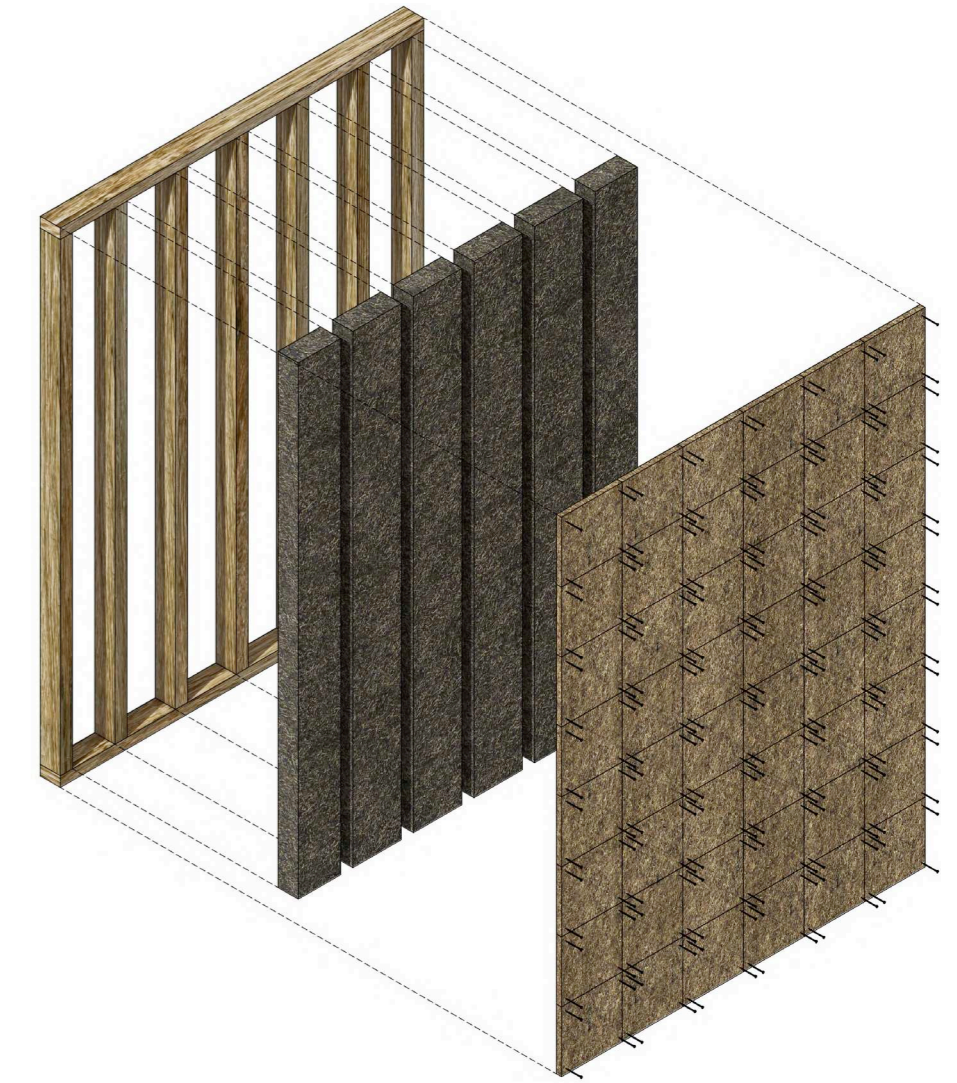
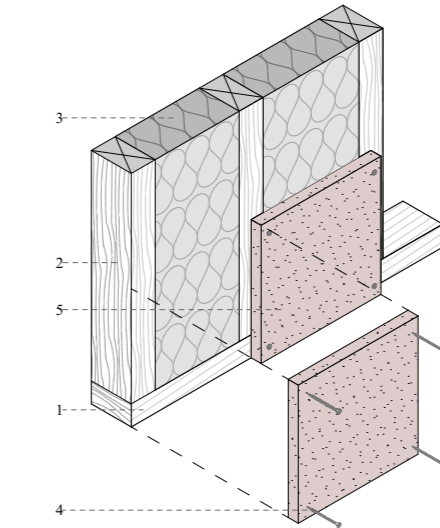
Módulo de Rótura  
33.92 kg/cm<sup>2</sup>



Módulo de Elasticidad  
33.30 kg/cm<sup>2</sup>



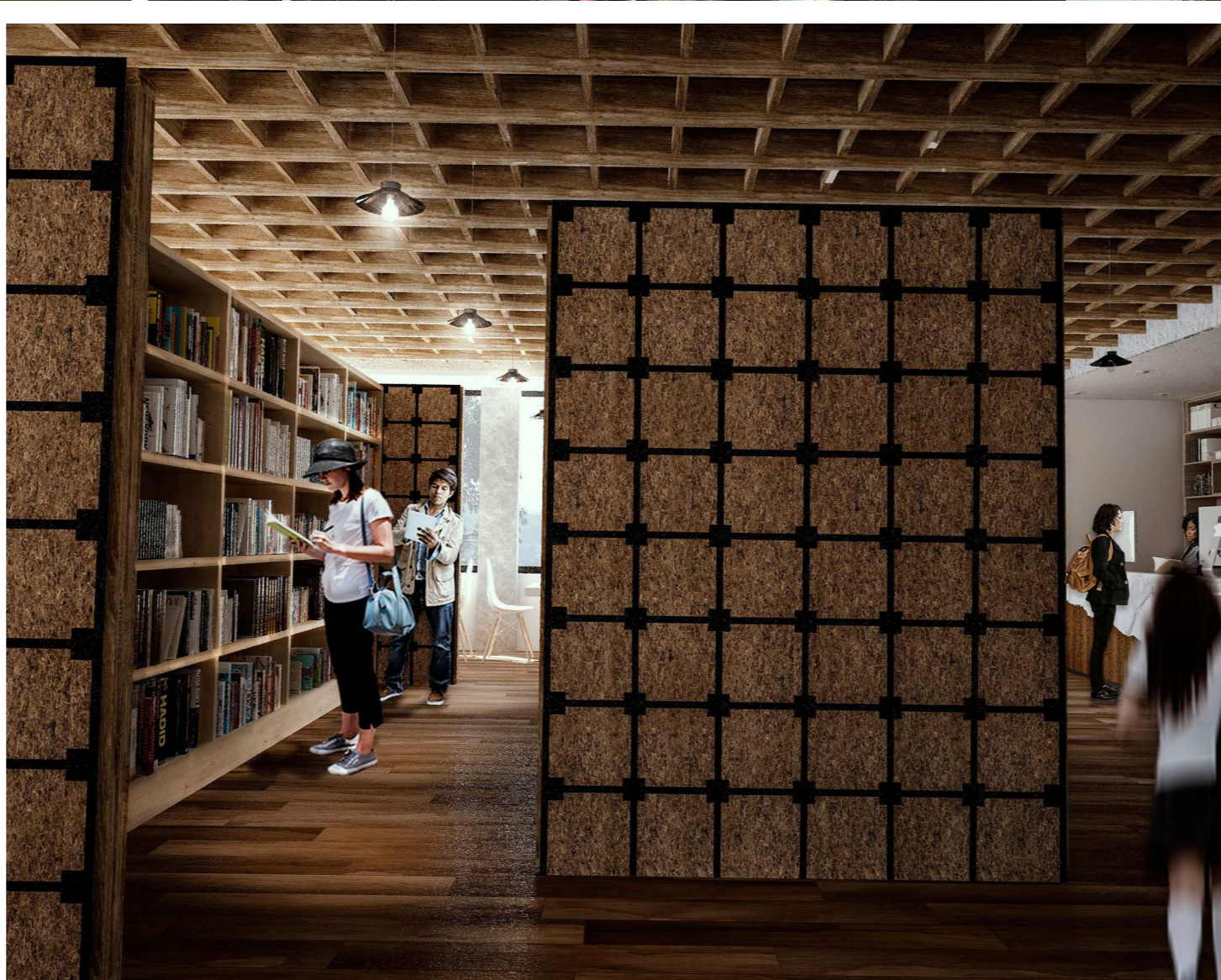
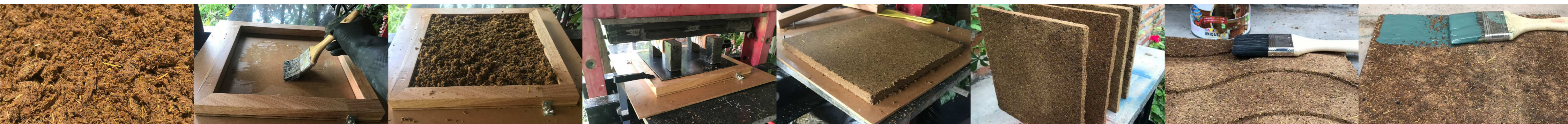
Coefficiente de conductividad térmica  
0.05 W/m<sup>2</sup>K



### Materiales

1. Estructura de madera de pino horizontal 10x5cm
2. Estructura de madera de pino vertical 10x5cm
3. Aislamiento térmico con lana de roca
4. Tornillo autorroscante de 3"
5. Panel prefabricado a base de fibras naturales

6. Separador de tubo de aluminio de 3cm
7. Perfil J de aluminio
8. Tablero de mdf 20x20cm e= 4mm
9. Tornillo autorroscante de 1/2"
10. Perfil T de aluminio e=1mm
11. Placa metálica con pasador e=2mm



## AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Christian Patricio Segarra Villacis** portador de la cédula de ciudadanía N° 0105835912. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Elementos Modulares: Una propuesta en base de fibras naturales de trigo y cascarilla de café”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 14 de enero de 2021

F:



.....  
Christian Patricio Segarra Villacis  
0105835912